



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Optimización de biocarbón a partir de residuos de camarón para la  
adsorción de arsénico en aguas contaminadas.**

**NIEVES BERREZUETA JENNIFER ANAYELY  
INGENIERA AMBIENTAL**

**CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA  
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**Optimización de biocarbón a partir de residuos de camarón para la adsorción de arsénico en aguas contaminadas.**

**NIEVES BERREZUETA JENNIFER ANAYELY  
INGENIERA AMBIENTAL**

**CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA  
INGENIERA AMBIENTAL**

**MACHALA  
2024**



**UTMACH**

**FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL**

**CARRERA DE INGENIERÍA AMBIENTAL**

**TRABAJOS EXPERIMENTALES**

**Optimización de biocarbón a partir de residuos de camarón para la  
adsorción de arsénico en aguas contaminadas.**

**NIEVES BERREZUETA JENNIFER ANAYELY  
INGENIERA AMBIENTAL**

**CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA  
INGENIERA AMBIENTAL**

**MAZA MAZA JAIME ENRIQUE**

**MACHALA  
2024**

# TRABAJO FINAL DE TESIS CORREA Y NIEVES.. (2)

3%  
Textos  
sospechosos



2% Similitudes  
< 1% similitudes entre  
comillas  
0% entre las fuentes  
mencionadas  
2% Idiomas no reconocidos

Nombre del documento: TRABAJO FINAL DE TESIS CORREA Y NIEVES.. (2).docx  
ID del documento: 2ff4fc46480681814e14cfe39f09284911bdc872  
Tamaño del documento original: 8,42 MB  
Autores: []

Depositante: JAIME ENRIQUE MAZA MAZA  
Fecha de depósito: 12/2/2025  
Tipo de carga: interface  
fecha de fin de análisis: 12/2/2025

Número de palabras: 15.589  
Número de caracteres: 98.125

Ubicación de las similitudes en el documento:



## Fuentes principales detectadas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&amp;pid=51726-46342018000200019">www.scielo.org.pe</a>   Calidad del agua y desarrollo sostenible http://www.scielo.org.pe/scielo.php?script=sci_arttext&pid=51726-46342018000200019 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (132 palabras)
2	Documento de otro usuario #38efb1 El documento proviene de otro grupo	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (33 palabras)
3	<a href="https://repositorio.unal.edu.co/">repositorio.unal.edu.co</a>   Evaluación del efecto de la torrefacción y la pirólisis lenta ... https://repositorio.unal.edu.co/ 5 fuentes similares	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (23 palabras)

## Fuentes con similitudes fortuitas

N°	Descripciones	Similitudes	Ubicaciones	Datos adicionales
1	<a href="https://repositorio.unal.edu.co/">repositorio.unal.edu.co</a>   Adsorción del contaminante emergente cafeína en medio ... https://repositorio.unal.edu.co/	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (19 palabras)
2	<a href="https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n2.110751">doi.org</a>   Elaboración de un bioadsorbente modificado a partir de los desechos de ca... https://doi.org/10.15446/rcciquifa.v52n2.110751	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (13 palabras)
3	<a href="https://biocurioso.com/contaminantes-explicados-impacto-en-el-agua-el-suelo-el-aire-y-los-alime...">biocurioso.com</a>   Contaminantes Explicados: Impacto En El Agua, El Suelo, El Aire Y L... https://biocurioso.com/contaminantes-explicados-impacto-en-el-agua-el-suelo-el-aire-y-los-alime...	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)
4	<a href="https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf">www.ambiente.gob.ec</a> https://www.ambiente.gob.ec/wp-content/uploads/downloads/2018/05/Acuerdo-097.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (11 palabras)
5	<a href="http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/17523/2/TFLACSO-2020MES.pdf">repositorio.flacsoandes.edu.ec</a>   El devenir de UNICEF y su cooperación internacion... http://repositorio.flacsoandes.edu.ec/bitstream/10469/17523/2/TFLACSO-2020MES.pdf	< 1%		Palabras idénticas: < 1% (10 palabras)

## CLÁUSULA DE CESIÓN DE DERECHO DE PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL

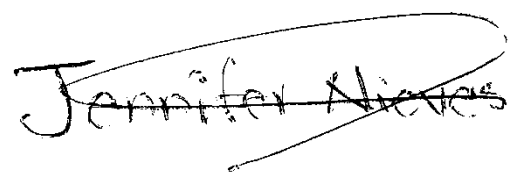
Las que suscriben, NIEVES BERREZUETA JENNIFER ANAYELY y CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA, en calidad de autoras del siguiente trabajo escrito titulado Optimización de biocarbón a partir de residuos de camarón para la adsorción de arsénico en aguas contaminadas., otorgan a la Universidad Técnica de Machala, de forma gratuita y no exclusiva, los derechos de reproducción, distribución y comunicación pública de la obra, que constituye un trabajo de autoría propia, sobre la cual tienen potestad para otorgar los derechos contenidos en esta licencia.

Las autoras declaran que el contenido que se publicará es de carácter académico y se enmarca en las disposiciones definidas por la Universidad Técnica de Machala.

Se autoriza a transformar la obra, únicamente cuando sea necesario, y a realizar las adaptaciones pertinentes para permitir su preservación, distribución y publicación en el Repositorio Digital Institucional de la Universidad Técnica de Machala.

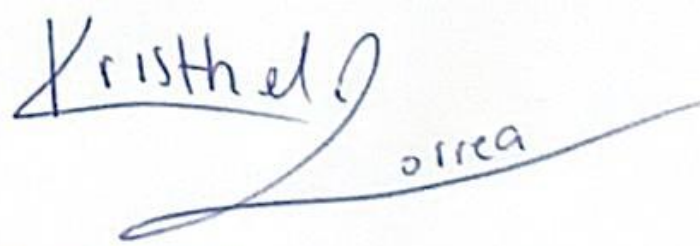
Las autoras como garantes de la autoría de la obra y en relación a la misma, declaran que la universidad se encuentra libre de todo tipo de responsabilidad sobre el contenido de la obra y que asumen la responsabilidad frente a cualquier reclamo o demanda por parte de terceros de manera exclusiva.

Aceptando esta licencia, se cede a la Universidad Técnica de Machala el derecho exclusivo de archivar, reproducir, convertir, comunicar y/o distribuir la obra mundialmente en formato electrónico y digital a través de su Repositorio Digital Institucional, siempre y cuando no se lo haga para obtener beneficio económico.



NIEVES BERREZUETA JENNIFER ANAYELY

0705309631



CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA

0706796687

## **DEDICATORIA**

Con amor y gratitud, dedicamos este trabajo a nuestras familias, que han sido nuestra roca y nuestro apoyo en cada momento de nuestras vidas. Su amor y dedicación han sido la fuente de nuestra motivación y nuestra inspiración.

A Dios, que nos ha guiado y bendecido en este camino. Su sabiduría y providencia han sido nuestra luz y nuestra fortaleza en la debilidad.

Y a todos aquellos que han creído en nosotros y nos han animado a seguir adelante. Este trabajo es un fruto de nuestra colaboración, esfuerzo y dedicación. Esperamos que sea un reflejo de la pasión y creatividad que hemos puesto en él.

---

## AGRADECIMIENTOS

Queremos expresar nuestro más sincero agradecimiento a todas las personas que han sido fundamentales en la realización de esta tesis. En primer lugar, agradecemos a Dios por su guía y providencia, que nos permitieron llevar a cabo este proyecto.

Nuestro más profundo agradecimiento va dirigido a nuestros padres, quienes nos guiaron y apoyaron en cada paso del camino. Su amor, comprensión y apoyo incondicional fueron esenciales para nosotros, y nos permitieron superar los desafíos que se presentaron. También queremos agradecer a nuestro tutor, el ingeniero Jaime Maza, por su invaluable apoyo, orientación y paciencia durante todo este proceso. Su dedicación y conocimiento fueron esenciales para el éxito de este trabajo.

Finalmente, queremos expresar nuestra gratitud a nuestros amigos y a todas las personas que contribuyeron con su tiempo y esfuerzo para que este proyecto se materializara. Su apoyo emocional, motivación y comprensión fueron fundamentales para nosotros, y este logro es el reflejo de su generosidad y ayuda. Estamos eternamente agradecidas por su presencia en nuestras vidas.

---

## RESUMEN

La contaminación del agua debido al metal pesado (As) es un inconveniente ecológico y sanitario de gran magnitud. En este estudio se analizó la producción y optimización del biocarbón a partir de residuos de camarón como una opción para la adsorción de As en aguas contaminadas. Para la obtención del biocarbón se realizó un proceso de pirólisis a 600 °C, el cual fue activado con (HCl) para mejorar la capacidad de adsorción.

Se llevaron a cabo experimentos de adsorción utilizando distintas concentraciones de biocarbón, específicamente de 4g y 6g, dando como resultado una reducción de As en el agua, aunque no supera los límites máximos permisibles según la normativa ecuatoriana. No obstante, el biocarbón mostró potencial como un material capaz de adsorber sustancias, por ello futuras mejoras podrían aumentar su eficiencia. Este estudio contribuye a la gestión sostenible de los residuos producidos por la industria camaronera y promueve el crecimiento de una economía circular.

**Palabras Clave:** biocarbón, arsénico, adsorción, residuos de camarón, contaminación del agua.



## ABSTRACT

Water contamination due to the heavy metal (As) is a major ecological and health issue. This study analyzed the production and optimization of biochar from shrimp waste as an option for As adsorption in contaminated waters. The biochar was obtained through a pyrolysis process at 600°C and was activated with (HCl) to enhance its adsorption capacity.

Adsorption experiments were conducted using different biochar concentrations, specifically 4g and 6g, resulting in a reduction of As in water, although it did not exceed the maximum permissible limits according to Ecuadorian regulations.

Nevertheless, the biochar demonstrated potential as a material capable of adsorbing substances; therefore, future improvements could increase its efficiency. This study contributes to the sustainable management of waste produced by the shrimp industry and promotes the growth of a circular economy.

**Keywords:** biochar, arsenic, adsorption, shrimp waste, water

---

## CONTENIDO

I. ANTECEDENTES .....	11
III. JUSTIFICACIÓN.....	15
IV. OBJETIVOS.....	17
A. Objetivo general .....	17
B. Objetivos específicos.....	17
V. ALCANCE .....	18
A. Limitaciones .....	18
VI. MARCO TEÓRICO .....	19
A. Agua.....	19
1) Ciclo hidrológico:.....	19
B. Clasificación de las aguas naturales .....	19
C. Calidad del agua .....	19
D. Agua potable.....	20
E. Contaminación de aguas superficiales y subterráneas.....	20
F. Contaminación de aguas subterráneas por metales pesados.....	21
G. Arsénico.....	21
H. Arsénico en Agua y su impacto en la salud humana. ....	22
I. Fuentes de contaminación por arsénico en agua .....	22
J. Biocarbón.....	22
1) Uso y aplicación .....	23
K. Adsorción.....	23
1) Mecanismos de adsorción.....	23
L. Optimización en la producción del biocarbón.....	24

---

M.	Caracterización de materiales adsorbentes .....	24
N.	Exoesqueleto de camarón .....	24
O.	Composición de la cascara de camarón .....	24
P.	Sostenibilidad y economía circular.....	25
VII.	MARCO HISTÓRICO .....	26
VIII.	MARCO LEGAL .....	28
IX.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	30
A.	Modalidad básica de investigación.....	30
B.	Descripción del área de estudio .....	33
C.	Descripción del diseño experimental.....	33
1)	Obtención de materia prima .....	33
2)	Pretratamiento de la materia prima.....	34
3)	Caracterización de la materia prima .....	36
4)	Obtención del biocarbón.....	38
5)	Lavado y activado del biocarbón.....	39
6)	Pruebas de adsorción del As.....	41
7)	Caracterización del biocarbón por Microscopia.....	42
D.	Recursos logísticos .....	42
E.	Procesamiento cinético de adsorción de As .....	43
X.	RESULTADOS .....	44
A.	Cuantificación del contenido proteico presentes en los residuos de camarón.....	44
B.	Capacidad del biocarbon en la adsorción de As en diferentes concentraciones de biomasa.....	45
XI.	DISCUSION.....	62
A.	Contenido proteico presentes en los residuos de camarón .....	62

---

B.	Capacidad del biocarbon en la adsorción de As .....	63
XII.	CONCLUSIONES.....	67
XIII.	RECOMENDACIONES .....	68
XIV.	REFERENCIAS .....	69

---

## CONTENIDO DE TABLAS

TABLA I. Marco legal aplicable en el trabajo experimental .....	27
TABLA II. Recursos logísticos empleados para el trabajo experimental .....	41
TABLA III. Diseño experimental para la adsorción de As .....	43
TABLA IV. Contenido de proteína de biomasa secas de ExC y CbC .....	43
TABLA V. Concentraciones de inicio y finales de adsorción de As con biocarbón .....	45
TABLA VI. Composición química del biocarbón activado en el Punto 1 .....	47
TABLA VII. Composición química del biocarbón activado en el Punto 2.....	49
TABLA VIII. Composición química del biocarbón activado en la Región 1 .....	50
TABLA IX. Concentración atómica promedio de las muestras de biocarbón activado ....	51
TABLA X. Concentración en peso promedio de las muestras de biocarbón activado .....	52
TABLA XI. Composición química en la Región 1 .....	53
TABLA XII. Composición química en la Región 2.....	54
TABLA XIII. Composición química de la Región 3 .....	55
TABLA XIV. Composición química en la Región 4 .....	56
TABLA XV. Composición química en la Región 5 .....	57
TABLA XVI. Concentración atómica promedio posterior al proceso de filtración .....	58
TABLA XVII. Concentración en peso promedio posterior al proceso de filtración.....	60

---

## CONTENIDO DE FIGURAS

Fig 1. Diagrama metodológico para la obtención del biocarbón.....	32
Fig 2. Localización geográfica del área de estudio .....	33
Fig 3. Materia prima: a) cabezas de camarón. b) exoesqueleto de camarón. ....	34
Fig 4. Horno deshidratador .....	34
Fig 5. Trituración de la materia prima .....	35
Fig 6. Tamizado de la materia prima: .....	35
Fig 7. Preparación de la muestra para el tratamiento con KCl y NaCl.....	37
Fig 8. Homogenización de las muestras: a) Centrífuga, b) Tubos Eppendorf.....	37
Fig 9. Extracción de la proteína de los residuos de camarón .....	37
Fig 10. Determinación del NT .....	38
Fig 11. Proceso de pirólisis para generar biocarbón.....	39
Fig 12. Activado del biocarbón .....	39
Fig 13. Lavado del biocarbón. ....	39
Fig 14. Neutralización del biocarbón .....	39
Fig 15. Bomba peristáltica operando conectado con el filtro .....	40
Fig 16. a) Filtro para la bomba peristáltica: b) biocarbon 4g, c) biocarbon 6 g .....	40
Fig 17. Cantidad de proteína en los exoesqueletos y cabezas de camarón.....	44
Fig 18. Concentración final de adsorciones de As con diferentes concentraciones .....	45
Fig 19. Fotografía locativa del Punto 1 .....	47
Fig 20. Gráfico de espectro EDS del Punto 1.....	48
Fig 21. Fotografía locativa del Punto 2 .....	48
Fig 22. Gráfico de espectro EDS del Punto 2.....	49
Fig 23. Fotografía locativa de la Región 1 .....	49
Fig 24. Gráfico de espectro EDS de la Región 1 .....	50
Fig 25. Concentración atómica promedio de las muestras de biocarbón activado .....	51
Fig 26. Concentración en peso promedio de las muestras de biocarbón activado .....	52
Fig 27. Fotografía locativa de la Región 1 .....	53
Fig 28. Gráfico de espectro EDS de la Región 1 .....	54
Fig 29. Fotografía locativa de la Región 2 .....	54
Fig 30. Gráfico de espectro EDS de la Región 2.....	55

---

Fig 31. Fotografía locativa de la Región 3 .....	55
Fig 32. Gráfico de espectro EDS de la Región 3.....	56
Fig 33. Fotografía locativa de la Región 4. ....	56
Fig 34. Gráfico de espectro EDS de la Región 4.....	57
Fig 35. Fotografía locativa de la Región 5 .....	57
Fig 36. Gráfico de espectro EDS de la Región.....	58
Fig 37. Concentración atómica promedio de las muestras .....	59
Fig 38. Concentración en peso promedio de las muestras.....	60

---

## I. ANTECEDENTES

El agua, un recurso indispensable para la existencia humana, es crucial tanto para la alimentación y la higiene como para el progreso de actividades económicas fundamentales como la agricultura y las industrias. Por lo tanto, la protección y preservación de este elemento esencial requieren una gestión juicioso y sostenible, asegurando su uso eficaz y evitando su derroche [1].

Las aguas subterráneas han sido valoradas como fuente esencial de abastecimiento por su rendimiento y confiabilidad, proveyendo agua para la localidad y múltiples actividades mineras agrícolas e industriales. No obstante, estos recursos han sido objeto de una gestión ineficiente, lo que ha provocado una degradación generalizada, especialmente en zonas clave para su producción. Esta degradación es consecuencia de la acción humana en el ámbito económico, el manejo incorrecto del suelo y la carencia de estrategias y tácticas para una gestión y manejo eficaz del agua, principalmente la subterránea, la cual ha enfrentado impactos frecuentemente complicados de identificar y mitigar [2].

Desde la antigüedad, el consumo y empleo de recursos han sido fundamentales en la historia de la humanidad. Globalmente la contaminación de ríos por metales pesados se ha convertido en un problema creciente, en gran medida debido al inadecuado tratamiento de aguas residuales derramados por la industria minera. Un caso particularmente preocupante es el del río Moche, localizado en Perú, en donde estudios han revelado resultados preocupantes, en un periodo de 10 años, desde el año 2000 al 2010, la cantidad de metales pesados permitidos se cuadruplicó [3].

La actividad volcánica, tanto antigua como reciente, en América Latina, especialmente en la región del Pacífico, es una causa principal de la presencia de Arsénico (As) en las aguas subterráneas y superficiales de la región [4]. En Ecuador se han encontrado pruebas de contaminación por metales pesados, especialmente en la región sur, donde la principal problemática radica en la contaminación de los ríos [5].

El As es un elemento nocivo que se halla en grandes cantidades en el medio ambiente, de manera orgánica e inorgánica, y su presencia se debe a procesos naturales, así como a actividades humanas. Este elemento provoca tanto daños ambientales como a la salud, y esto es debido a que el As se integra en las aguas subterráneas por medio de la interacción y acción



---

entre la fase sólida y la fase líquida [6]. La presencia del As y otros metales pesados ha escalado a tal punto que se ha convertido en una de las principales inquietudes ambientales. Por lo que se han realizado múltiples técnicas sostenibles para la adsorción de metales en el agua con el objetivo de enfrentar las principales amenazas al medio ambiente y a la salud de las personas que se ocasionan por la contaminación de metales [7].

Como respuesta a esta problemática se han desarrollado diversos métodos sostenibles para la mitigación de estos elementos pesados, siendo el uso de los materiales vegetales como una de las alternativas más empleadas para la adsorción. Sin embargo, muy pocos estudios se conocen con respecto al empleo de derivados de restos de animales [8].

Ma Jiechen, et al. [9], realizaron una investigación con el fin de explorar las características y mecanismos de adsorción de cobre (Cu) y cadmio (Cd) por el biocarbón de cáscara de langosta. Se produjeron dos tipos de biocarbón mediante pirólisis a 300 y 600 °C (LS300 y LS600). La cinética y las curvas de adsorción isotérmica de  $\text{Cu}_2^+$  y  $\text{Cd}_2^+$  se determinaron y modelaron adecuadamente. El LS600 mostró mayores capacidades de adsorción en comparación con el LS300. Los mecanismos de adsorción identificados fueron el intercambio iónico, la precipitación con minerales y la interacción con grupos funcionales. El biocarbón de cáscara de langosta demostró ser un adsorbente altamente eficaz para eliminar  $\text{Cu}_2^+$  y  $\text{Cd}_2^+$  del agua contaminada.

Tao Feng, et al. [10], presentaron un estudio donde crearon un eficiente adsorbente de Plomo Pb(II) utilizando biocarbón de cáscara de camarón (SSC) obtenido mediante pirólisis y tratado con ácidos para producir biocarbón modificado (SSC-M). Se investigaron las estructuras y propiedades de adsorción de SSC y SSC-M, mostrando capacidades de adsorción de 94,16 y 156,48 mg g<sup>-1</sup> respectivamente. Ambos siguieron un modelo cinético de pseudo segundo orden y un proceso de adsorción monocapa. El rendimiento de SSC-M se atribuyó a interacciones electrostáticas y a la formación de complejas superficies, posicionándolo como un adsorbente prometedor y asequible para Pb(II).

---

## II. PROBLEMÁTICA

En varias regiones del mundo, incluyendo Asia, la contaminación por metales pesados se ha convertido en un problema crítico. En particular, Bangladesh siendo uno de los países más afectados, con millones de personas expuestas a niveles alarmantes de As en el agua potable. Un estudio realizado por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y el Fondo de las Naciones Unidas para la Infancia (UNICEF) reveló que cerca de 20 millones de personas en Bangladesh están expuestas a concentraciones de As que superan los límites recomendados. Otros países asiáticos, como India, Nepal y Camboya, también enfrentan desafíos similares [3].

La situación en América Latina también es alarmante. En países como Argentina, México y Chile, Se han detectado concentraciones altas de As en el agua subterránea. En Argentina, la región de la Pampa y algunas áreas del Chaco exhiben niveles de As que superan los límites establecidos por la OMS [11].

Diversos estudios han evidenciado que las concentraciones de As en el suministro de agua potable de ciertas regiones superan considerablemente los límites máximos permisibles, exponiendo a millones de personas a riesgos significativos para la salud. Esta problemática no se restringe a países en desarrollo, pues incluso en naciones desarrolladas como Estados Unidos se han detectado niveles preocupantes de este elemento en el agua, especialmente en estados occidentales. A pesar de que la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos ha implementado un límite máximo de 10 pbb, investigaciones recientes sugieren que incluso concentraciones inferiores podrían acarrear consecuencias adversas para la salud a largo plazo [12].

Ecuador es uno de los países que utiliza a los acuíferos para la extracción de aguas subterráneas, considerando un suministro hídrico seguro y económico, pero a partir de la presencia de contaminantes altamente peligrosos el agua ha cambiado su composición química pura. En el Oriente ecuatoriano las provincias de Sucumbíos y Orellana se encuentran afectadas debido al derrame de 16.8 millones de galones que la industria petrolera Texaco origino mientras estaba en Ecuador, de esta manera la calidad del agua se volvió vulnerable para la presencia de enfermedades para el consumo de la población [13].

La contaminación por metales pesados en el agua utilizada para fines agrícolas y pecuarios también constituye un problema crítico en el país. Elementos como As, Hg y Cd han sido detectados en fuentes de agua destinadas al riego de cultivos y al abastecimiento de ganado, principalmente debido a actividades industriales, mineras y al uso indiscriminado de agroquímicos. Esto no solo afecta la productividad agrícola, sino que también representa un riesgo directo para la salud humana a través de la cadena alimentaria, además de comprometer la calidad de los productos pecuarios y agrícolas destinados al consumo interno y a la exportación.

Debido a esto son escasas las ciudades que aseguran la potabilidad del agua para el consumo humano. No obstante, en algunas regiones existe un problema con respecto a la ingesta de este líquido, siendo uno de ellos la ciudad de Machala. Según informes de entidades como ARCSA (Agencia Nacional de Regulación, Control y Vigilancia Sanitaria), el agua consumida por los habitantes de Machala contiene niveles de As que superan los límites máximos permisibles [2].

La contaminación por metales pesados como el As representa una grave amenaza para la salud pública y el medio ambiente. Ante esta problemática, se han explorado diversas estrategias de remediación, entre ellas, el aprovechamiento de biomateriales como residuos orgánicos. En este contexto, surge la siguiente interrogante: ¿Existen investigaciones que demuestren la capacidad del exoesqueleto y cabezas de camarón para adsorber As en aguas contaminadas?

### III. JUSTIFICACIÓN

El As, un metal pesado, se encuentra presente de forma natural en las aguas subterráneas y puede alcanzar niveles peligrosamente altos. Cuando los niveles de As en el agua potable superan los límites máximos permisibles, puede causar graves problemas de salud pública, como cáncer, lesiones cutáneas e intoxicación aguda y crónica [14].

Según la Organización Mundial de la Salud (OMS), el As en el agua potable no debe exceder los 10  $\mu\text{g/l}$ . Sin embargo, en la ciudad de Machala, provincia de El Oro, se ha encontrado que en algunos sectores los niveles de As en el agua potable superan estos límites, lo que representa un serio problema para la población que depende de este recurso [15].

En el ámbito del uso agrícola y pecuario, el Acuerdo Ministerial 097A establece límites máximos permisibles para la calidad del agua, buscando proteger tanto los cultivos como la salud animal. Para el uso agrícola, el agua no debe contener concentraciones de As superiores a 100  $\mu\text{g/l}$ , mientras que, para el uso pecuario, el límite es de 50  $\mu\text{g/l}$ . El incumplimiento de estos parámetros pone en riesgo la seguridad alimentaria y la calidad de los productos derivados, además de generar impactos ambientales significativos. La falta de cumplimiento de estas normativas en regiones afectadas, como Machala, intensifica los problemas relacionados con la contaminación del agua.

Hoy en día, algunos residuos poseen la capacidad de adsorber metales pesados, como lo son los residuos animales y vegetales, uno de estos residuos es la cáscara de camarón, la cual, según estudios realizados, contiene sustancias que facilitan la adsorción de ciertos metales pesados. Esto sugiere que podría ser una solución viable para abordar este problema, beneficiando no solo a la ciudad, sino también al país y a nivel global [16].

Para abordar esta problemática, es esencial implementar un desarrollo sostenible mediante métodos que permitan mantener bajas las concentraciones de As asegurando el bienestar y la salud de la población con agua de mejor calidad para las regiones antes mencionadas. Una solución innovadora es el uso de exoesqueletos y cabezas de camarón para formar biocarbón, el cual puede adsorber el As a través del proceso de pirólisis [17]. Estos residuos contienen quitina, un biopolímero que puede ser convertido en quitosano, un producto de alto valor empleado en múltiples industrias, que van desde la farmacéutica hasta la agrícola. La subutilización de estos subproductos obstaculiza el establecimiento de una

economía circular que podría beneficiar tanto al medio ambiente como a la economía local [18]. La producción de biocarbón mediante pirólisis no solo es efectiva para la adsorción del As en el agua potable, sino que también ofrece beneficios adicionales como el secuestro de carbono (C) del suelo, contribuyendo a la remediación ambiental.

El uso de biocarbón derivado de residuos de camarón presenta ventajas significativas, incluyendo una mayor capacidad de adsorción de metales pesados y una solución ecológica a la contaminación por As. En el caso de la provincia de El Oro, este enfoque sostenible no solo mejora la calidad del agua potable en Machala, sino que también contribuye a la gestión adecuada de los desechos de la industria camaronera, transformándolos en un recurso valioso para la purificación del agua y la mitigación de impactos ambientales [19].

#### IV. OBJETIVOS

##### *A. Objetivo general*

Evaluar la capacidad del biocarbón producido a partir de residuos de camarón para la adsorción de arsénico en aguas contaminadas, mediante la caracterización de su contenido proteico y el análisis de su estructura por microscopía, con el propósito de mejorar la calidad del agua y garantizar la seguridad sanitaria de la población.

##### *B. Objetivos específicos*

- Cuantificar el contenido proteico presentes en los residuos de camarón.
- Evaluar la capacidad de adsorción de arsénico en agua utilizando diferentes proporciones de biocarbón producido.
- Identificar la capacidad de elementos que contienen el biocarbón antes y después del proceso de adsorción, mediante el análisis por microscopía.

---

## V. ALCANCE

El proyecto tiene como objetivo establecer la capacidad de adsorción del As utilizando biocarbón producido a partir de cabezas y exoesqueletos de camarón mediante el proceso de pirolisis. Esto incluye la recolección y preparación de residuos de camarón, la producción de biocarbón mediante pirolisis, y la caracterización del biocarbón para evaluar sus propiedades físicas y químicas. Además, se realizaron experimentos de adsorción en laboratorio para determinar la eficiencia del biocarbón en la eliminación del As en distintas condiciones, y se analizaron los datos para entender el mecanismo de adsorción y la capacidad máxima del material. Finalmente, se elaboraron conclusiones y recomendaciones para futuras investigaciones.

### *A. Limitaciones*

El estudio se limitará a la producción de biocarbón mediante pirolisis, sin evaluar otros métodos de producción. La investigación se centrará exclusivamente en la adsorción de As, sin abordar la eliminación de otros contaminantes del agua, sin embargo, para la caracterización del biocarbón a través de la microscopía, se consideró el análisis de elementos resultantes como referencia al proceso de adsorción del As. Además, los experimentos se llevarán a cabo a nivel de laboratorio, sin realizar pruebas a gran escala ni en campo. Las limitaciones del estudio incluyen la disponibilidad de materiales y la escalabilidad del proceso, que podrían afectar la aplicabilidad práctica de los resultados. Se identificarán estas limitaciones y se propondrán direcciones para futuras investigaciones que podrían ampliar y mejorar los hallazgos del proyecto.

---

## VI. MARCO TEÓRICO

### A. *Agua*

El agua, indispensable para la vida, es el componente más abundante en la superficie terrestre. Se acumula principalmente en los océanos, formando una vasta reserva de agua salada. En menor medida, se encuentra como agua dulce en ríos, lagos, manantiales y otras fuentes. Sin embargo, no toda el agua dulce es accesible, ya que una parte significativa está congelada en glaciares y casquetes polares [20].

#### 1) *Ciclo hidrológico:*

El ciclo hidrológico, un viaje fascinante, narra la transformación del agua en sus tres estados (líquido, gaseoso y sólido) a lo largo de su recorrido por el planeta. Desde su ascenso como vapor hasta su retorno al océano en forma líquida, el agua experimenta un proceso continuo impulsado por dos fuerzas principales, la energía solar y la gravedad [20].

### B. *Clasificación de las aguas naturales*

A medida que el agua se embarca en su ciclo continuo a través de los sistemas de la Tierra, adopta varias formas, clasificándose las aguas naturales de la siguiente forma [21]:

- Aguas pluviales: Resultan de las precipitaciones atmosféricas, iniciando su recorrido por la superficie terrestre hasta integrarse a los cuerpos de agua, procedentes de granizados, lluvias y nevadas.
- Aguas superficiales: Conforman ríos, arroyos, lagos y embalses, moviéndose por la superficie terrestre hasta llegar a los océanos.
- Aguas subterráneas: Se encuentran en acuíferos, formados por capas permeables del subsuelo, donde el agua dulce se infiltra, almacena y circula.

### C. *Calidad del agua*

La relación de la calidad de agua con la salud, es evidente y es una prioridad sanitaria desde siempre, incluso a nivel programático desde Alma Ata que fue el evento de política de salud internacional más importante de la década de los setenta, cuyo lema fue "Salud para todos en el año 2000". La síntesis de sus intenciones se expresó en la Declaración de Alma Ata, subrayando la importancia de la atención primaria de salud como estrategia para



---

alcanzar un mejor nivel de salud de los pueblos, priorizándose el desarrollo de una adecuada fuente de agua potable y de salubridad básica. Además de la relación de la calidad del agua y la salud, la Organización Mundial de la Salud (OMS) encuentra, también, relación directa entre la calidad del agua y la pobreza [22].

El suministro de agua para consumo humano y su uso en la preparación de alimentos debe cumplir con el índice de calidad, así mismo la ausencia de cualquier riesgo considerable que pueda afectar la salud del ser humano. A nivel mundial existen naciones donde el agua no es suministrada y distribuida correctamente, por ejemplo, las comunidades ubicadas en el campo dedicadas a la agricultura son las más vulnerables debido a la carencia y deficiencia del agua [23].

#### ***D. Agua potable***

El agua potable o agua de consumo humano, es aquella agua que es apta y cumple con los parámetros establecidos tanto por la Organización Mundial de la Salud (OMS) como con las normas ajustadas de cada nación, constituye un elemento vital para todo organismo vivo, ya que, si la calidad del agua presenta materia orgánica e inorgánica y compuestos químicos, quiere decir que el tratamiento de potabilización no está adecuado correctamente o existe una mala gestión del mismo [24].

Cabe mencionar que la contaminación que existe a nivel mundial afecta drásticamente a las aguas superficiales y también a aguas subterráneas, debido a sus filtraciones, transmisiones y propagaciones de compuestos y bacterias a través de fuentes industriales y agrícolas como también de fuentes urbanas, otro problema que se presenta es la ineficiente distribución y gestión de agua potable para el abastecimiento de la población, pues no toda la población mundial tiene acceso al agua potable, radicando en el control y disponibilidad de los recursos hídricos [25].

#### ***E. Contaminación de aguas superficiales y subterráneas***

Las aguas superficiales son las más vulnerables ante la contaminación ambiental mientras que las subterráneas son las más protegidas, pero ante la gran cantidad de materia orgánica e inorgánica, el cambio climático, la variación de la temperatura, el calentamiento

---

global, actividades industriales y agrícolas, pueden ser los factores principales para que la calidad de las aguas subterráneas se vea alterada [26].

La presencia de nitratos y otros compuestos en los acuíferos es preocupante debido al nivel de filtración hasta llegar a aguas subterráneas, la Organización Mundial de la Salud (OMS) establece parámetros de calidad fisicoquímicos y microbiológicos, e indica los límites permisibles de cada elemento, cuando el agua supera los estándares establecidos, se concluye que es un riesgo sanitario para el consumo humano [27].

#### ***F. Contaminación de aguas subterráneas por metales pesados***

La presencia de metales pesados en las aguas subterráneas es perjudicial para la salud del ser humano, la contaminación se forma a partir de procesos industriales, mineros, agrícolas etc., a partir de estas actividades los metales se disuelven con el agua, el cual fluye constantemente por los ríos y mares, así mismo se filtran por el suelo que mediante sus capas algunos compuestos se irán degradando, pero otros traspasarán hasta llegar a los acuíferos que contaminarán las aguas subterráneas [28]. Existen muchos metales pesados entre ellos están: Cadmio (Cd), Mercurio (Hg), Plomo (Pb) y el Arsénico (As).

#### ***G. Arsénico***

El As es un elemento que está presente considerablemente en la naturaleza. Sus componentes manifiestan esencialmente en estados de oxidación trivalente y pentavalente; así como también de maneras orgánicas e inorgánicas. Las diferentes especies de As cambian en toxicidad, de manera que los compuestos inorgánicos tienden a tener mayor toxicidad que los orgánicos, y de la misma manera los compuestos trivalentes tienden a tener mayor toxicidad que los pentavalentes. Existe la posibilidad de que las especies menos tóxicas se conviertan en otras con mayor toxicidad, influenciadas por métodos de cocción y procesamiento. La exposición al As conlleva graves riesgos para la salud, pues es una sustancia cancerígena que genera múltiples problemas de salud tanto de forma inmediata como a largo plazo. La principal fuente de exposición al As para las personas que no trabajan con él, es mediante el agua y los alimentos que ingieren [29].

---

## ***H. Arsénico en Agua y su impacto en la salud humana.***

El metal pesado As en el agua se ha convertido en un problema de salud pública a nivel mundial, este metal se ha convertido en una amenaza para la población a través del consumo de agua potable [30].

La intoxicación por el consumo de este líquido ha causado síntomas como diarrea, vómitos, y lesiones cutáneas debido a la exposición a este metal, entre otros problemas de salud. Según la OMS indica que en Ecuador y México el límite máximo permisible es de  $10\mu/L$ , por lo tanto superar este límite puede llegar a ser perjudicial para la población. La fuente de contaminación es causada por actividades antropogénicas una de ellas la minería [31].

### ***I. Fuentes de contaminación por arsénico en agua***

#### *1) Fuentes antropogénicas:*

Una de las principales fuentes de contaminación es por actividades antropogénicas, estos son provocados por la quema de carbón y la fundición de metales industriales [32].

#### *2) Fuente Natural:*

Este metal puede adherirse en el agua, suelo y aire mediante tormentas de polvos y aguas en escorrentía, por lo que se encuentra más extendida debido a la rápida y fácil dispersión [32].

## ***J. Biocarbón***

El biocarbón es un componente sólido que se produce a partir de la biomasa mediante un proceso llamado pirólisis. Este procedimiento implica la descomposición térmica de la biomasa a temperaturas de 350, 400 o 600 °C, durante diferentes períodos de tiempo (horas), dependiendo de las condiciones deseadas [33]. Este es un material con una capacidad alta de adsorción de compuestos tóxicos, como los metales pesados que se encuentran en las aguas contaminadas [34].

Lo componen partículas de diversos tamaños, también disponen de una gran porosidad de diferentes volúmenes y formas como; los macroporos con un diámetro interno

---

de  $> 50nm$  y los microporos con un diámetro interno de  $< 2nm$ , estos son ocasionados mediante la producción de biocarbón [35].

Uno de los factores que afectan la eficiencia de este producto, es no pasar el biocarbón por un proceso de activación con ácido y también es el tamaño de su porosidad, que al ser pequeño no tendría la adsorción deseada.

### *1) Uso y aplicación*

El Biocarbón es una alternativa viable y amigable con el medio ambiente para remediar suelos que se encuentren contaminados. Este también es un componente absorbente de metales pesados, posee Bio-estimulantes que permite absorber minerales y regular estomáticas [36].

### ***K. Adsorción***

La adsorción se explica mediante isothermas, que indican la dispersión de las moléculas entre las fases líquidas y sólidas en equilibrio. El sistema más empleado para entender la adsorción es por Langmuir y Freundlich [37].

- **Langmuir:** Este modelo sugiere que la superficie es homogénea y tiene una capacidad específica para adsorber moléculas. Esto implica que, cuando todos los sitios disponibles están ocupados, el sistema alcanza su capacidad máxima y ya no puede adsorber más [37].
- **Freundlich:** Es un modelo empírico que detalla la adsorción en superficies heterogéneas, refiriéndose a superficies que tienen zonas de adsorción con distintas energías. El modelo de Freundlich indica que la cantidad de moléculas adsorbidas crecen, a medida que, la concentración de la sustancia adsorbida, en la solución aumenta, pero a un ritmo decreciente [37].

### *1) Mecanismos de adsorción*

- **Fisisorción:** Este mecanismo se refiere cuando un gas entra en contacto con la superficie de un sólido, pocas moléculas quedan pegadas en la superficie del sólido

---

sin forjar uniones estables, por lo que se debe a fuerzas de Van der Waals, que hacen énfasis a fuerzas de atracción con pocas fuerzas entre moléculas [38].

- **Quimisorción:** Esta idea fue propuesta en 1916 por Langmuir, el cual indica como las moléculas de un gas pueden aferrarse a la superficie del sólido, haciendo contacto con este y reaccionando, haciendo que se forme un enlace químico fuerte [38].

#### ***L. Optimización en la producción del biocarbón***

Según sea el tipo de biomasa para generar el biocarbón se realizará la técnica más adecuada, variando la temperatura, el proceso y el tiempo de residencia. Siendo la técnica más empleada el proceso de pirólisis puede afectar en los estados físicos/químicos del biocarbón en el estado de producción [36].

#### ***M. Caracterización de materiales adsorbentes***

- **Microscopia electrónica de barrido:** Este es una técnica utilizada en análisis de materiales en el cual se generan imágenes de alta resolución, para identificar y analizar las características morfológicas, estructurales y químicas de la muestra, brindando detalles de su composición y estructura a nivel microscópico [39].
- **Espectrofotómetro:** es un instrumento que permite medir la absorbancia a través de una muestra [40].

#### ***N. Exoesqueleto de camarón***

El exoesqueleto está compuesto principalmente por quitina, un tipo de carbohidrato que se encuentra comúnmente en la naturaleza. A partir de la quitina, se puede obtener el quitosano, un polímero natural derivado de este compuesto [41].

#### ***O. Composición de la cascara de camarón***

El camarón se encuentra compuesto por proteína, quitina, lípidos [42].

- **Proteína:** los residuos de *Panaeus vannamei* son el principal proveedor de proteína; además, estos contienen aminoácidos indispensables, tales como valina, isoleucina, treonina, serina, tirosina, histidina y triptófano [43].

- Quitina: la quitina cumple una función importante en el camarón ya que es el encargado de dar rigidez a la estructura, este es un polisacárido nitrogenado, obteniéndolo principalmente del exoesqueleto [44].
- Lípidos: Los residuos de *Panaeus vannamei* proporcionan ácidos grasos poliinsaturados, principalmente los elementos relacionados con omega 3 como el ácido docosaheptaenoico y el ácido eicosapentaenoico [45].

### ***P. Sostenibilidad y economía circular***

El uso de desechos para producir productos de valor agregado logra convertir los residuos que son desechados en recursos sostenibles y útiles. Reduciendo la contaminación y el desperdicio, fomentando tecnologías limpias, contribuyendo a la economía circular y a mitigar el cambio climático [46].

## VII. MARCO HISTÓRICO

El metal pesado As es un elemento metaloide que está ampliamente distribuido en la litosfera. Este es conocido debido a sus propiedades tóxicas y carcinogénicas en altas concentraciones en el agua potable. Aunque la peligrosidad del As ha sido reconocida durante siglos, la extensión de su efecto en el agua potable no se hizo clara hasta las últimas décadas del siglo XX [47].

A principio de los años 70, el país surasiático Bangladesh padecía graves problemas de contaminación acuática debido a la presencia de patógenos en las aguas de superficie. A pesar de estas ventajas iniciales, la implementación extensiva de pozos de agua a finales de la década de 1970 y principios de la de 1980 condujo a un problema imprevisto. En 1993, se reveló que muchas de estas aguas subterráneas estaban contaminadas con As, un metal pesado venenoso. El descubrimiento fue efectuado por un equipo dirigido por Richard Wilson de la Universidad de Harvard [48].

La existencia de polución por As en todo Bangladesh es considerable, como lo demuestran los descubrimientos de 1998, donde 41 de las 64 regiones de Bangladesh tenían niveles de As en las aguas subterráneas superiores a 50  $\mu\text{g/L}$  [49]. Las afecciones cutáneas relacionadas con el As se identificaron por primera vez en Bangladesh en 1995, pero no fue hasta 1998 que se alertó al público sobre estos problemas [50].

En 1996 el Gobierno empezó a poner en marcha programas de mitigación con apoyo de ONG internacionales y nacionales [51]. En el 2000 se reveló que las personas ya estaban al tanto de lo peligrosos que podría ser el metal pesado, por lo tanto, en el 2002 se realizaron encuestas donde indicaban, que ya había concienciación acerca de este problema [52].

Una estrategia de mitigación consiste en realizar una revisión exhaustiva de los tubos de los pozos y ofrecer alternativas de suministro de agua. Estas alternativas pueden incluir la recolección de agua de lluvia y el uso de pozos excavados manualmente [53].

Un estudio demostró que existen métodos más económicos para disminuir la contaminación por As en el agua. Entre estas alternativas se encuentran las técnicas convencionales como la coprecipitación y la filtración. Estos métodos, además de ser eficaces, son asequibles, con un costo estimado de menos de \$4 dólares estadounidenses al

año para proporcionar 50 litros diarios de agua filtrada y libre de As. Además, estas técnicas no solo son económicas, sino que también son fáciles de implementar y mantener, lo que las convierte en soluciones viables para comunidades con recursos limitados que enfrentan problemas de contaminación del agua [54].



## VIII. MARCO LEGAL

La Constitución de la república del Ecuador, el código Orgánico del Ambiente, El Código Orgánico Integral Penal, el Acuerdo Ministerial 097-A, junto con otros cuerpos legales, son los instrumentos normativos que delinear los estándares y responsabilidades relacionados con la gestión y control de contaminantes en el agua. Estos documentos establecen los límites permisibles de As en el agua potable, las medidas preventivas y correctivas necesarias, así como las sanciones aplicables en caso de incumplimiento.

TABLA I

Marco legal aplicable al trabajo experimental

MARCO LEGAL	DESCRIPCIÓN
<b>Constitución de la República del Ecuador</b>	Art. 12. El acceso al agua es un derecho fundamental e indispensable para la vida, que no puede ser renunciado.
	Art. 32. El derecho a la salud es una responsabilidad inalienable del Estado el cual está estrechamente vinculado con el acceso al agua.
	Art. 264.4. Los gobiernos municipales tendrán atribuciones exclusivas para ofrecer servicios públicos.
	Art. 276.4. Garantizar el acceso universal y equitativo a los recursos naturales y a los beneficios que estos generan.
	Art. 314. El Estado establecerá las normas para el uso y gestión de los servicios públicos.
	Art. 318. La prestación de servicios públicos como el s de agua potable estará a cargo únicamente de personas jurídicas de carácter estatal o comunitario.
<b>Código orgánico del Ambiente</b>	Art. 27.10.- gobiernos locales tienen la responsabilidad de verificar que se cumplan las normas de calidad ambiental en cuanto al agua, suelo, aire y ruido, y de aplicar las medidas técnicas correspondientes.
	Art. 191.- La calidad del agua, aire y el suelo será vigilada por el gobierno nacional.
<b>Ley de recursos hídricos, uso y abrochamiento del agua</b>	Art. 3. establece un marco legal para la gestión integral del agua, desde su captación hasta su disposición final, garantizando su calidad y cantidad para las generaciones presentes y futuras.
	Art. 10. cualquier recurso natural que contenga agua es considerado parte del dominio hídrico público.
	Art. 13. Se establecen áreas protegidas cerca de fuentes de agua para garantizar su calidad.
	Art. 14. Se regularán las actividades que afecten el agua en áreas que abastecen a las ciudades y campos.
<b>Código Integral Penal</b>	Art. 216. Se castigará a quienes alteren productos destinados al consumo humano de 3 a 5 años.
	Art. 251. Quien contamine o dañe los cuerpos de agua será sancionado con prisión de 3 a 5 años.

<b>Código Orgánico de Salud</b>	Art. 132. El organismo nacional de salud es responsable de establecer las reglas para la calidad del agua potable.
	Art. 134. La autoridad de salud Nacional establece los estándares de calidad del agua para consumo humano.
	Art. 136. Todas las empresas que comercializan agua para beber deben garantizar que el agua sea segura para el consumo humano.
<b>Acuerdo ministerial 097-A Anexo 1 Del libro VI del TULSMA Criterios de calidad para aguas de consumo humano y uso doméstico</b>	Define los parámetros y límites máximos permisibles de la calidad del agua para consumo humano y doméstico, los cuales deben de cumplir con los requisitos de la tabla 1 que se encuentra dentro del acuerdo ministerial 097-A y en caso de no cumplir con los estándares de la norma INEN, se deben aplicar tratamientos para potabilizarla.
<b>Norma Técnica Ecuatoriana INEN 1108 Agua potable. Requisitos</b>	Esta normativa define los estándares de calidad que debe alcanzar el agua destinada al consumo humano. La calidad del agua potable debe ajustarse a los parámetros indicados en las tablas 1 a 7 de la NTE INEN 11:08.

---

## IX. MATERIALES Y MÉTODOS

### A. Modalidad básica de investigación

La investigación tiene un enfoque experimental y cuantitativo, siendo el objetivo principal la capacidad de adsorción de As en el agua, a partir de exoesqueletos de camarón. En la Fig. 1, se presenta el diagrama de flujo del procedimiento para obtener biocarbón dividido en tres etapas principales.

La primera etapa contempla los procesos desde la obtención hasta la caracterización de la materia prima. La biomasa con la que se desarrolló el presente procedimiento experimental corresponde a los residuos de camarón proporcionados por la distribuidora de mariscos “Jamavi”. Los desechos orgánicos que genera la industria marisquera se identifican como una materia prima húmeda [55], no leñosa [56], derivada de residuos sólidos urbanos [57] y rica en nutrientes como proteínas, quitina, lípidos, pigmentos y otros minerales [58].

Como pasos preliminares para la obtención del biocarbón, se describió los procesos de pretratamiento y caracterización de la muestra. Las operaciones de pretratamiento consistieron en la limpieza, secado, triturado y tamizado de la muestra, siendo actividades indispensables que condicionan la productividad del biocarbón [57]. Por otro lado, la caracterización consistió en la extracción y cálculo de la cantidad de proteína en la muestra, para lo cual se desarrollaron 6 tratamientos utilizando los residuos del camarón disueltos en tres componentes distintos: cloruro de potasio (KCl), cloruro de sodio (NaCl) y reactivos para la determinación de Nitrógeno Total (NT). Este procedimiento aportó información sobre la calidad de los residuos y las condiciones necesarias para optimizar el proceso de producción de biocarbón.

La segunda etapa abarcó la obtención, caracterización, activación y lavado del biocarbón. [56] menciona que para transmutar a la biomasa en biocarbón se utilizan metodologías varias como la gasificación, torrefacción, carbonización hidrotermal y pirólisis, siendo esta última la tecnología más común [57] y la implementada en el diseño experimental. [59] reconoce a la pirólisis como un proceso de descomposición térmica que se realiza en un entorno inerte a un rango de temperatura elevado de 500 a 600 °C. Este proceso produce líquidos denominados bioaceites; sólidos denominados como biocarbón; y

---

gases como monóxido de carbono (CO), dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), hidrógeno molecular (H<sub>2</sub>), entre otros [60]. Para mejorar las propiedades del biocarbón se optó por una modificación química utilizando ácido clorhídrico (HCl). La modificación química es un método ampliamente utilizado que trae cambios positivos a las propiedades fisicoquímicas del biocarbón; el HCl específicamente permite que aumente su área superficial [57]. Finalmente, para asegurar la unión de los grupos funcionales del biocarbón se optó por neutralizar su pH, lavándolo con agua destilada caliente.

La última etapa se centra en la interacción del biocarbón con agua que presenta concentraciones de As V. [56] establece que la adsorción es una metodología notablemente eficiente para la extracción de metales pesados peligrosos de los ecosistemas acuáticos. La estructura molecular del biocarbón facilita la unión de tóxicos, metales pesados y otros contaminantes a través del proceso de adsorción [57]. La eficiencia del biocarbón se ve condicionada por características mecánicas y elementales únicas, como los grupos funcionales, el área superficial, la alta porosidad y la capacidad de intercambio catiónico [56]. Se pretende establecer cinéticas de adsorción condicionadas por variables como la cantidad de biocarbón en el filtro.

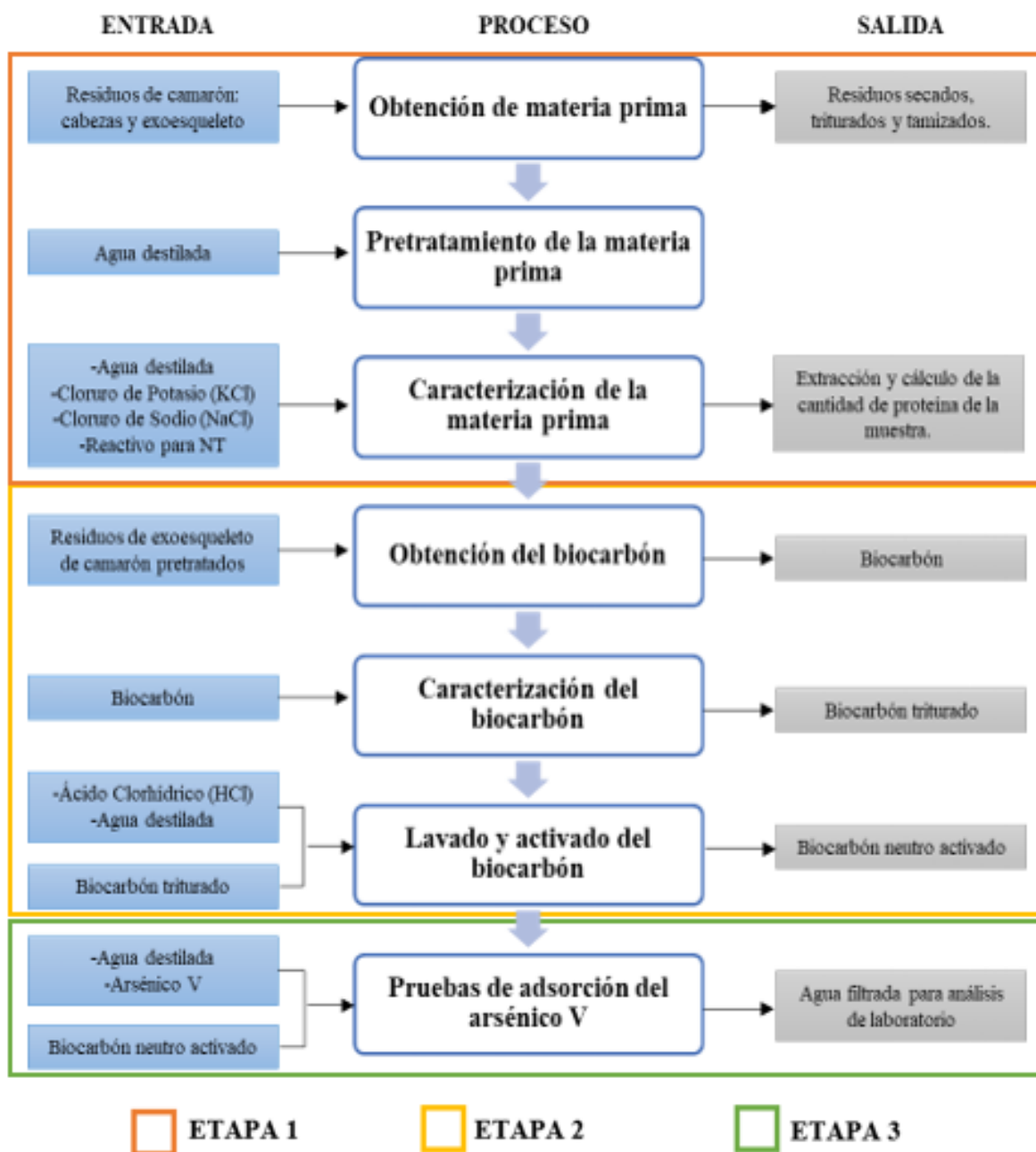


Fig 1. Diagrama metodológico para la obtención del biocarbón

### B. Descripción del área de estudio

El trabajo experimental se realizó en la Universidad Técnica de Machala (UTMACH), ubicada en el Km 5.5 de la vía Machala-Pasaje, del cantón Machala, provincia de El Oro, especialmente en el Laboratorio de Aplicaciones de Electroquímica y Bioenergía de la Facultad de Ciencias Químicas y de la Salud (Fig. 2). La zona cuenta con un rango de temperatura que oscila entre los 21 a 31 °C, una precipitación promedio anual de 257.7 mm.

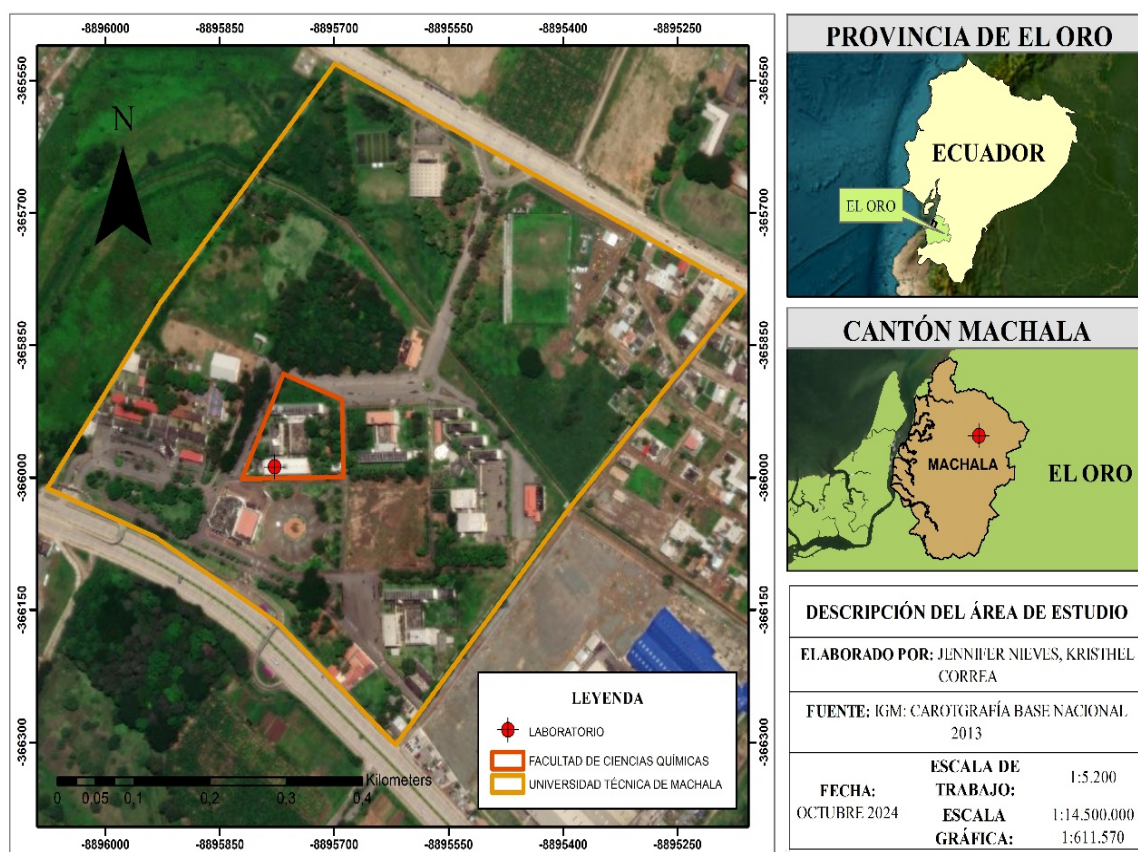


Fig 2. Localización geográfica del área de estudio

### C. Descripción del diseño experimental

#### 1) Obtención de materia prima

Para el desarrollo del presente trabajo experimental, se utilizaron residuos frescos de camarón como materia prima, específicamente las cabezas y el exoesqueleto, tal como se observa en la figura 3. Estos residuos fueron colocados en tanques bajo sombra para evitar alteraciones en su composición y estructura. La biomasa fue suministrada por la distribuidora

de mariscos “Jamavi”, ubicada en la camaronera del km 10 vía Balosa. En total, se recolectaron 2 kilogramos de residuos, obteniendo 1 kilogramo de cada tipo de material.

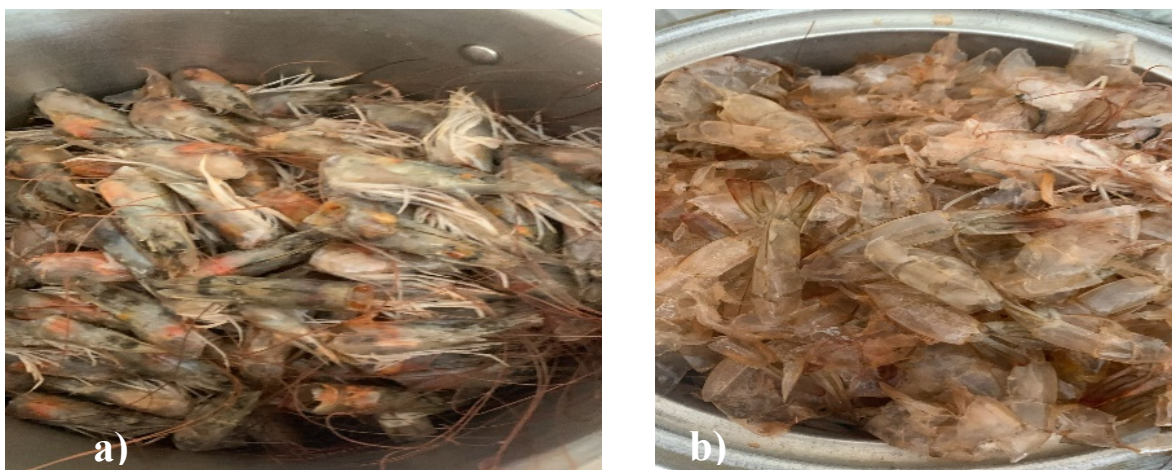


Fig 3. Materia prima: a) cabezas de camarón. b) exoesqueleto de camarón.

## 2) *Pretratamiento de la materia prima*

### a) *Limpieza y secado*

Los residuos de camarón se separaron en recipientes diferentes para las cabezas y los exoesqueletos, para posteriormente limpiarlos con agua destilada para retirar cualquier contaminante. Una vez los residuos limpios, se procede a secarlos previo a ser procesados, al tratarse de una biomasa húmeda con un contenido de humedad superior al 30% [55]. Para el secado y homogenización de la biomasa, se la colocó en un deshidratador a una temperatura de 75°C durante 19 horas, como se presenta en la figura. 4.



Fig 4. Horno deshidratador

### *b) Trituración y tamizado*

Una vez secos los residuos, se procedió a fragmentarlos mediante molienda en una licuadora logrando una reducción significativa del tamaño de partícula, como se observa en la Fig. 5. Seguidamente, lo resultante fue sometido a un proceso de tamizado, utilizando una malla de 150 micras (1.5 mm) para separar las partículas de acuerdo a su tamaño (Fig. 6). Estos tratamientos no sólo se adaptan a la biomasa para los posteriores procedimientos, sino que influyen sobre las propiedades del biocarbón condicionando la efectividad de la adsorción [56].

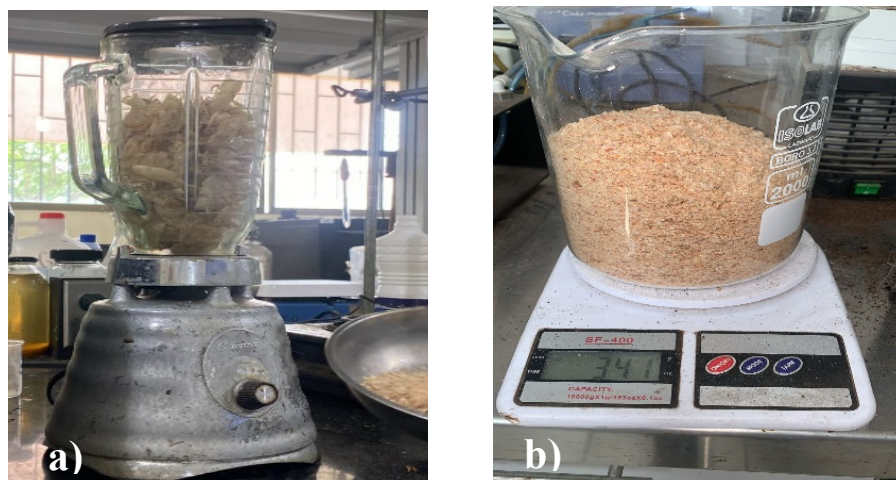


Fig 5. Trituración de la materia prima: a) proceso de licuado y b) proceso de triturado



Fig 6. Tamizado de la materia prima: a) tamiz 150  $\mu\text{m}$  y b) biomasa de cabeza y exoesqueleto de camarón



### 3) *Caracterización de la materia prima*

Para la caracterización de la biomasa, se llevó a cabo la extracción y el análisis de la cantidad de proteína presente en los residuos de camarón. La extracción de las proteínas se realizó utilizando Espectrofotometría Ultravioleta-Visible (UV-VIS), mientras que su cuantificación se efectuó mediante el método de Lowry, el cual se basa en la reacción de grupos peptídicos con reactivos de Folin-Ciocalteu, generando un complejo de color azul que es proporcional a la concentración de proteínas.

Por otro lado, la oxidación de las proteínas se evaluó mediante un método modificado que emplea 2,4-dinitrofenilhidrazina (DNPH). Este método se fundamenta en la reacción del DNPH con grupos carbonilo presentes en proteínas oxidadas, formando un complejo hidrazona que puede ser cuantificado espectrofotométricamente, lo que permite determinar el grado de oxidación proteica en la muestra [61].

Con el fin de evaluar la eficiencia en la extracción de proteínas del sustrato, se llevaron a cabo ocho tratamientos, combinando muestras de exoesqueletos y cabezas de camarón con diferentes reactivos, como cloruro de potasio (KCl), cloruro de sodio (NaCl) y nitrógeno total (NT), además de un tratamiento control en el que no se utilizó ningún reactivo.

El procedimiento de preparación de las muestras para los tratamientos con KCl y NaCl consistió en disolver 9.40 g y 7.32 g, respectivamente, en 250 ml de agua destilada utilizando un matraz aforado (ver Fig. 7a y 7b). Posteriormente, se tomaron alícuotas de 10 ml de cada solución y se mezclaron con 1 g de biomasa en tubos de ensayo separados para las muestras de exoesqueletos y cabezas de camarón (ver Fig. 7c).

Las mezclas se agitaron en un vórtex durante 2 minutos y luego se sometieron a un baño de ultrasonido por 30 minutos para mejorar la extracción. A continuación, las muestras se centrifugaron durante 7 minutos utilizando tubos Eppendorf previamente etiquetados para garantizar la homogeneización (ver Fig. 8). Finalmente, el contenido obtenido se transfirió a celdas de cuarzo para realizar su cuantificación mediante espectrofotometría (ver Fig. 9)

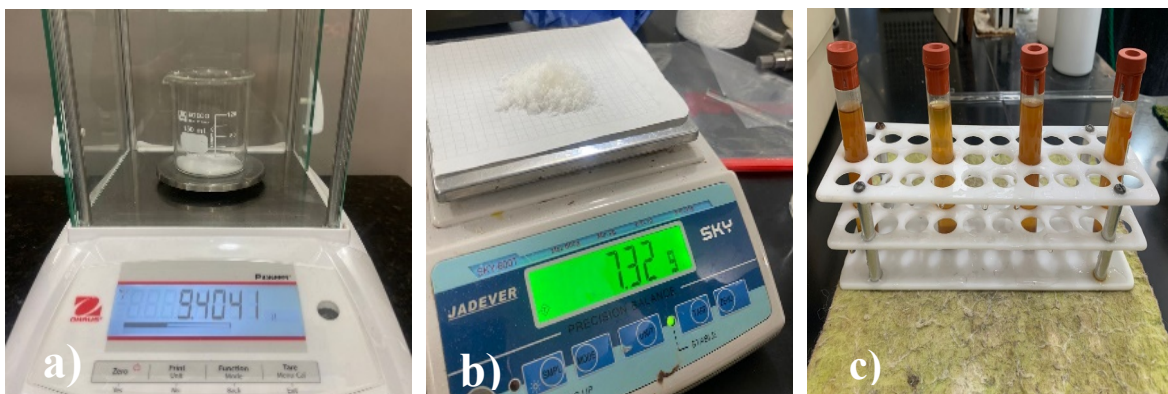


Fig 7. Preparación de la muestra para el tratamiento con KCl y NaCl: a) Cantidad en gramos de KCl, b) Cantidad en gramos de NaCl, c) Tubos de ensayo con las muestras preparadas.

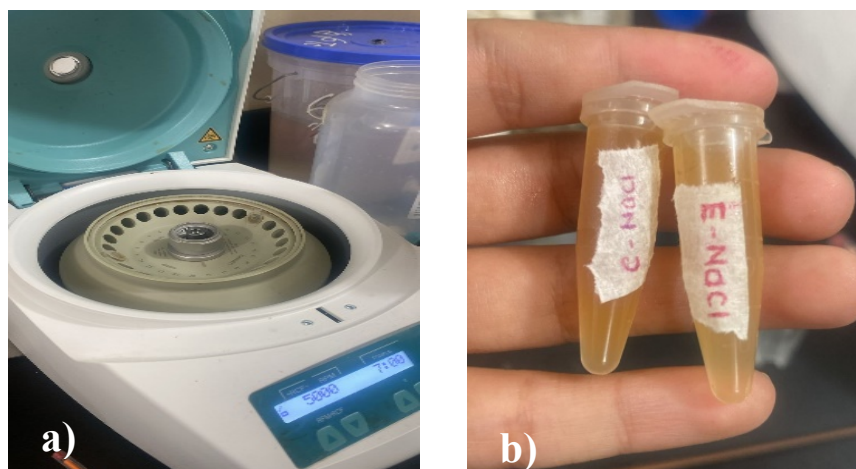


Fig 8. Homogenización de las muestras: a) Centrífuga, b) Tubos Eppendorf

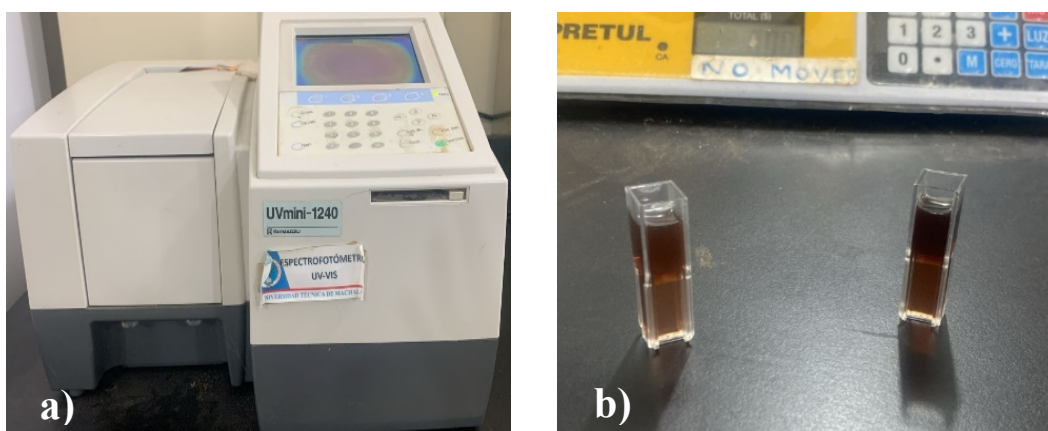


Fig 9. Extracción de la proteína de los residuos de camarón: a) Espectrofotómetro UV-VIS, b) Celdas de cuarzo.

Para la determinación del nitrógeno total (NT) se empleó el método de Kjeldahl clásico, el cual se utiliza para cuantificar el contenido total de nitrógeno en una muestra. Este método se basa en la digestión de la muestra en un medio ácido, normalmente con ácido sulfúrico, para convertir todo el nitrógeno en amoníaco. Posteriormente, el amoníaco liberado se destila y se captura en una solución, que luego se titula para determinar la cantidad de nitrógeno presente [62].

El procedimiento de preparación de la muestra consistió en diluir 1 g de cada residuo pretratado en 9 ml de agua destilada. A continuación, la muestra se colocó en un agitador tipo vórtex durante 2 minutos, luego se dejó reposar durante 30 minutos en un baño de ultrasonido, y finalmente se calentó a 105 °C. Para la cuantificación, se utilizó un rotavapor a 105 °C, donde se mezcló ½ ml de la muestra tratada disuelta en reactivos Test 'N Tube (TNT) para NT y ½ ml de agua destilada (ver Fig. 10).

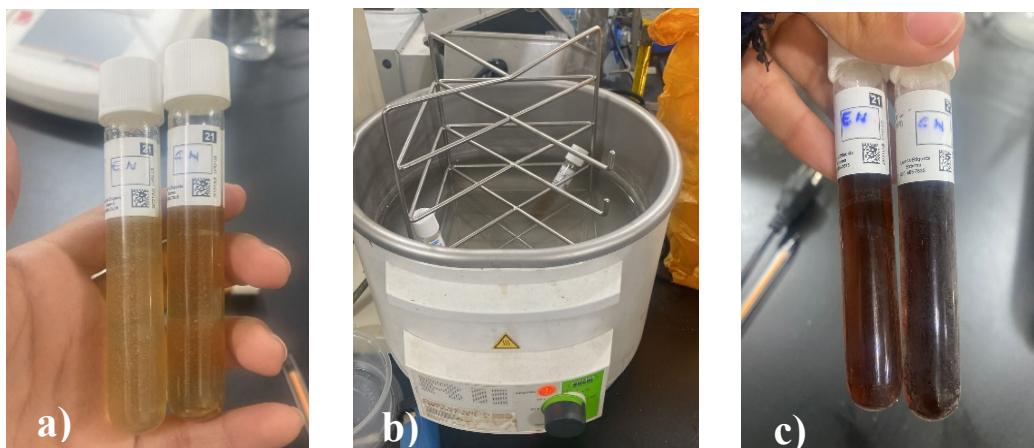


Fig 10. Determinación del NT: a) Muestra disuelta en reactivos y agua destilada, b) Rotavapor, c) Muestra resultante.

#### 4) Obtención del biocarbón

La transformación de la biomasa en biocarbón se realizó a través de la pirólisis, la metodología más utilizada para la carbonización de una biomasa [56]. La tecnología de pirólisis es un proceso termoquímico que se puede utilizar para obtener productos útiles a partir de la biomasa como biocarbón, bioaceites y gases de pirólisis combustibles [63]. La biomasa que se empleó para este procedimiento fue los exoesqueletos de camarón previamente lavados, secados y triturados. Las muestras se destinaron en un horno tubular (Ver Fig. 11a) a una temperatura constante de 600°C por un periodo total de 3 horas: 1 hora

de calentamiento y 2 horas de pirólisis. La degradación de la biomasa se ejecutó bajo el procedimiento de pirólisis lenta, donde el biocarbón es su principal subproducto y cuyo rendimiento depende del material de biomasa, las temperaturas de operación, la tasa de calentamiento y las circunstancias de la pirólisis [63]. Finalmente, después de aproximadamente 1 hora de enfriamiento natural se retiró el material del horno (Ver Fig. 11b).

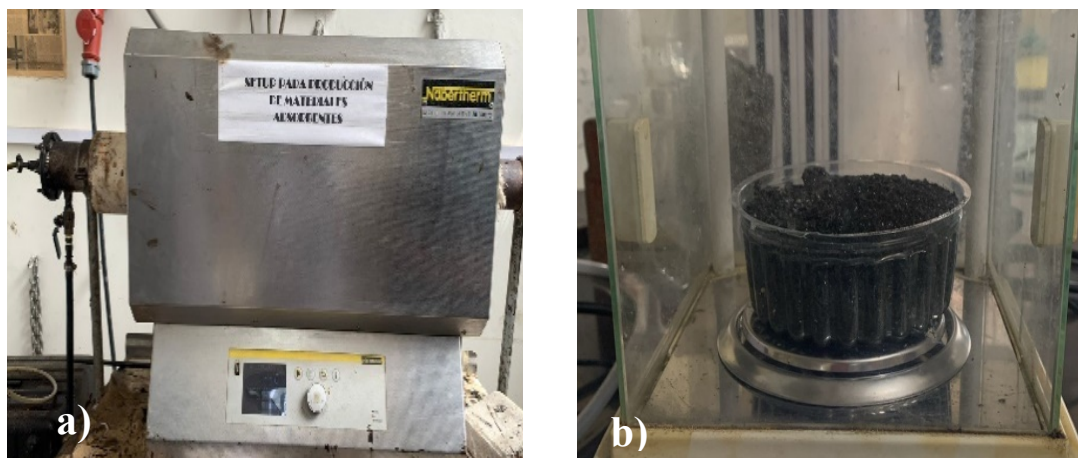


Fig 11. Proceso de pirólisis para generar biocarbón: a) Horno eléctrico de pirólisis, b) Biocarbón

##### 5) *Lavado y activado del biocarbón*

Para modificar y potenciar las propiedades del biocarbón, se empleó el método de activación ácida con ácido clorhídrico (HCl). La capacidad de adsorción del biocarbón prístino es limitada, por lo que es necesario modificarlo para mejorar el rendimiento de adsorción [64]. Mediante la modificación ácida de activación, también conocida como desmineralización, el porcentaje de carbonato de calcio de los residuos se elimina utilizando variedad de ácidos para obtener quitina de alta pureza, polisacárido precursor del proceso de adsorción [58]. El biocarbón modificado puede mejorar sus propiedades fisicoquímicas y aumentar su capacidad para eliminar contaminantes, siendo además más adecuado para aplicaciones industriales para su promoción [57].

El procedimiento inició con el triturado y la cuantificación del peso total del biocarbón. Posteriormente, como se presenta en la Fig. 12, el biocarbón fue sumergido en una solución de HCl (1N) durante aproximadamente 30 minutos. Mientras tanto, con ayuda de una estufa se calentó a 100°C, 400 ml de agua destilada para proceder con el lavado del

biocarbón activado (Ver Fig. 13a). Se ejecutaron un total de 5 lavados durante un periodo total de 10 minutos (Ver Fig. 13b), donde se verificó que el pH del carbón orgánico pasó de ser ácido a alcalino (Ver Fig. 14). Una vez terminado el procedimiento, se dispuso la muestra en un horno de secado a una temperatura constante de 70°C durante 48 horas.

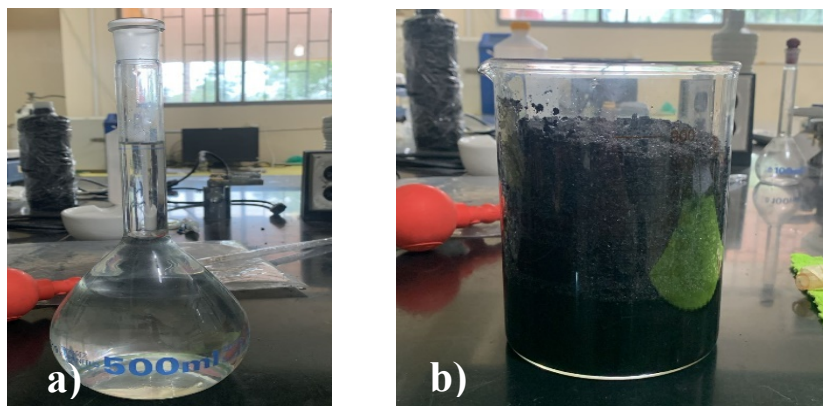


Fig. 5. Activado del biocarbón: a) Ácido Clorhídrico (1N), b) Biocarbón remojado en HCl.

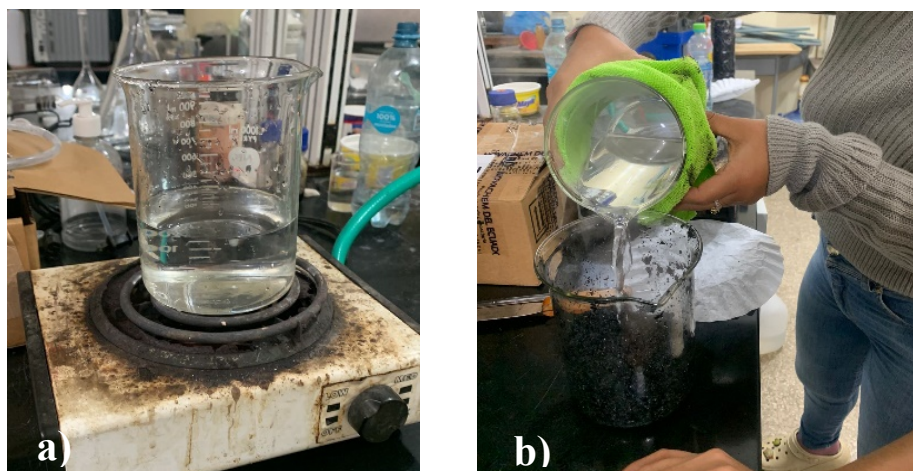


Fig. 7. Lavado del biocarbón: a) Agua destilada en la estufa, b) Biocarbón activado lavado con agua destilada.



Fig. 9. Neutralización del biocarbón: a) pH antes del lavado con agua destilada, b) pH después del lavado con agua destilada.

### 6) Pruebas de adsorción del As

Para evaluar la capacidad de adsorción del biocarbón obtenido, se preparó una solución con 2.5 ml de As a una concentración de 1000 ppm en 150 ml de agua destilada para obtener una concentración final de 10 ppm. La simulación se llevó a cabo utilizando una bomba peristáltica y un filtro. Asegurando el filtro a la bomba peristáltica mediante mangueras de silicón, se colocó 6 g y 4 g de biocarbón sobre el filtro y se vertió paulatinamente la solución de As (Ver Fig. 15). El caudal de operación de la bomba peristáltica se estableció en 20 ml/min (Ver Fig. 16). El agua filtrada se envió a un laboratorio externo certificado para analizar la concentración del As y la consecuente eficiencia del biocarbón. El método analítico empleado por el laboratorio para el análisis de los tratamientos fue AAA-PE-A023/SM 3114 C, 3112 B, EPA 3015, mientras que para la muestra de control emplearon el método AAA-PE-A041/ EPA 6020B.



Fig. 105. Bomba peristáltica operando conectado con el filtro.

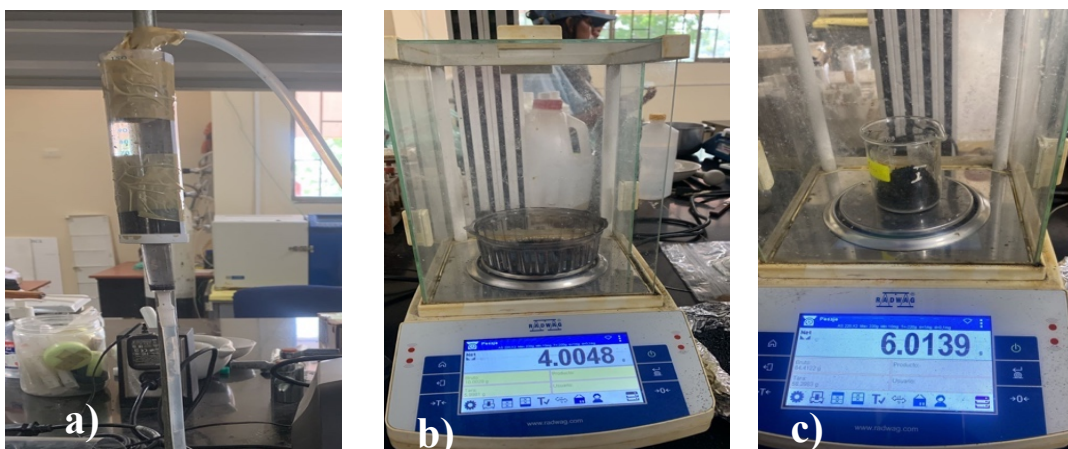


Fig. 126. a) Filtro para la bomba peristáltica: b) biocarbón 4g, c) biocarbón 6 g

### 7) Caracterización del biocarbón por Microscopia

La distribución de los elementos en la superficie de la biomasa se realizó mediante Microscopía Electrónica de Barrido (MEB). Esta técnica permitió obtener imágenes de alta resolución de la morfología y estructura del material. Las muestras de biocarbón activado fueron previamente recubiertas con una capa fina de una aleación de oro/paladio para mejorar la conductividad eléctrica, lo que facilitó la obtención de imágenes detalladas. El uso de MEB es ampliamente utilizado en la caracterización de biocarbonos, como se documenta en estudios previos de Martínez et al. [65], donde se empleó esta técnica para analizar la morfología y la distribución de metales en biocarbonos obtenidos a partir de diferentes biomateriales [66].

#### D. Recursos logísticos

Los recursos logísticos para el presente trabajo experimental se detallan en la Tabla II.

TABLA II

Recursos logísticos empleados para el trabajo experimental

<b>Instrumentos</b>	<b>Compuestos químicos</b>	<b>Equipos de laboratorio</b>
Pisetas	Agua destilada	Deshidratador
Tubos de ensayo	Cloruro de potasio	Licuadaora
Vasos de precipitación	Cloruro de sodio	Balanza analítica
Tamiz 1.5 mm	Reactivos para Nitrógeno Total	Espectrofotómetro ultravioleta-visible
Tubos eppendorf	Ácido Clorhídrico	Vórtex
Celdas de cuarzo	Arsénico	Baño ultrasonido
Soporte para tubos de ensayo	<b>Programa de Software</b>	Centrífuga
Mortero	Office Excel 2016	Estufa
Pistilo	Espectroscopia de dispersión de rayos X (EDX)	Rotavapor
Matraz aforado		Horno tubular
Filtro de plástico		Espectrofotómetro infrarrojo por transformadas de Fourier
Soporte		Medidor de pH digital
Papel filtro		Horno de secado
Mangueras de silicona		Bomba peristáltica

### *E. Procesamiento cinético de adsorción de As*

Para evaluar las cinéticas de adsorción de As, se consideraron las variables especificadas en la Tabla III. Las variables independientes incluyeron la concentración de biomasa seca (biocarbón obtenido del exoesqueleto de camarón), la concentración inicial de arsénico en el líquido contaminado, el flujo y el tiempo de contacto. Por otro lado, el pH y la cantidad de As adsorbido fueron definidas como variables dependientes.

El experimento se diseñó con tres tratamientos basados en diferentes concentraciones de biocarbón: Tratamiento 1: Muestra testigo, sin adición de biocarbón, donde se utilizó la concentración inicial de As en el agua contaminada como referencia, Tratamiento 2: Agua contaminada filtrada con 4 g de biocarbón, Tratamiento 3: Agua contaminada filtrada con 6 g de biocarbón. Para los tratamientos 2 y 3, se realizaron repeticiones en cuatro tiempos de contacto (1, 2, 3 y 4 horas). En todos los ensayos, se emplearon 150 ml de agua contaminada con As, con un flujo constante de 20 minutos. Una vez finalizado el proceso experimental, se tomaron muestras de cada tratamiento, las cuales fueron enviadas a un laboratorio certificado en la ciudad de Quito para su análisis mediante el método analítico AAA-PE-A023. Este análisis permitió determinar los resultados finales de adsorción de As.

Los resultados obtenidos permitieron evaluar la capacidad del biocarbón para eliminar As del agua, un atributo esencial para su uso como material de tratamiento. Además, se contrastaron con los criterios de calidad establecidos por el Texto Unificado de Legislación Secundaria del Medio Ambiente (TULSMA - Acuerdo Ministerial 097) para diferentes usos del agua, incluyendo consumo humano, uso doméstico, agrícola y pecuario, destacando su potencial como una solución efectiva y sostenible para la remediación de agua contaminada.

**TABLA III**

Diseño experimental para la adsorción de As; tratamiento y variables independientes

<b>Biomasa</b>	<b>Tratamientos</b>	<b>Concentración de biomasa seca (g)</b>	<b>Concentración agua con As (ml)</b>	<b>Tiempo (horas)</b>	<b>pH</b>	<b>Flujo (min)</b>
	Testigo	0	150	0	2.47	0
	TA1	4		1	5.33	20 min
	TA2			2	2.68	
	TA3			3	6.23	



Biocarbón de exoesqueleto de camarón	TA4	6		4	5.05	
	TB1			1	2.12	
	TB2			2	2.44	
	TB3			3	7.02	
	TB4			4	4.07	

## X. RESULTADOS

### A. Cuantificación del contenido proteico presentes en los residuos de camarón

En la Tabla IV se presentan los cálculos del contenido de proteína que presentó los exoesqueletos y cabezas de camarón, utilizados como sustrato para el biocarbón. Los resultados se ubicaron de acuerdo a los reactivos utilizados para la obtención de la proteína, tomando en consideración dos muestras de control para cada sustrato.

TABLA IV

Contenido de proteína de biomazas secas de exoesqueleto y cabezas de camarón

Tratamientos	Código	Proteína (g/L)
Exoesqueletos de camarón	ExC	1.17
Cabezas de camarón	CbC	1.39
Exoesqueletos de camarón + NaCl	ExC + NaCl	0.90
Cabezas de camarón + NaCl	CbC + NaCl	1.64
Exoesqueletos de camarón + KCl	ExC + KCl	0.93
Cabezas de camarón + KCl	CbC + KCl	1.58
Exoesqueletos de camarón + NT	ExC + NT	1.37
Cabezas de camarón + NT	CbC + NT	1.72

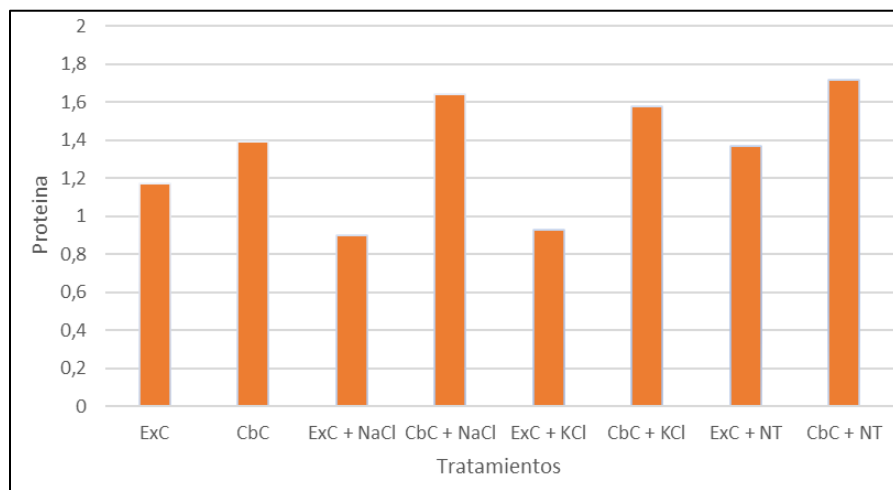


Fig.17. Cantidad de proteína en los exoesqueletos y cabezas de camarón

Los desechos de camarón son ricos en proteínas [67]. Como se observa en la Fig. 17, la concentración de proteínas en exoesqueletos y cabezas de camarón, utilizando los tres tratamientos mencionados anteriormente, se encuentra dentro de un rango promedio de 1.34 g/L. En el tratamiento con NaCl, los exoesqueletos presentaron una menor cantidad de proteína en comparación a la muestra 0, mientras que las cabezas tuvieron un incremento de 0.25 g/L. Para el tratamiento con KCl se obtuvo resultados similares, con una menor presencia de proteína en los exoesqueletos en relación a la muestra de control y un aumento de 0.19 g/L para las cabezas. El reactivo de NT es en donde se puede observar la mayor cantidad de proteínas, tanto para el exoesqueleto como para las cabezas de camarón, donde el incremento de la proteína se estimó en 0.20 g/L y 0.33 g/L respectivamente. La eficiencia en la extracción de proteínas del reactivo de NT se relaciona con la estrecha afinidad que mantiene con la fuente de nitrógeno de estos polímeros, los aminoácidos y los péptidos [67].

#### *B. Capacidad del biocarbón en la adsorción de As en diferentes concentraciones de biomasa*

Los resultados de los análisis de laboratorio para determinar la adsorción de arsénico (As) se compararon con los límites máximos permisibles establecidos para tres usos del agua: agrícola, consumo humano y doméstico, y pecuario. Cabe destacar que los límites de mayor control corresponden a los usos de consumo humano y doméstico, y de riego agrícola con un límite máximo permisible de hasta 0.1 mg/L. Como se muestra en la Tabla V, ningún

tratamiento evaluado cumple con los criterios de calidad establecidos para estos usos, lo que indica que, en su estado actual, el biocarbón no es adecuado para dichas aplicaciones. Sin embargo, aunque los valores obtenidos superan los límites máximos permisibles, esto no implica una ausencia de adsorción. Los resultados reflejan que el biocarbón tiene capacidad para adsorber As, pero aún sería necesario optimizar sus propiedades para alcanzar niveles que cumplan con los estándares de calidad exigidos.

TABLA V

Concentraciones de inicio (testigo) y finales de adsorción de As, filtrados con biomasa seca (biocarbón) y comparado con los criterios de calidad de agua del TULSMA - acuerdo ministerial 097 en (mg/l)

Tratamiento	Concentración de biomasa seca biocarbón (g)	Resultado (mg/L)	Criterios de Calidad para Usos del Agua- Acuerdo Ministerial 097 (TULSMA)		
			Agua para consumo humano y doméstico	Agua de uso agrícola o de riego	Agua para uso pecuario
Testigo		>12.5	0.1	0.1	0.2
TA1	4 g	1.2684			
TA2		1.0190			
TA3		1.114			
TA4		0.9366			
TB1	6 g	0.7438			
TB2		0.8466			
TB3		0.8798			
TB4		0.7970			

Las muestras se dividieron en dos tratamientos principales, TA y TB, con concentraciones iniciales de biomasa de 4 g y 6 g, respectivamente. Como se puede observar en la Fig. 18, tomando como referencia un valor inicial de 12.5 mg/L, en el tratamiento TA, el valor más alto de concentración de arsénico se obtuvo en TA1, con 1 hora de tratamiento y un pH de 5.33, alcanzando 1.2684 mg/L, mientras que TA4, con 4 horas de tratamiento y un pH de 5.05, mostró una disminución significativa a 0.9366 mg/L. Esto sugiere que, a mayor tiempo de tratamiento, la eficiencia puede reducirse en el caso de este grupo.

En el tratamiento TB, donde la biomasa inicial fue de 6 g, se observa una tendencia similar. TB1, con 1 hora de tratamiento y un pH de 2.12, obtuvo 0.7438 mg/L, mientras que TB4, con 4 horas de tratamiento y un pH de 4.07, alcanzó 0.7970 mg/L, un

valor ligeramente superior, aunque dentro de la misma tendencia. Al comparar ambos tratamientos, se concluye que el grupo TB, con una mayor concentración de biomasa (6 g), es más eficiente en la adsorción de arsénico que el grupo TA (4 g), especialmente en tiempos más cortos y pH más bajos. Este comportamiento sugiere que tanto la cantidad de biomasa como el pH juegan un papel clave en la eficiencia del proceso, siendo TB1 el tratamiento más destacado [68].

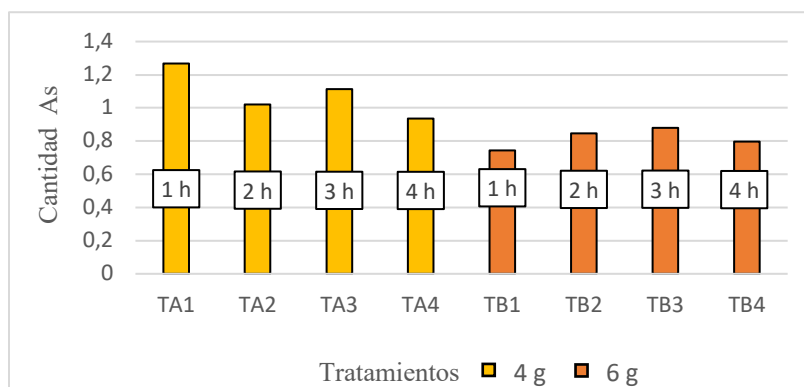


Fig.18. Concentración final de adsorción de As con diferentes concentraciones de biocarbón en (mg/L)

### C. Caracterización del biocarbón por Microscopia antes y después del proceso de adsorción

El análisis de la composición química del biocarbón antes y después del proceso de adsorción de arsénico se realizó mediante la evaluación de puntos y regiones seleccionadas aleatoriamente. En el caso del biocarbón previo a la adsorción, se examinaron dos puntos y una región, mientras que, tras el proceso de adsorción, se analizaron cinco regiones.

A continuación, se presentan los valores de concentración atómica y en peso de cada elemento químico en tablas y gráficos obtenidos mediante Espectroscopía de Dispersión de Energía de Rayos X (EDX). Dichos gráficos muestran la intensidad de los rayos X emitidos por el material en función de su energía. En ellos, el eje "x" representa la energía de los rayos X (expresada en kiloelectronvoltios, keV), mientras que el eje "y" indica la intensidad de los rayos X emitidos, medida en cuentas por segundo (cps) [69].

### 1. Biocarbón antes del proceso de adsorción

Como se observa en las tablas VI, VII, VIII, el carbono (C) es el elemento de mayor concentración tanto atómica como en peso del biocarbón activado. La presencia de C en las muestras excedió el 40% y el 30% en concentración atómica y en peso respectivamente, siendo la Región 1 la de mayor porcentaje. Siendo el oxígeno (O) el segundo elemento con mayor concentración en las muestras, se presume que la naturaleza de estos resultados radica en el proceso de carbonización y activación química a la que fue sometido el sustrato. El alto contenido de carbono y menores contenidos de oxígeno se consideran atributos positivos de las biomásas después del proceso de pirólisis, puesto que es un indicativo que se puede mejorar el valor calorífico de la materia prima [59].

Los elementos restantes como el Sodio (Na), Calcio (Ca), Aluminio (Al), Fósforo (P), Magnesio (Mg) y Potasio (K), se encuentran presentes en menores concentraciones, por lo que posiblemente sean constituyentes secundarios o impurezas. Es importante señalar que elementos como el Silicio (Si) y Cloro (Cl) se registraron en las muestras una sola vez; el Si presente únicamente en el punto 1 con una concentración atómica de 7.24% y de peso 12.26%; y el Cl presente únicamente en el punto 2 con una concentración atómica de 0.34% y de peso de 0.70%.

- Punto 1

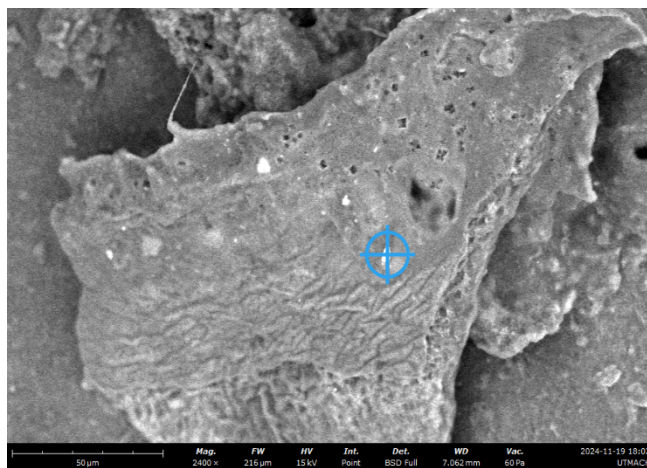


Fig. 19. Fotografía locativa del Punto 1

TABLA VI

Composición química del biocarbón activado en el punto 1

Número atómico	Símbolo del elemento	Nombre del elemento	Concentración atómica (%)	Concentración en peso (%)
6	C	Carbono	42.07	30.45
8	O	Oxígeno	40.44	38.99
11	Na	Sodio	1.81	2.51
13	Al	Aluminio	5.38	8.74
14	Si	Silicio	7.24	12.26
15	P	Fósforo	0.65	1.21
20	Ca	Calcio	2.41	5.83

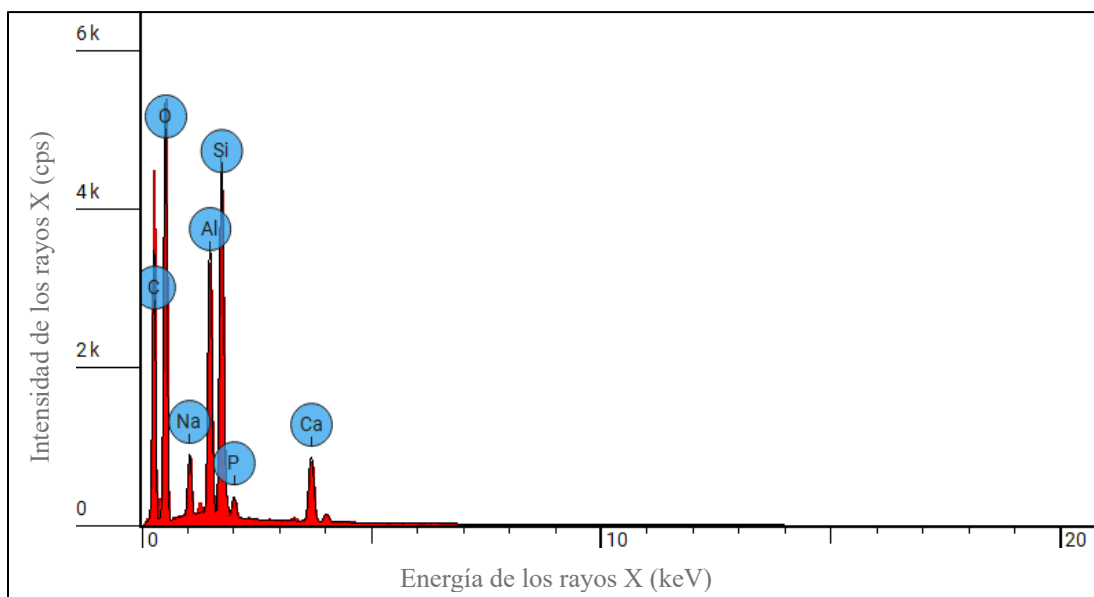


Fig. 20. Gráfico de espectro EDS del Punto 1

- Punto 2

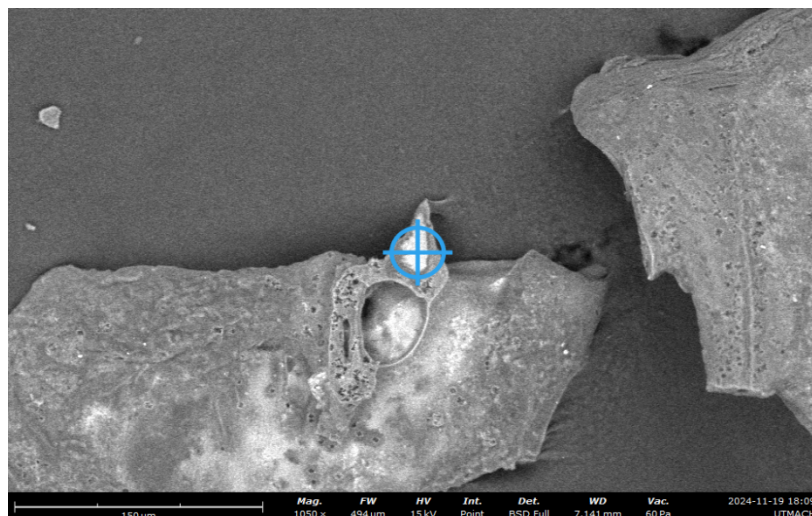


Fig. 21. Fotografía localiva del Punto 2

TABLA VII

Composición química del biocarbón activado en el punto 2

Número atómico	Símbolo del elemento	Nombre del elemento	Concentración atómica (%)	Concentración en peso (%)
6	C	Carbono	50.46	34.90
8	O	Oxígeno	31.04	28.60
11	Na	Sodio	1.21	1.60
12	Mg	Magnesio	1.21	1.70
13	Al	Aluminio	0.39	0.60
15	P	Fósforo	6.67	11.90
17	Cl	Cloro	0.34	0.70
19	K	Potasio	0.71	1.60
20	Ca	Calcio	7.97	18.40

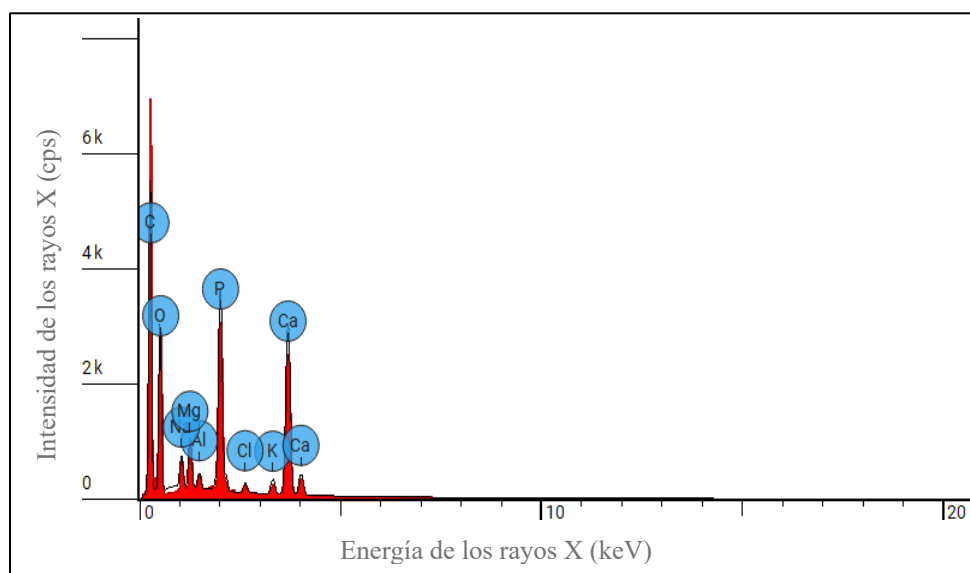


Fig. 22. Gráfico de espectro EDS del Punto 2

- Región 1

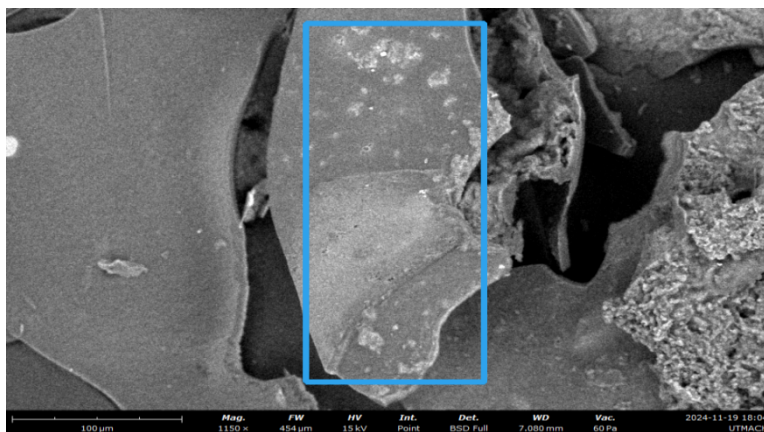


Fig. 23. Fotografía localiva de la Región 1

TABLA XIII

Composición química del biocarbón activado en la región 1

Número atómico	Símbolo del elemento	Nombre del elemento	Concentración atómica (%)	Concentración en peso (%)
6	C	Carbono	74.72	64.56
8	O	Oxígeno	20.00	23.02
11	Na	Sodio	0.48	0.80
12	Mg	Magnesio	0.34	0.60
13	Al	Aluminio	1.19	2.30
15	P	Fósforo	0.99	2.20
19	K	Potasio	0.85	2.40
20	Ca	Calcio	1.42	4.10

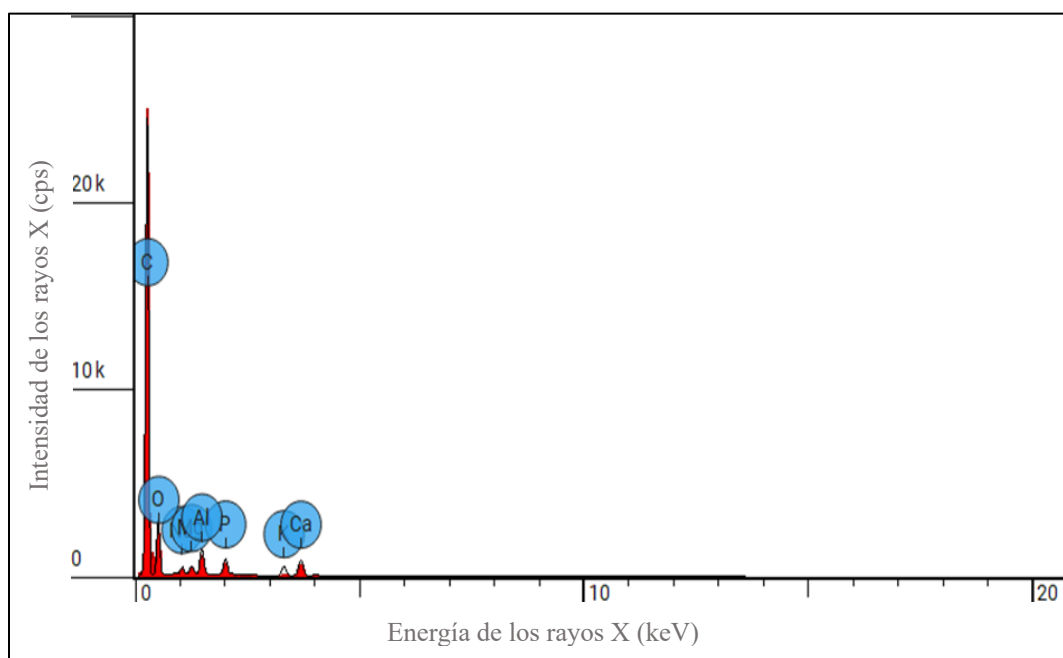


Fig. 24. Gráfico de espectro EDS de la Región 1

En la Tabla XIV se condensa toda la información sobre la concentración atómica de las tres muestras de biocarbón activado. La Fig. 25 evidencia claramente que los elementos principales que componen la estructura del biocarbón son el carbono y el oxígeno; de 100 átomos totales, el carbono mantiene una concentración atómica promedio de 55,75% y el oxígeno del 30,49%. La desviación estándar para los elementos antes mencionados es baja con respecto al promedio, lo que indica que la variabilidad es pequeña y las condiciones para la concentración son consistentes entre las muestras. Sin embargo, para los elementos que se presentan como trazas, la desviación estándar es relativamente alta, en algunos casos hasta superando el valor promedio como en el caso del Aluminio (Al) y el Fósforo (P). Esto quiere



decir que existe una amplia variabilidad y que los datos de las concentraciones en las muestras se encuentran más dispersos.

TABLA IX

Concentración atómica promedio de las muestras de biocarbón activado

Concentración atómica (%)					
Nombre del elemento	Punto 1	Punto 2	Región 1	Promedio	Desviación estándar
Carbono	42,07%	50,46%	74,72%	55,75%	16,96%
Oxígeno	40,44%	31,04%	20,00%	30,49%	10,23%
Sodio	1,81%	1,21%	0,48%	1,17%	0,67%
Calcio	2,41%	7,97%	1,42%	3,93%	3,53%
Aluminio	5,38%	0,39%	1,19%	2,32%	2,68%
Fósforo	0,65%	6,67%	0,99%	2,77%	3,38%
Magnesio	-	1,21%	0,34%	0,78%	0,62%
Potasio	-	0,71%	0,85%	0,78%	0,10%

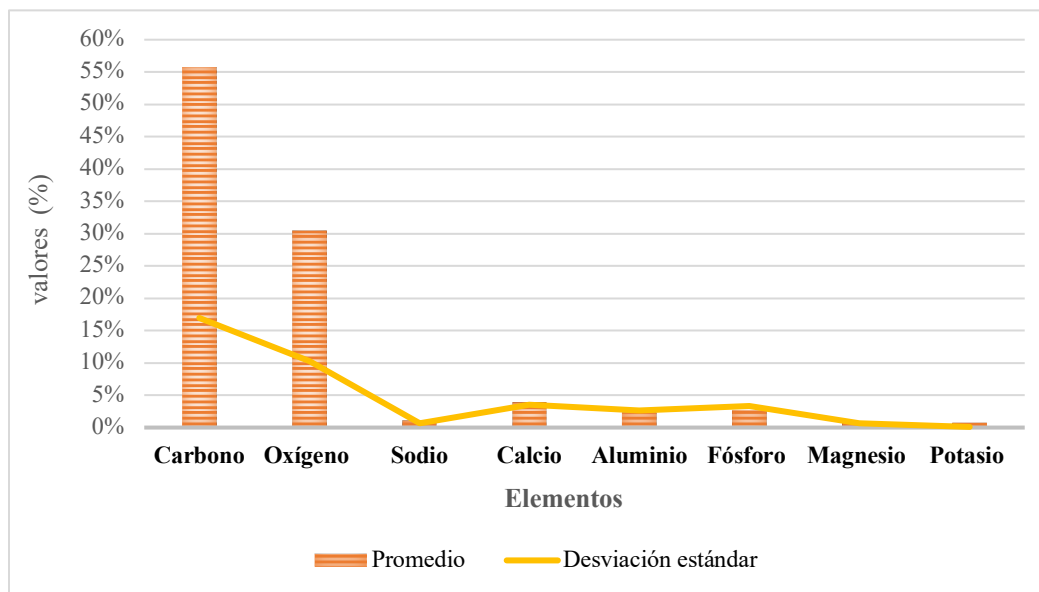


Fig. 25. Concentración atómica promedio de las muestras de biocarbón activado

Complementando los datos de la concentración atómica promedio, la Tabla XV presenta la concentración en peso promedio junto con la desviación estándar de los datos. Como se observa en la Fig. 26, los elementos C y O siguen liderando la composición de la estructura química del biocarbón, aunque con una diferencia porcentual más estrecha debido a la superioridad del peso atómico del oxígeno sobre la del carbono. La desviación estándar

destaca la concordancia de los datos de la muestra con respecto al promedio. Para este parámetro volvemos a presenciar desviaciones estándar altas para aquellos elementos cuya concentración del total es menor al 10%.

TABLA X

Concentración en peso promedio de las muestras de biocarbón activado

Concentración en peso (%)					
Nombre del elemento	Punto 1	Punto 2	Región 1	Promedio	Desviación estándar
Carbono	30,45%	34,90%	64,56%	43,31%	18,54%
Oxígeno	39,00%	28,60%	23,02%	30,21%	8,11%
Sodio	2,51%	1,60%	0,80%	1,64%	0,86%
Calcio	5,83%	18,40%	4,10%	9,44%	7,80%
Aluminio	8,74%	0,60%	2,30%	3,88%	4,30%
Fósforo	1,21%	11,90%	2,20%	5,10%	5,91%
Magnesio	-	1,70%	0,60%	1,15%	0,78%
Potasio	-	1,60%	2,40%	2,00%	0,57%

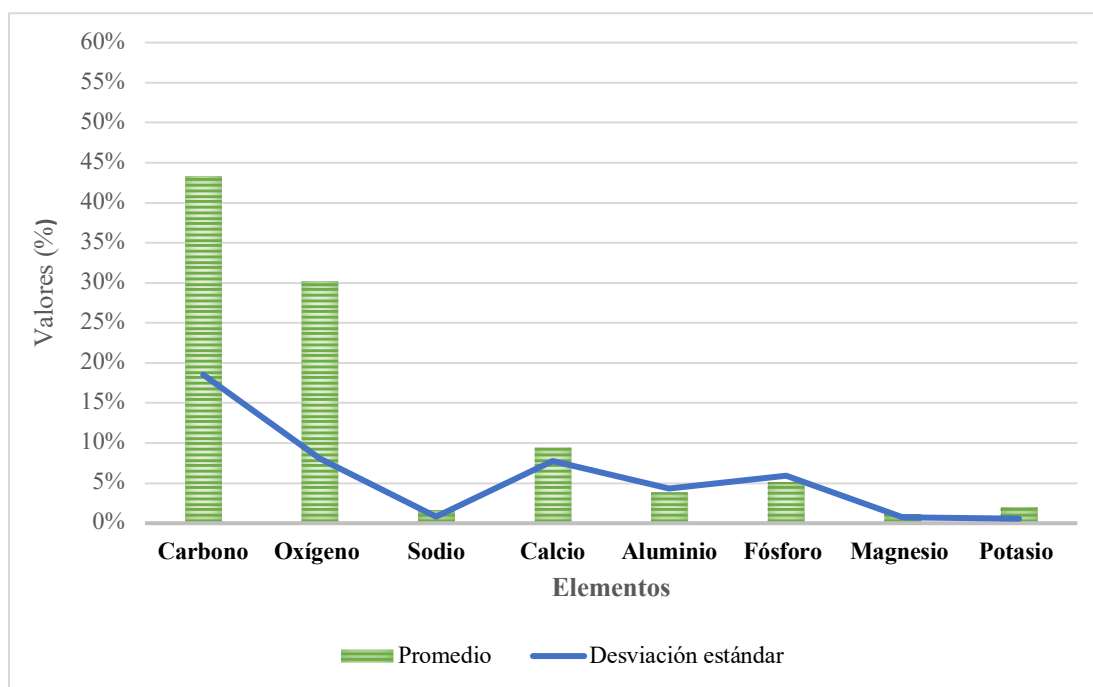


Fig. 14. Concentración en peso promedio de las muestras de biocarbón activado

## 2. Biocarbón después del proceso de adsorción

Las tablas VII, VIII, IX, X, XI, destacan la presencia del Carbono (C), Oxígeno (O) y Calcio (Ca) en las muestras tomadas del biocarbón posterior al proceso de adsorción. La

Región 2, 3 y 4 presentan una estructura determinada predominantemente por el C y O, mientras que la Región 1 destaca la presencia del Ca y C y la Región 5 del O y Ca. Elementos restantes como el Aluminio (Al), Nitrógeno (N), Fósforo (P), Magnesio (Mg), Sodio (Na), Cloro (Cl) y Potasio (K) no presentan concentraciones representativas por lo que también podría tratarse de impurezas. Al igual que en las primeras muestras analizadas, se detectó elementos que aparecen una sola vez en las muestras; el Azufre (S) presente únicamente en la Región 2 con una concentración atómica de 0.32% y de peso 0.70%; el Silicio (Si) presente únicamente en la Región 4 con una concentración atómica 9.02% y de peso 16.80%; finalmente, el indio (In) presente únicamente en la Región 5 con una concentración atómica de 0.17% y de peso 0.80%.

- Región 1

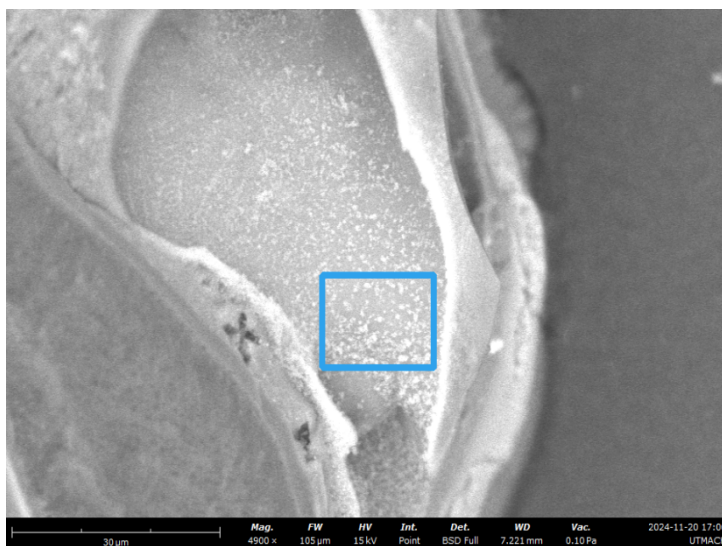


Fig. 167. Fotografía local de la Región 1

TABLA XI

Composición química del biocarbón posterior al proceso de adsorción en la Región

Número atómico	Símbolo del elemento	Nombre del elemento	Concentración atómica (%)	Concentración en peso (%)
6	C	Carbono	18.08	6.60
8	O	Oxígeno	6.99	3.40
13	Al	Aluminio	3.29	2.70
20	Ca	Calcio	71.64	87.30

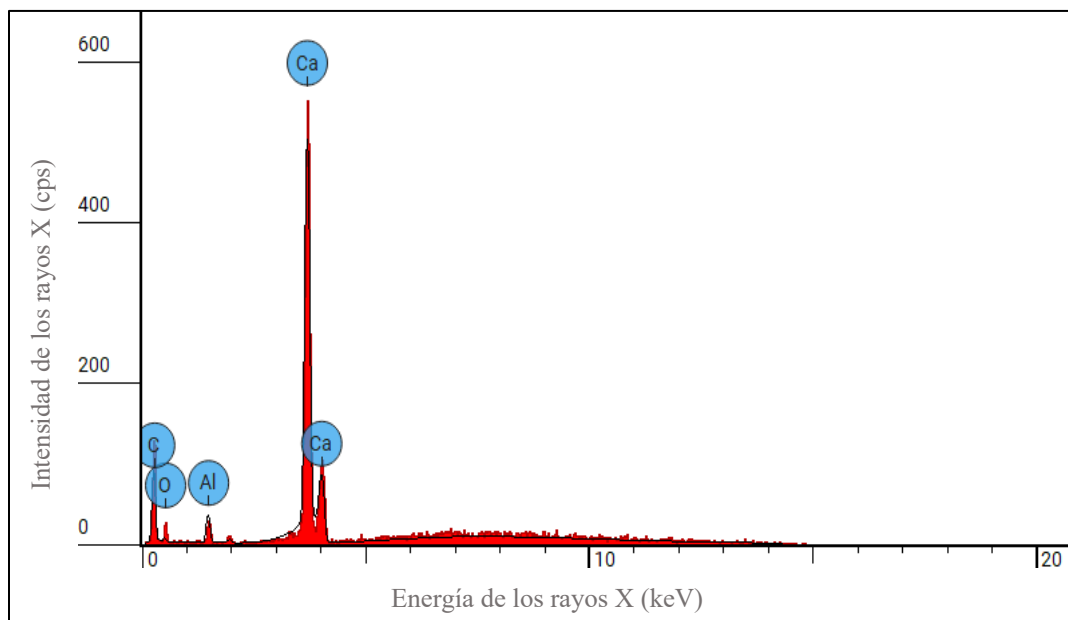


Fig. 28. Gráfico de espectro EDS de la Región 1

- Región 2

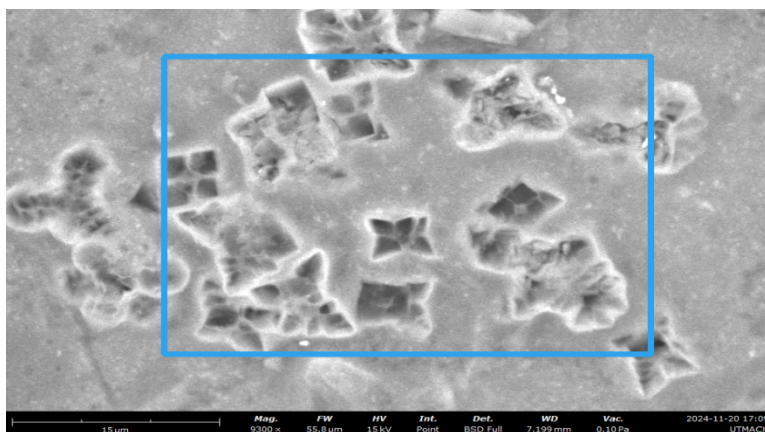


Fig. 29. Fotografía localiva de la Región 2

TABLA XII

Composición química del biocarbón posterior al proceso de adsorción en la Región 2

Número atómico	Símbolo del elemento	Nombre del elemento	Concentración atómica (%)	Concentración en peso (%)
6	C	Carbono	64.61	53.72
7	N	Nitrógeno	11.51	11.17
8	O	Oxígeno	17.17	19.01
11	Na	Sodio	0.44	0.70
12	Mg	Magnesio	0.72	1.21
15	P	Fósforo	1.64	3.52
16	S	Azufre	0.32	0.70
20	Ca	Calcio	3.59	9.96

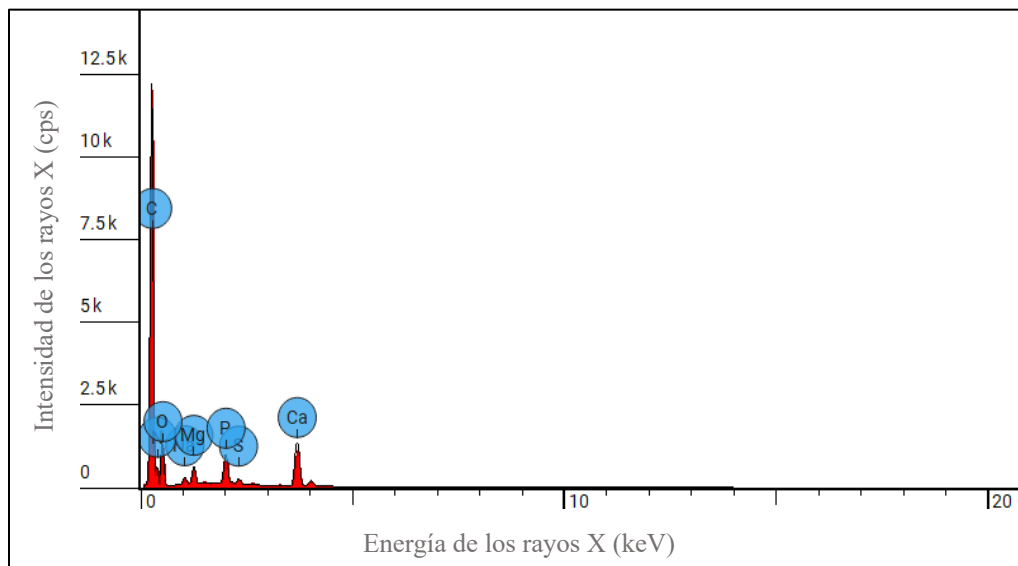


Fig. 30. Gráfico de espectro EDS de la Región 2

- Región 3

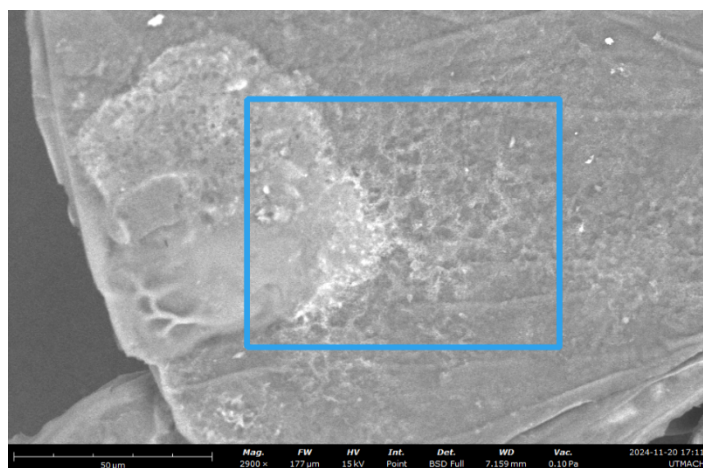


Fig. 31. Fotografía localiva de la Región 3

TABLA XIII

Composición química de la Región 3

Número atómico	Símbolo del elemento	Nombre del elemento	Concentración atómica (%)	Concentración en peso (%)
6	C	Carbono	66.50	55.76
7	N	Nitrógeno	9.52	9.31
8	O	Oxígeno	17.12	19.12
11	Na	Sodio	1.50	2.40
12	Mg	Magnesio	0.35	0.60
15	P	Fósforo	1.57	3.40
17	Cl	Cloro	0.40	1.00
19	K	Potasio	1.06	2.90
20	Ca	Calcio	1.97	5.51

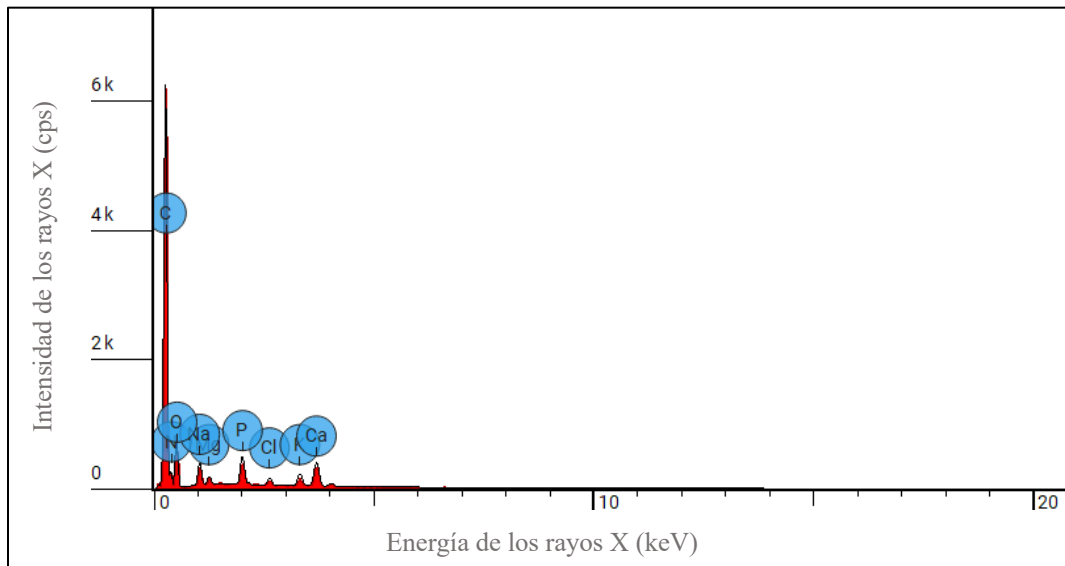


Fig. 32. Gráfico de espectro EDS de la Región 3

- Región 4



Fig. 33. Fotografía locativa de la Región 4

TABLA XIV

Composición química del biocarbón posterior al proceso de adsorción en la Región 4

Número atómico	Símbolo del elemento	Nombre del elemento	Concentración atómica (%)	Concentración en peso (%)
6	C	Carbono	55.40	44.10
7	N	Nitrógeno	4.85	4.50
8	O	Oxígeno	28.95	30.70
11	Na	Sodio	0.33	0.50
12	Mg	Magnesio	0.19	0.30
13	Al	Aluminio	0.17	0.30
14	Si	Silicio	9.02	16.80
17	Cl	Cloro	0.34	0.80
19	K	Potasio	0.42	1.10
20	Ca	Calcio	0.34	0.90

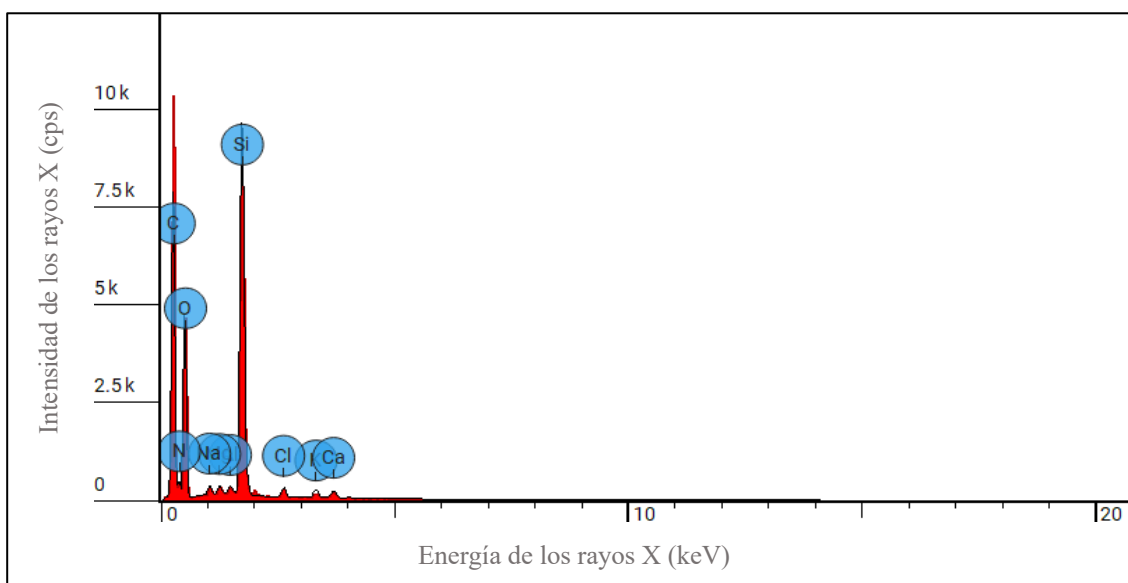


Fig. 34. Gráfico de espectro EDS de la Región 4

- Región 5

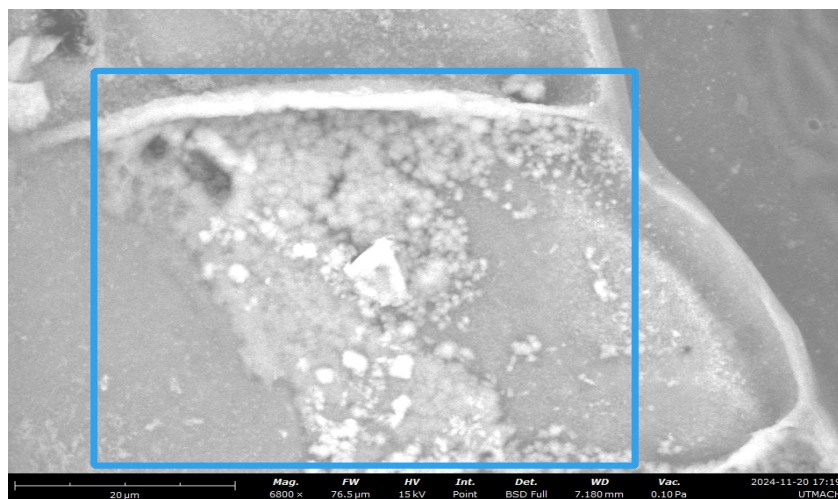


Fig. 35. Fotografía localiva de la Región 5

TABLA XV

Composición química del biocarbón posterior al proceso de adsorción en la Región 5

Número atómico	Símbolo del elemento	Nombre del elemento	Concentración atómica (%)	Concentración en peso (%)
6	C	Carbono	16.87	8.20
8	O	Oxígeno	41.84	27.10
12	Mg	Magnesio	0.71	0.70
15	P	Fósforo	6.22	7.80
17	Cl	Cloro	0.42	0.60
20	Ca	Calcio	33.77	54.80
49	In	Indio	0.17	0.80

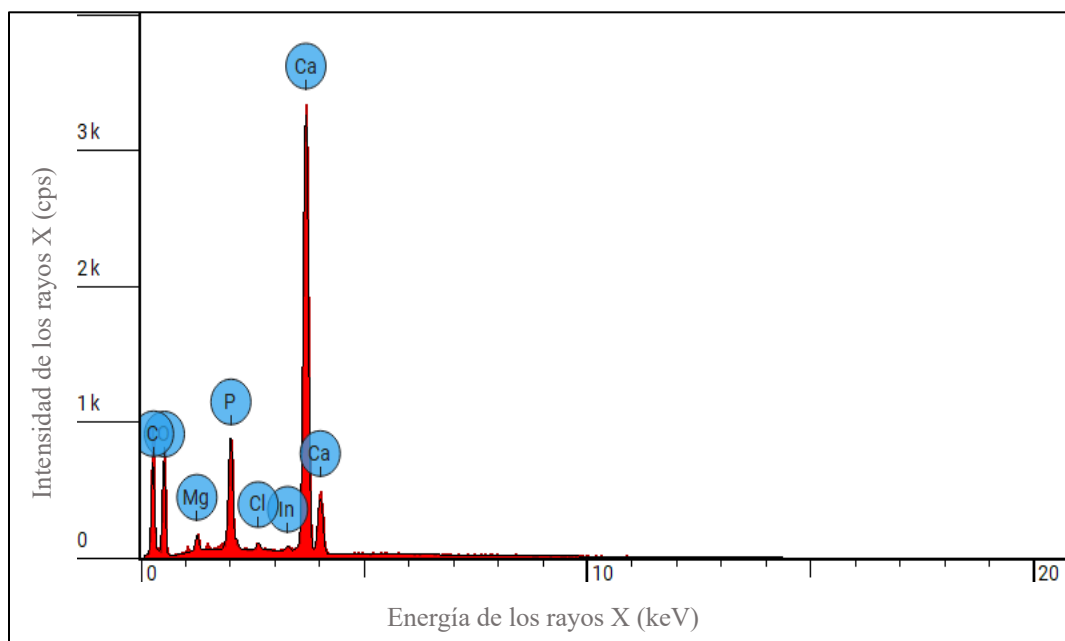


Fig. 36. Gráfico de espectro EDS de la Región 5

En la Tabla XVI se condensa toda la información disponible sobre la concentración atómica de las muestras del biocarbón utilizado como filtro de aguas residuales ricas en As. La Fig. 37 sugiere que los elementos C, O y Ca mantienen concentraciones atómicas promedio superiores; de 100 átomos totales, el carbono constituye el 44.29%, el oxígeno el 22.51% y el calcio el 22.26%. Sin embargo, revisando la desviación estándar se detecta que el elemento Ca posee un porcentaje superior al promedio, lo que indica diferencias importantes entre los valores de concentración de las muestras y por ende condiciones de adsorción poco consistentes entre los puntos. El resto de elementos traza también presentan



porcentajes de desviación estándar elevados, con excepción del Nitrógeno (N) y el Cloro (Cl).

TABLA XVI

Concentración atómica de las muestras de biocarbón posterior al proceso de adsorción

Concentración atómica (%)							
Nombre del elemento	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5	Promedio	Desviación estándar
Carbono	18,08%	64,61%	66,50%	55,40%	16,87%	44,29%	24,84%
Oxígeno	6,99%	17,17%	17,12%	28,95%	41,84%	22,41%	13,36%
Aluminio	3,29%	-	-	0,17%	-	1,73%	2,21%
Calcio	71,64%	3,59%	1,97%	0,34%	33,77%	22,26%	30,87%
Nitrógeno	-	11,51%	9,52%	4,85%	-	8,63%	3,42%
Sodio	-	0,44%	1,50%	0,33%	-	0,49%	0,75%
Magnesio	-	0,72%	0,35%	0,19%	0,71%	0,54%	0,27%
Fósforo	-	1,64%	1,57%	-	6,22%	3,14%	2,66%
Cloro	-	-	0,40%	0,34%	0,42%	0,39%	0,04%
Potasio	-	-	1,06%	0,42%	-	0,74%	0,45%

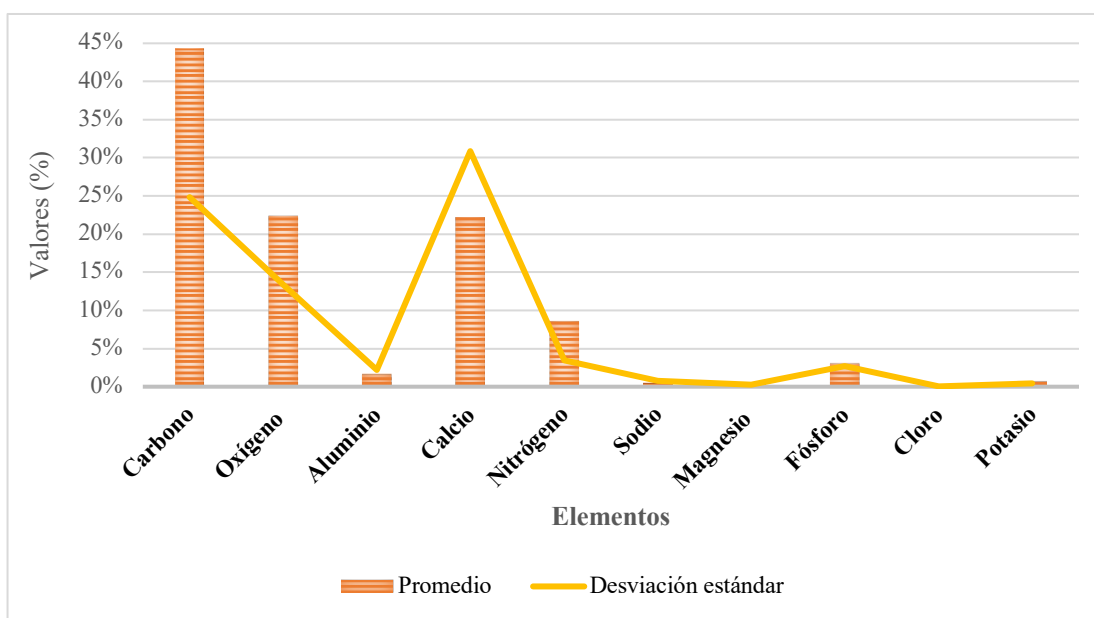


Fig. 18. Concentración atómica promedio de las muestras de biocarbón posterior al proceso de filtración

En la Tabla XVII se evidencia la concentración en peso promedio de las muestras tomadas del biocarbón posterior al proceso de adsorción. Para este parámetro el elemento carbono es el que presenta mayor concentración promedio en peso, seguido del calcio y el

oxígeno. Como se observa en la Fig. 38, el elemento carbono y calcio presentan mínimas diferencias en su porcentaje de concentración, esto debido al elevado peso atómico del último mencionado con respecto al carbono y oxígeno. La desviación estándar se percibe bastante alta, incluso en los elementos de mayor representatividad. La naturaleza de los porcentajes elevados en la desviación estándar responde a valores de concentración dispersos en los 5 puntos de muestra, por lo que los resultados no serían concluyentes.

TABLA XVII

Concentración en peso de las muestras de biocarbón posterior al proceso de adsorción

Concentración en peso (%)							
Nombre del elemento	Región 1	Región 2	Región 3	Región 4	Región 5	Promedio	Desviación estándar
Carbono	6,60%	53,72%	55,76%	44,10%	8,20%	33,68%	24,39%
Oxígeno	3,40%	19,01%	19,12%	30,70%	27,10%	19,87%	10,51%
Aluminio	2,70%	-	-	0,30%	-	1,50%	1,70%
Calcio	87,30%	9,96%	5,51%	0,90%	54,80%	31,69%	37,86%
Nitrógeno	-	11,17%	9,31%	4,50%	-	8,33%	3,44%
Sodio	-	0,70%	2,40%	0,50%	-	0,70%	1,20%
Magnesio	-	1,21%	0,60%	0,30%	0,70%	0,91%	0,38%
Fósforo	-	3,52%	3,40%	-	7,80%	4,91%	2,51%
Cloro	-	-	1,00%	0,80%	0,60%	0,80%	0,20%
Potasio	-	-	2,90%	1,10%	-	2,00%	1,27%

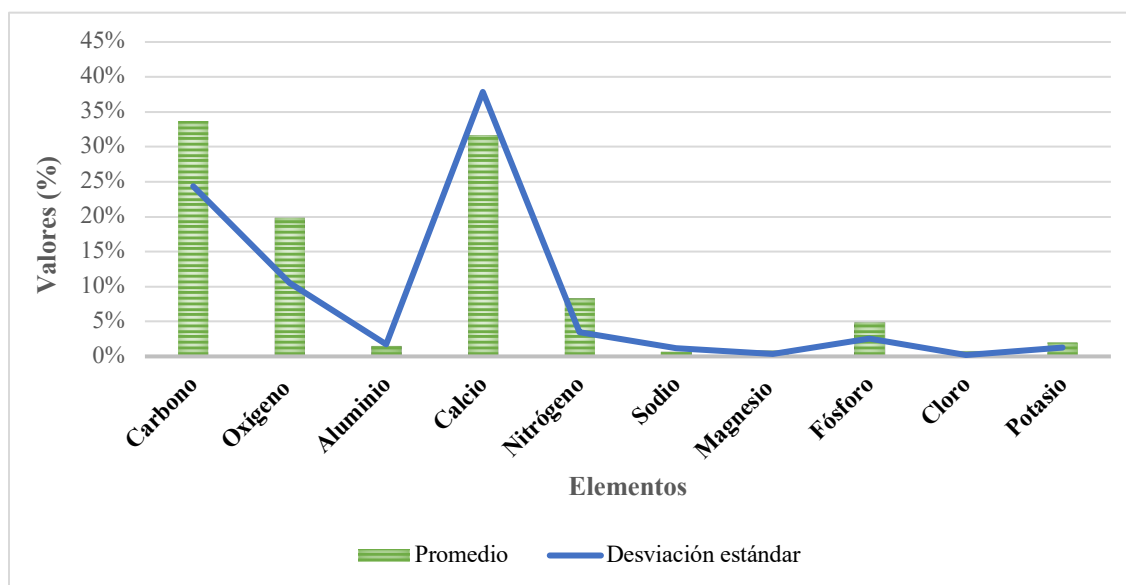


Fig. 20. Concentración en peso promedio de las muestras de biocarbón posterior al proceso de adsorción

## XI. DISCUSION

### A. *Contenido proteico presentes en los residuos de camarón*

Entre los dos sustratos, las cabezas de camarón demostraron mayor concentración de proteínas que los exoesqueletos. Los resultados obtenidos, concuerdan con lo expresado por diversos autores respecto a la composición de los residuos y aprovechamiento de los mismos en la industria. Por un lado, las cabezas, el principal componente que se descarta del camarón, están compuestas por elementos importantes como los carotenoides, quitina, proteína, hidrolizados de proteínas, quitosano y minerales [70]. Estos desechos son especialmente ricos en proteínas, constituyendo el 50-65% de su peso seco, y proporcionan aminoácidos esenciales cuando se utilizan como fuente de proteína en alimentos para animales acuáticos, así como en dietas para ganado y aves de corral [71]. Precisamente la presencia de aminoácidos y péptidos son los responsables que en todos los tratamientos existiera un incremento al menos de 0.19 g/L de proteína en comparación a la muestra de control; el reactivo de NT fue el que mayor cantidad de proteína evidenció, con un incremento de 0.33 g/L.

Por otro lado, la composición de los exoesqueletos incluye al carbonato de calcio, polisacáridos, proteína y otros compuestos como pigmentos y lípidos [72]. Los polisacáridos que se encuentran en los exoesqueletos del camarón son esencialmente quitina y quitosano que, con las cadenas dispuestas en un patrón repetitivo, le da al material su fuerza y rigidez, lo que permite que este residuo pueda ser empleado en el tratamiento de aguas como floculante, coagulante y para la remoción de pesticidas y metales pesados [73] [58]. Estas macromoléculas tienen un amplio nicho en la industria, empleándose como un agente eficaz contra varios patógenos en humanos, alimentos y agua [70]. Además, se reconocen con un material bioadsorbente de bajo costo utilizado para adsorber metales pesados y/o colorantes de aguas residuales industriales [74]. La quitina tiene una eficiencia de eliminación superior al 93% para metales pesados como Mn, Cu, Co, Zn, Ni, Cd y Pb, pero con poco potencial para la remoción de cationes metálicos ligeros como Na, K, Ca y Mg [75]. De esta forma, por motivo de la baja concentración de proteínas y el predominio de polisacáridos como la quitina, se seleccionó a los exoesqueletos como el sustrato idóneo para la elaboración del biocarbón.

### *B. Capacidad del biocarbón en la adsorción de As*

Para las pruebas de adsorción, se realizaron análisis de laboratorio ejecutados al agua residual con una concentración de As mayor a 12.5 mg/L. Los resultados apuntan hacia una relación inversamente proporcional entre la cantidad de biomasa seca y la concentración de arsénico. Los tratamientos realizados con una concentración de 4g de biomasa presentaron una menor concentración de arsénico en contraste con las muestras de 6g. [76] menciona que la capacidad de adsorción o porcentaje de eliminación mejora con el aumento de la dosis del adsorbente; una dosis más alta de adsorbente significa una mayor accesibilidad a los sitios de adsorción y área de superficie del biocarbón, pero una dosis baja significa una accesibilidad restringida a los iones competitivos de los sitios activos [68].

Otro factor importante que influye en la capacidad de adsorción es la temperatura a la que ocurre la pirólisis del biocarbón [56]. Cuando la biomasa se somete a pirólisis, las pérdidas de agua en el proceso de deshidratación y la liberación de componentes volátiles de la matriz de carbono contribuyen a la formación de la estructura de poros del biocarbón y al desarrollo de poros rudimentarios [77]. Sin embargo, cuando la combustión se produce a temperaturas inferiores a 400 °C los cambios en la superficie y el volumen total de los poros de la biomasa son ligeros, producto de la excesiva aglomeración de constituyentes volátiles que tienen la capacidad de obstruir y dificultar la formación de nuevos poros [77]. La combustión ejecutada a temperaturas mayores de 400°C conduce a la eliminación de los componentes volátiles, la formación de poros y de carbonos amorfos cristalinos [77]. Por ende, el tamaño de poro y las áreas superficiales específicas del biocarbón aumentan proporcionalmente con la temperatura de la pirólisis [68]. Para la obtención de biocarbón en el presente trabajo experimental se optó por una temperatura constante de 600°C. Sin embargo, [59] reporta que ejecutando la pirólisis a dicha temperatura, el área superficial del biocarbón era muy pequeña para ser utilizada como adsorbente de componentes inorgánicos. La biomasa sintetizada a una temperatura mayor de 500 °C exhibe una atracción más fuerte para los contaminantes orgánicos [78]. [79] menciona que el biocarbón producido a 600°C demuestra menor capacidad de adsorción para As (III) y As (V) debido a que la mayoría de los grupos funcionales no pudieron sobrevivir a altas temperaturas.

---

La porosidad y el área superficial del biocarbón son características que contribuyen al proceso de adsorción, pero se reconoce como factor decisivo a la capacidad de intercambio catiónico. [80] señala que la productividad del biocarbón es inversamente proporcional al grado de temperatura de la pirólisis; cuando la temperatura supera los 350°C, la capacidad de intercambio catiónico disminuye. El aumento de la temperatura de pirólisis conduce a un aumento del área superficial del biocarbón, mientras disminuye la cantidad de grupos funcionales que contienen oxígeno y por ende su capacidad de intercambio catiónico [68].

El pH es un parámetro que afecta la capacidad de adsorción del biocarbón para diferentes contaminantes [58]. Las muestras se catalogan mayormente como moderada y ligeramente ácido, con una sola muestra neutra detectada en el tercer tratamiento de la concentración de 6g. Los resultados de pH no presentan un patrón aparente en relación a los resultados de concentración de As en el agua residual. La literatura tampoco muestra indicios claros sobre la relación entre el aumento del pH con la adsorción. [68] menciona que cuando el pH de la solución acuosa aumenta, se produce una deprotonación de los grupos funcionales del biocarbón, aumentando la capacidad de adsorción para metales pesados. Cuando el pH disminuye, la capacidad del material para adsorber iones metálicos merma, producto del aumento de las fuerzas de repulsión electrostática entre los protones y los iones metálicos en la solución acuosa [68]. Por otra parte, [58] señala que con el aumento del pH en un rango comprendido entre 4-8 se comprobó la remoción de metales como el manganeso (Mn) y el bario (Ba), pero la incapacidad para vanadio, arsénico y cromo.

No existen registros sobre ensayos de adsorción de Arsénico (V) para biocarbones a base de residuos de camarón. [79] describe ensayos de adsorción para As (III) y As (V) en biocarbón de origen vegetal, específicamente de madera de pino, donde la máxima sorción de As (V) fue de 0.3 mg/g a pH 7. [81] detalla ensayos evaluando la adsorción de iones de metales pesados en aguas residuales utilizando extracto de desechos de camarón, donde se visualizó capacidades de adsorción máximas para los iones hierro (Fe<sup>+</sup>) y cromo (Cr<sup>+</sup>). El mismo autor menciona otros ensayos con comportamientos igual de favorables para plomo (Pb), cadmio (Cd), níquel (Ni) y Manganeso (Mn), pero no existen registros del uso de este sustrato para As. [82] detalla ensayos favorables en la adsorción de diferentes fármacos, destacando la incorporación de grupos funcionales de óxido de hierro y grupos tipo aminas derivados de la activación con magnetita y urea respectivamente. Tomando en consideración

---

que ninguna muestra se enmarcó dentro de los criterios de calidad para uso doméstico, agrícola y pecuario del agua, existe la posibilidad de mejorar la adsorción de As incorporando otros grupos funcionales al biofiltro o bien aumentar la concentración de biomasa seca.

### *C. Caracterización del biocarbón por Microscopia*

Para la caracterización de las muestras, se analizó la composición estructural del biocarbón antes y después del proceso de adsorción del agua residual con As. Para la muestra de biocarbón activado los elementos que tuvieron mayor presencia en su estructura fueron el carbono y el oxígeno. El comportamiento de las concentraciones en las muestras, de acuerdo a la desviación estándar, es bastante consistente con una variabilidad pequeña. Los porcentajes de concentración se encuentran muy cercanos a los proporcionados por [59] en un estudio donde caracterizó el caparazón de los camarones; el carbono obtuvo una concentración atómica de 53.4%, seguida por el oxígeno con un 44.17% y calcio con un 2.42%, mientras que otros elementos como Cl, Ca, Na, Cu, Mg, K, Ni, Si y P se describieron en un rango comprendido entre 0.09 y 1.21%. La presencia de elementos traza en el presente trabajo experimental estuvo fuera de ese rango para los elementos Al y P.

La estructura del biocarbón con predominancia del elemento carbono condiciona su capacidad adsorbente. [78] señala que elementos como el carbono, hidrógeno, oxígeno, nitrógeno y azufre se identifican en la estructura del biocarbón no activado producto de la carbonización de la quitina, así como una porción de minerales y ceniza. Luego de activar el biocarbón, los contenidos de nitrógeno y azufre se eliminan significativamente y el carbonato de calcio se descompone en iones de calcio [81]. Las modificaciones ácido-base dan como resultado la formación de grupos funcionales, alterando su capacidad de adsorción [80]. La presencia de grupos funcionales de superficie juega un papel más importante que la porosidad en la eficiencia de la eliminación de metales [80]. Sin embargo, cuando el biocarbón exhibe una estructura altamente aromática, es decir alta cantidad de carbono y bajas cantidades de oxígeno, se describen como poco adecuados para eliminar contaminantes inorgánicos como los metales [83]. Por el contrario, el biocarbón que presenta una estructura basada en grupos funcionales de oxígeno proporciona abundantes sitios activos para la adsorción y eliminación de contaminantes [80].

La composición del biocarbón posterior al proceso de filtrado conserva como elementos principales al carbono y oxígeno, pero también indica la presencia del elemento calcio al esqueleto del biocarbón. Sin embargo, los resultados de la desviación estándar señalan que su comportamiento es inestable por diferencias de concentración importantes entre muestras, así como la de otros elementos como Al, K, P, Mg y Na. Estas concentraciones no concluyentes pueden deberse a la competencia entre cationes por los sitios de adsorción superficiales cargados negativamente del biocarbón [80]. Por ende, la estructura de este biocarbón no puede presentarse tan homogénea como en la muestra de biocarbón previo al proceso de filtración.

---

## XII. CONCLUSIONES

- La caracterización de la biomasa se realizó mediante la extracción y cálculo de proteínas, polímeros constituidos por aminoácidos y péptidos. Para este procedimiento se optó por tres tratamientos, utilizando reactivos de NT, NaCl y KCl más un Testigo como referencia, siendo el reactivo de NT el que se obtuvo mejores resultados. Las pruebas fueron concluyentes al posicionar a las cabezas de camarón como el residuo con mayor concentración de proteína, por lo que fue descartado para la obtención del biocarbón. El componente de interés, que le brinda la capacidad adsorbente al biocarbón, es el polisacárido quitina y sus derivados [58]. Si bien estos polisacáridos estructuralmente se encuentran enlazados con las proteínas, se optó por el residuo en donde la desproteinización fuera eficiente.
- La capacidad de adsorción de arsénico se evaluó mediante análisis de laboratorio. Las muestras se separaron en dos concentraciones de biomasa, el primero de 4g y el segundo de 6g y se subdividieron en tratamientos planteados durante cuatro horas de filtrado. Si bien todos los tratamientos presentaron concentraciones muchísimo menores a la muestra de control (Testigo), los resultados arrojaron que ningún tratamiento cumplía con los límites citados para el consumo humano, uso agrícola o pecuario. La adsorción máxima se evidenció en los tratamientos con la dosis más alta de adsorbente, es decir con una concentración de biomasa de 6g. La cantidad de adsorbente y la temperatura de pirólisis se identificaron como factores críticos que estarían afectando la adsorción de arsénico.
- La composición estructural del biocarbón consistió en un esqueleto carbonoso con presencia de oxígeno y otros elementos traza. La desviación estándar para los dichos elementos es baja con respecto al promedio, lo que es indicativo de la consistencia entre las muestras tanto en la concentración atómica como en peso. Esta estructura aromática, que limita la presencia de grupos funcionales carboxilo e hidroxilo, es poco adecuada para eliminar iones metálicos [83]. Por otro lado, el biocarbón activado posterior al proceso de filtrado mantiene su estructura aromática, pero presenta una composición heterogénea con una elevada concentración de calcio en dos muestras. La concentración de Ca y otros elementos traza se cataloga como no concluyente por el porcentaje superior al promedio de la desviación estándar



---

### XIII. RECOMENDACIONES

- Se recomienda realizar ensayos que permitan optimizar la temperatura de la pirólisis del biocarbón, encontrando el punto de inflexión donde no se vean afectados los grupos funcionales de la superficie, ni su porosidad y sitios activos.
- Complementar el presente trabajo experimental con un análisis de Espectroscopía Infrarroja por Transformada de Fourier (FTIR) para identificar los grupos funcionales que se forman en la superficie del biocarbón y que son indispensables para el proceso de adsorción.
- Es necesario realizar ensayos para encontrar el punto de inflexión en la dosis del biocarbón para el filtrado y el tiempo máximo necesario para que las concentraciones de arsénico se encuentren dentro de lo que dicta la norma para los usos de agua citados.
- Realizar ensayos testeando otras formas de pirólisis. Por ejemplo, el biocarbón producido por carbonización hidrotermal (HTC) puede producir un mayor número de grupos funcionales que contienen oxígeno [68], solucionando el problema con el intercambio catiónico que presenta el biocarbón obtenido mediante pirólisis.
- Se recomienda repetir todo el procedimiento descrito, funcionalizando el biocarbón con óxidos de hierro o magnesio [77]. Este proceso de funcionalización mejora las propiedades del biocarbón al aumentar su área de superficie específica, introducir más grupos funcionales ricos en oxígeno y generar una superficie más rugosa, lo que podría incrementar significativamente su capacidad de adsorción [80].

#### XIV. REFERENCIAS

- [1] J. Salas Salvadó, F. Maraver, L. Rodríguez Mañas, M. Sáenz de Pipaon, I. Victoria y L. A. Moreno, «Importancia del consumo de agua en la salud y la prevención de la enfermedad: situación actual,» *Nutrición Hospitalaria*, vol. 37, n° 5, pp. 1072-1086, 2021, doi: 10.20960/nh.03160.
- [2] L. M. Cerón, J. D. Sarria, J. S. Torres y J. Soto Paz, «Agua subterránea: tendencias y desarrollo científico,» *Información tecnológica*, vol. 32, n° 1, pp. 47-56, 2021, doi: 10.4067/S0718-07642021000100047.
- [3] J. Berrocal, Adsorción de iones de plomo empleando quitosano, UNIVERSIDAD NACIONAL TECNOLÓGICA DE LIMA SUR, 2019. [En línea]. Disponible en: <https://repositorio.untels.edu.pe/jspui/handle/123456789/128>
- [4] V. Montero Campos, J. Quesada Kimsey, A. Ledezma Espinoza y J. Sandoval Mora, «Determinación de arsénico en abastecimientos de agua para consumo humano de la provincia de Cartago, Costa Rica,» *Acta Médica Costarricense*, vol. 52, n° 2, pp. 96-101, 2010. [En línea]. Disponible en: [https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0001-60022010000200007](https://www.scielo.sa.cr/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0001-60022010000200007)
- [5] L. A. Aguirre Valdiviezo, Propuesta de adsorción de plomo con quitina y quitosano del exoesqueleto del camarón por descargar de agua contaminada de industria minera, Universidad Agraria del Ecuador, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://cia.uagraria.edu.ec/Archivos/AGUIRRE%20VALDIVIEZO%20LEONARDO%20ANDRE>
- [6] E. Fernández, «Presencia del arsénico en aguas y suelo,» 13 Mayo 2021. [En línea]. Available: <https://tecnosolucionescr.net/blog>. [En línea]. Disponible en: <https://tecnosolucionescr.net/blog>
- [7] F. C. Carolin, T. Kamalesh, P. S. Kumar y G. Rangasamy, «A Critical Review on the Sustainable Approaches for the Removal of Toxic Heavy Metals from Water Systems,» *Industrial & Engineering Chemistry Research*, vol. 62, n° 22, pp. 8575-8601, 2023, doi: 10.1021/acs.iecr.3c00709.
- [8] M. P. Drupitha, M. Misra y A. K. Mohanty, «Recent advances on value-added biocarbon preparation by the pyrolysis of renewable and waste biomass, their structure and properties: a move toward an ecofriendly alternative to carbon black,» *Environmental Science: Advances*, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2023/va/d3va00107e>
- [9] M. Jiechen, H. Wei, Z. Xuesheng, L. Yucheng y W. Ning, «The utilization of lobster shell to prepare low-cost biochar for high-efficient removal of copper and cadmium from aqueous: Sorption properties and mechanisms,» *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 9, n° 1, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S2213343720310526?via%3Dihub>

- 
- [10 T. Feng, T. Yi, Q. Wang y P. Li, «Shrimp shells-derived biochar for efficient adsorption of Pb<sup>2+</sup> in aqueous solutions,» *Desalination and Water Treatment*, vol. 233, p. 106–117, 2021, doi: 10.5004/dwt.2021.27558.
- [11 «Informe-Arsenico-en-agua-RSA.pdf». Accedido: 11 de febrero de 2025. [En línea]. Disponible en: <https://rsa.conicet.gov.ar/wp-content/uploads/2018/08/Informe-Arsenico-en-agua-RSA.pdf>
- [12 ATSDR, «La toxicidad del arsénico,» *ATSDR*, pp. 2-110, 2009. [En línea]. Disponible en: [https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic\\_csem\\_spanish.pdf](https://www.atsdr.cdc.gov/es/csem/arsenic/docs/arsenic_csem_spanish.pdf)
- [13 S. Castillo Herrera, S. Berrezueta Unda y J. Arvito Quituisaca, «Evaluación de la calidad del aguas subterráneas de la Parroquia la Peaña, Provincia del Oro, Ecuador,» *Ciencia Unemi*, vol. 12, n° 31, p. 64–73, 2019, doi: 10.29076/issn.2528-7737vol12iss31.2019pp64-73p.
- [14 P. Jiménez Jiménez, Diagnóstico de la presencia y contaminación por arsénico en el suelo y agua de consumo en la parroquia Papallacta, Quito: Escuela Politécnica Nacional, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/19760/1/CD-9167.pdf>
- [15 A. Aveiga, P. Noles, F. Macias y E. Herrera, «Distribución de arsénico en agua superficial y sedimento en la cuenca del río carrizal, manabí - ecuador.,» *Revista de la Sociedad Química del Perú*, vol. 3, n° 86, pp. 260-275, 2020, doi: 10.37761/rsqp.v86i3.299.
- [16 C. Curbelo Hernández, A. Núñez Sánchez, E. Véliz Lorenzo y S. Fanego Hernández, «Despigmentación de residuos de camarón con ozono,» *Centro Azúcar*, vol. 45, n° 4, pp. 51-63, 2018. [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612018000400006](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612018000400006)
- [17 D. Suarez, Evaluación de exoesqueletos de camarones y sus carbonizados como descontaminantes para reducir su impacto ambiental, Medellín-Colombia: Universidad de Antioquia Facultad de Ciencias Farmacéuticas y Alimentarias Departamento de Farmacia, 2019. [En línea]. Disponible en: [https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/11275/1/SuarezDavid\\_2019\\_exoesqueletoC](https://bibliotecadigital.udea.edu.co/bitstream/10495/11275/1/SuarezDavid_2019_exoesqueletoC)
- [18 C. Curbelo Hernández y Y. Palacio Dubois, «Tratamiento químico de residuos de camarón para la obtención de quitina,» *Centro Azúcar*, vol. 48, n° 2, pp. 103-116, 2021. [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S2223-48612021000200103](http://scielo.sld.cu/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S2223-48612021000200103)
- [19 C. A. L. Giraldo, K. B. Enriquez y J. Camargo, «Elaboración de un bioadsorbente modificado a partir de los desechos de camarón para la descontaminación de aguas residuales,» *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, vol. 52, n° 2, 2023. [En línea]. Disponible en: [https://file:///C:/Users/HP/Downloads/Art+19+-Articulo+Revista+UN-revAR%20\(1\).pdf](https://file:///C:/Users/HP/Downloads/Art+19+-Articulo+Revista+UN-revAR%20(1).pdf)
- [20 K. L. Chamba Moreno y S. V. Guallasamin Calispa, Estudio de la disponibilidad y calidad del agua de consumo humano a través del monitoreo de caudales y

- análisis de los parámetros físicos, químicos y microbiológicos en la zona Pesillo - Imbabura, Quito, 2015. [En línea]. Disponible en:  
<https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/10082/6/UPS-ST001591.pdf>
- [21] M. Araque Arellano, «Diseño hidráulico de plantas de tratamiento de agua potable,» *El agua en la naturaleza*, pp. 15-24, 2022. [En línea]. Disponible en:  
<http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/22350>
- [22] O. Márquez Fernández y M. Ortega Márquez, «Percepción Social Del Servicio de Agua Potable En El Municipio de Xalapa, Veracruz,» *Revista mexicana de opinión pública*, n° 23, pp. 41-59, 2017,  
doi:10.22201/fcpys.24484911e.2017.23.58515.
- [23] S. Belmonte, E. d. I. M. López y M. d. I. Á. García, «Identificación de áreas prioritarias para la gestión del agua en el Chaco salteño, Argentina,» *Agua y Territ. / Water Landsc*, n° 17, p. 7–32, 2021, doi: 10.17561/at.17.4868.
- [24] A. Angulo-Chávez, «La auditoría ambiental y el servicio de agua potable en la ciudad de Huánuco,» *Investigación Valdizana*, vol. 15, n° 4, p. 257–264, 2021, doi: 10.33554/riv.15.4.1108.
- [25] J. Echeverría Molina y S. Anaya Morales, «El derecho humano al agua potable en Colombia: Decisiones del Estado y de los particulares,» *Vniversitas*, vol. 67, n° 136, p. 1–14, 2018, doi: 10.11144/Javeriana.vj136.dhap.
- [26] A. Álvarez, M. D'Elía, M. Paris, G. Fasciolo y C. Barbazza, «Evaluación de la contaminación de acuíferos producida por actividades de saneamiento y re-uso de efluentes en el norte de la provincia de Mendoza,» *Revista de la Facultad de Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Cuyo*, vol. 43, n° 1, p. 19–39, 2011. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=382837648002>
- [27] B. S. I. Albornoz Euán y R. A. González Herrera, «Vulnerabilidad a la contaminación del acuífero yucateco bajo escenarios de cambio climático,» *Ecosistemas Y Recursos Agropecuarios*, vol. 4, n° 11, pp. 275-286, 2017,  
doi:10.19136/era.a4n11.1037.
- [28] D. Morales Cabrera, E. Avendaño Cáceres, D. Zevallos Ramos, J. Fernández Prado y Z. Mendoza Rodas, «Riesgo ambiental por arsénico y boro en las cuencas hidrográficas Sama y Locumba de Perú,» *Scielo*, vol. 22, n° 4, p. 406–414, 2018. [En línea]. Disponible en: [http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1029-30192018000400010&script=sci\\_arttext](http://scielo.sld.cu/scielo.php?pid=S1029-30192018000400010&script=sci_arttext)
- [29] M. Medina Pizzali, P. Robles, M. Mendoza y C. Torres, «Ingesta de arsénico: el impacto en la alimentación y la salud humana,» *Revista Peruana de Medicina Experimental y Salud Pública*, vol. 35, n° 1, pp. 93-102, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://rpmesp.ins.gob.pe/index.php/rpmesp/article/view/3604>
- [30] J. Alcocer, E. Cordova y A. Hernandez, «Arsénico en agua y su impacto en la salud mexicana,» *EPISTEMUS*, vol. 37, n° 18, pp. 3-20, 2024,  
doi:10.36790/epistemus.v18i37.374.
- [31] F. Rodrigues, V. Rezende, R. Guimarães, P. Moser y M. Santos, «Arsénico en aguas naturales de países latinoamericanos: Ocurrencia, evaluación de riesgos, métodos de bajo costo y tecnologías para la remediación,» *Elsevier*, vol. 184, pp. 116-128, 2024, doi: 10.1016/j.psep.2023.11.075.

- [32 E. Rangel, L. Montañez, M. Luévanoz y N. Balagurusamy, «Impacto del arsénico en el ambiente y su transformación por microorganismos,» *TERRA LATINOAMERICANA*, vol. 33, n° 2, pp. 103-118, 2015. [En línea]. Disponible en: [https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0187-57792015000200103](https://www.scielo.org.mx/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0187-57792015000200103)
- [33 S. Moreno Riascos y T. Ghneim Herrera, «Impacto del uso de biocarbón sobre la producción agrícola y el cambio climático. Una revisión,» *Agronomía Colombiana*, vol. 38, n° 3, pp. 367-381, 18 Mayo 2020, doi:10.15446/agron.colomb.v38n3.87398,
- [34 C. Tejada Tovar, A. Villabona Ortiz y L. Garcés Jaraba, «Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico,» *TecnoLógicas*, vol. 18, n° 34, pp. 109-123, 2015. [En línea]. Disponible en: [http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0123-77992015000100010](http://www.scielo.org.co/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0123-77992015000100010)
- [35 D. Présiga Lopéz, A. Rubio Clemente y J. F. Perez, «Uso del biocarbón como material alternativo para el tratamiento de aguas residuales contaminadas,» *UIS Ingenierías*, vol. 20, n° 1, pp. 121-134, 2021, doi: 10.18273/revuin.v20n1-2021011.
- [36 T. Ortega Ramírez y M. Olaya Pulido, «Aplicación de biocarbón como estrategia de remediación de suelos contaminados por hidrocarburos,» *Gestion y Ambiente*, vol. 26, n° 1, pp. 2-17, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://revistas.unal.edu.co/index.php/gestion/article/view/103418>
- [37 R. Kumar, A. Mudhoo, G. Lofrano y M. Chandra, «Biomass-derived biosorbents for metal ions sequestration: Adsorbent modification and activation methods and adsorbent regeneration,» *Journal of Environmental Chemical Engineering*, vol. 2, n° 1, pp. 239-259, 2014, doi: 10.1016/j.jece.2013.12.019.
- [38 N. Burciaga, J. Claudio, L. Cano, A. Martinez y P. Vega, «Compósitos en estado hidrogel con aplicación en la adsorción de metales pesados presentes en aguas residuales,» *TIP. Revista especializada en ciencias químico-biológicas*, vol. 23, pp. 1-13, 2020, doi: 10.22201/fesz.23958723e.2020.0.211.
- [39 J. Clavijo, «Caracterización de materiales a través de medidas de microscopía electrónica de barrido (SEM),» *Elementos*, n° 3, pp. 134-146, 2013, doi: 10.15765/e.v3i3.420.
- [40 R. García, «Instrumentos que revolucionaron la química: la historia del espectrofotómetro,» *Avances en química*, vol. 13, n° 3, pp. 79-82, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/933/93368279004/html/>
- [41 A. Gómez Jasso, E. López Beltrán, L. A. Briseño López y K. Girón Arias, Extracción de quitina y quitosano del exoesqueleto del camarón, Laboratorio de Jóvenes hacia la Investigación: Centro Universitario México A.C, 2018. [En línea]. Disponible en: <https://vinculacion.dgire.unam.mx/vinculacion-1/Memoria-Congreso-2018/trabajos/ciencias-biologicas-quimicas-y-de-la-salud/biologia/doc13.pdf>
- [42 L. A. Cabanilla, E. P. Gutierrez y J. Basilio, «Desechos de camarón: un coctel de oportunidades para la industria,» *Revista ciencia*, vol. 71, n° 4, 2020. [En línea].

Disponible en: <https://www.studocu.com/es-mx/document/universidad-insurgentes-sc/bases-biologicas-de-la-conducta/articulo-desechos-de-camaron/56544243>

- [43] G. Na, J. Sol, G. Nao y X. Changhuo, «Aprovechamiento integral de desechos de camarón basado en métodos biotecnológicos: una revisión,» *Producción más Limpia*, vol. 143, n° 1, pp. 814-823, 2017, doi: 10.1016/j.jclepro.2016.12.042.
- [44] S. Entsar, S. Khaled y Z. Maher, «Extraction and characterization of chitin and chitosan from local sources,» *Bioresource Technology*, vol. 99, n° 5, pp. 1359-1367, 2008, doi: 10.1016/j.biortech.2007.01.051.
- [45] J. Gomez Estaca, M. Calvo, I. Alvarez Acero, P. Montero y M. Gómez Guillén, «Characterization and storage stability of astaxanthin esters, fatty acid profile and  $\alpha$ -tocopherol of lipid extract from shrimp (*L. vannamei*) waste with potential applications as food ingredient,» *Food Chemistry*, vol. 216, pp. 37-44, 2017, doi: 10.1016/j.foodchem.2016.08.016.
- [46] I. Valdez y J. Carrillo, «Generación de productos de valor agregado a partir de residuos orgánicos,» *GACETA DEL IIUNAM*, n° 124, pp. 11-14, 2017. [En línea]. Disponible en: <https://www.iingen.unam.mx/es-mx/Investigacion/Proyecto/Paginas/valoragregadoapartirderesiduosorganicos.aspx>
- [47] J. Ochoa, A. Vidal, A. Lerma, L. Gómez, A. Reta, D. Fernandez, A. Vidal, L. Trevizo, D. Gonzales, M. Ornela, F. Fernandez, A. Hernandez, C. Rosal, J. Chavira y R. Orozco, «Arsenicismo subagudo y crónico en una población rural,» *Dermatol Rev Mex*, vol. 53, n° 2, pp. 63-69, 2009. [En línea]. Disponible en: <https://biblat.unam.mx/es/revista/dermatologia-mexico-d-f/articulo/arsenicismo-subagudo-y-cronico-en-una-poblacion-rural>
- [48] UNESCO, «Bangladesh envenenado: en busca de los culpables,» *UNESDOC*, vol. 92, n° 3, pp. 11-13, 2001. [En línea]. Disponible en: [https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000121516\\_spa](https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000121516_spa)
- [49] A. Mukherjee, M. Sengupta, M. Hossain, S. Ahamed, B. Das, B. Nayak, D. Lodh, M. Rahman y D. Chakraborti, «Arsenic contamination in groundwater: A global perspective with emphasis on the Asian scenario.,» *Health Popul. Nutr.*, vol. 24, pp. 142-163, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/17195556/>
- [50] U. Chowdhury, B. Biswas, T. Chowdhury, G. Samanta, B. Mandal, G. Basu, C. Chanda, D. Lodh, K. Saha y S. Mukherjee, «Groundwater arsenic contamination in Bangladesh and West Bengal, India.,» *Environ. health perspect.*, vol. 108, p. 393-397, 2000. [En línea]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC1638054/#:~:text=Nine%20in%20West%20Bengal,limit%2>
- [51] A. Milton, S. Hore, M. Hossain y M. Rahman, «Bangladesh arsenic mitigation programs: Lessons from the past.,» *Emerg. Health Threats J.*, vol. 5i0, 2012, doi: 10.3402/ehth.v5i0.7269.
- [52] B. K. Caldwell, W. T. Smith, K. Lokuge, G. Ranmuthugala, K. Dear, A. Milton, M. Sim, J. Ng y S. Mitra, «Access to drinking-water and arsenicosis in Bangladesh,»

- J. Health Popul. Nutr.*, vol. 24, pp. 336-345, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3013254/>
- [53 M. Rahman y S. Quayyum, «An overview of arsenic scenario and mitigation initiatives in Bangladesh,» *Science Council of Asia*, 2007. [En línea]. Disponible en: <https://www.researchgate.net/publication/279851308>
- [54 S. Joya, G. Mostofa, J. Yousuf, A. Islam, A. Elahi, G. Mahiuddin, M. Rahman, Q. Quamruzzaman y R. Wilson, «One solution to the arsenic problem: A return to surface (improved dug) wells,» *Health Popul. Nutr.*, vol. 24, pp. 363-375, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC3013257/#:~:text=CONCLUSION,about%20%24>
- [55 J. Lee, A. Sarmah y E. Kwon, «Production and Formation of Biochar,» de *Biochar from Biomass and Waste*, 2019, pp. 3-18, doi: 10.1016/B978-0-12-811729-3.00001-7.
- [56 V. Rajput, I. Saini, S. Parmar, V. Kumar, P. Vedansh, V. Kumar, B. Naik y S. Rustagi, «Biochar production methods and their transformative potential for environmental remediation,» *Discover Applied Sciences*, vol. 6, n° 8, pp. 1-15, 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.researchgate.net/publication/382653273\\_Biochar](https://www.researchgate.net/publication/382653273_Biochar)
- [57 W. Wang, J. Huang, T. Wu, X. Ren y X. Zhao, «Research on the Preparation of Biochar from Waste and Its Application in Environmental Remediation,» *Water*, vol. 15, n° 19, pp. 1-27, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2073-4441/15/19/3387>
- [58 A. Wani, A. Nahid, T. Gani, F. Rahayu, C. Suhara, A. Anjli, C. Chopra, R. Singh, A. Prakash, N. El Messaoudi, C. Dourado, L. Romanholo, R. Rather y J. Américo Pinheiro, «Eco-friendly and safe alternatives for the valorization of shrimp farming waste,» *Environmental Science and Pollution Research*, vol. 31, p. 38960–38989, 2023. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s11356-023-27819-z>
- [59 T. Dung, Y. Liu y M. Thang, «Synthesis and Characterization of Biochars and Activated Carbons Derived from Various Biomasses,» *Sustainability*, vol. 16, n° 13, pp. 1-20, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/13/5495>
- [60 X. Wei, S. Huang, Y. Wu y S. Wu, «Effects of washing pretreatment on properties and pyrolysis biochars of penicillin mycelial residues,» *Biomass and Bioenergy*, vol. 161, 2022, doi: 10.1016/j.biombioe.2022.106477.
- [61 D. Dragojlović, L. Popović, J. Cakarevic, N. Spasevski, S. Rakita, D. Čolović y O. Djuragic, «Determination of protein oxidation in aquaculture feed,» *Food and Feed Research*, vol. 48, n° 2, pp. 175-184, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://scindeks-clanci.ceon.rs/data/pdf/2217-5369/2021/2217-53692102175D.pdf>
- [62 J. Kjeldahl, «A new method for the determination of nitrogen in organic compounds,» *Zeitschrift für Analytische Chemie*, vol. 1, n° 22, p. 366–382, 1883, doi: 10.12691/jfnr-10-5-2.

- [63 N. L. Panwar y V. Kavan Kumar, «Pyrolysis technologies for biochar production in waste management: a review,» *Clean Energy*, vol. 8, n° 4, pp. 61-78, 2024, doi: 10.1093/ce/zkae036.
- [64 R. Ahuja, A. Kalia, R. Sikka y P. Chaitra, «Nano Modifications of Biochar to Enhance Heavy Metal Adsorption from Wastewaters: A Review,» *ACS OMEGA*, vol. 7, n° 50, pp. 45825-45836, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://pubs.acs.org/doi/10.1021/acsomega.2c05117>
- [65 X. Ma, B. Zhou, A. Budai, A. Jeng, X. Hao, D. Wei, Y. Zhang y D. Rasse, «Study of Biochar Properties by Scanning Electron Microscope – Energy Dispersive X-Ray Spectroscopy (SEM-EDX),» *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, vol. 47, n° 5, p. 593–601, 2016. [En línea]. Disponible en: <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00103624.2016.1146742>
- [66 O. Quesada, M. Cantos, W. Duharte, D. Cascaret y J. Rodríguez, «Biocarbonos ecuatorianos con potencialidades energéticas,» *Revista Cubana de Química*, pp. 285-302, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/journal/4435/443571996002/>
- [67 I. Fotodimas, Z. Ioannou y G. Kanlis, «A Review of the Benefits of the Sustainable Utilization of Shrimp Waste to Produce Novel Foods and the Impact on Human Health,» *Sustainability*, vol. 16, pp. 1-23, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/16/6909>
- [68 T. G. Ambaye, M. Vaccari, E. D. van Hullebusch, A. Amrane y S. Rtimi, «Mechanisms and adsorption capacities of biochar for the removal of organic and inorganic pollutants from industrial wastewater,» *International Journal of Environmental Science and Technology*, vol. 18, pp. 3273-3294, 2021. [En línea]. Disponible en: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13762-020-03060-w>
- [69 Z. Tshabalala y D. Motaung , «Espectroscopia de rayos X por dispersión de energía,» 2020. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/topics/materials-science/energy-dispersive-x-ray-spectroscopy>
- [70 Abuzar, H. Rizwan, K. Mian, A. Rizwan, R. Abdur, A. Waqas, K. Aiman, A. Kanza, R. Husnain, K. Waseem, A. Turkey y A. Mayada, «Potential industrial and nutritional applications of shrimp by-products: a review,» *International Journal of Food Properties*, vol. 26, n° 2, pp. 3407-3432, 2023, doi:10.1080/10942912.2023.2283378.
- [71 T. Cahú, S. Santos, A. Mendes, C. Córdula, S. Chavante, L. Carvalho, H. Nader y R. Bezerra, «Recovery of protein, chitin, carotenoids and glycosaminoglycans from Pacific white shrimp (*Litopenaeus vannamei*) processing waste,» *Process Biochemistry*, vol. 47, n° 4, pp. 570-577, 2011, doi:10.1016/j.procbio.2011.12.012.
- [72 N. Rossi, C. Grosso y C. Delerue Matos, «Shrimp Waste Upcycling: Unveiling the Potential of Polysaccharides, Proteins, Carotenoids, and Fatty Acids with Emphasis on Extraction Techniques and Bioactive Properties,» *Marine drugs*, pp. 1-39, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/1660-3397/22/4/153>



- [73 C. Lárez, «Quitina y quitosano: materiales del pasado para el presente y el futuro,» *Avances en Química*, vol. 1, n° 2, pp. 15-21, 2006. [En línea]. Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=93310204>
- [74 I. Fotodimas, Z. Ioannou, G. Kanlis, D. Sarris y C. Athanasekou, «Sustainable Management of Shrimp Waste to Produce High-Added Value Carbonaceous Adsorbents,» *Sustainability*, pp. 1-28, 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.mdpi.com/2071-1050/16/23/10305>
- [75 K. Vijayaraghavan, R. Balasubramanian y U. M. Joshi, «Removal of Metal Ions from Storm-Water Runoff by Low-Cost Sorbents: Batch and Column Studies,» *Journal of Environmental Engineering*, vol. 136, n° 10, pp. 1113-1119, 2010. [En línea]. Disponible en: <https://ascelibrary.org/doi/10.1061/%28ASCE%29EE.1943-7870.0000238>
- [76 S. Tehreem, Y. Munazza, K. Alamer, I. Alsudays, S. Sarwar, A. Kamal y S. Naeem, «Analysis of the role of various biochar in the remediation of heavy metals in contaminated water and its kinetics study,» *Journal of Saudi Chemical Society*, vol. 26, n° 5, pp. 1-11, 2022. [En línea]. Disponible en: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1319610322001004?via%3Dihub>
- [77 L. Lijian, X. Qin, L. Yang, L. Hui, Y. Zhou, W. Zhang, S. Jiang, H. Li y H. Huang, «An overview on engineering the surface area and porosity of biochar,» *Science of the Total Environment*, pp. 1-18, 2021, doi: 10.1016/j.scitotenv.2020.144204.
- [78 F. Amalina, R. Abdul, S. Krishnan, H. Sulaiman, A. Zularisam y M. Nasrullah, «Biochar production techniques utilizing biomass waste-derived materials and environmental applications – A review,» *Journal of Hazardous Materials Advances*, vol. 7, pp. 1-12, 2022, doi: 10.1016/j.hazadv.2022.100134.
- [79 Z. Abbas, S. Ali, M. Rizwan, I. Zaheer, A. Malik, M. Riaz, M. Shahid, M. Rehman y M. Al-Wabel, «A critical review of mechanisms involved in the adsorption of organic and inorganic contaminants through biochar,» *Arabian Journal of Geosciences*, vol. 11, n° 448, pp. 1-23, 2018, doi: 10.1007/s12517-018-3790-1.
- [80 M. Bocsa, S. Pinteá, P. de Iidiko, O. Oprüş, A. Stegarescu, M. Humayun, M. Boudina, M. Soran y S. Bellucci, «Biochar-Based Adsorbents for Pesticides, Drugs, Phosphorus, and Heavy Metal Removal from Polluted Water,» *Separations*, vol. 10, n° 10, pp. 1-27, 2023, doi: 10.3390/separations10100533.
- [81 N. Kaewtrakulchai, N. Samattakarn, S. Chanpee, P. Assawasaengrat, K. Manatura, S. Wongrerkdee y A. Eiad-Ua, «Solid shrimp waste derived nanoporous carbon as an alternative bio-sorbent for oxytetracycline removal from aquaculture wastewater,» *Heliyon*, vol. 10, n° 11, pp. 1-16, 2024. [En línea]. Disponible en: [https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440\(24\)08458-](https://www.cell.com/heliyon/fulltext/S2405-8440(24)08458-)
- [82 C. Londoño, K. Barrera y J. Rojas, «Elaboración de un bioadsorbente modificado a partir de los desechos de camarón para la descontaminación de aguas residuales,» *Revista Colombiana de Ciencias Químicas Farmacéuticas*, vol. 52, n° 2, pp. 969-993, 2023, doi: 10.15446/reciquifa.v52n2.110751.
- [83 N. Esfandiari, R. Suri y E. McKenzie, «Competitive sorption of Cd, Cr, Cu, Ni, Pb and Zn from stormwater runoff by five low-cost sorbents; Effects of co-contaminants,

---

humic acid, salinity and pH,» *Journal of Hazardous Materials*, vol. 423, pp. 1-13, 2022, doi: 10.1016/j.jhazmat.2021.126938.

## ANEXOS


**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68884  
Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS No. 68884**

1.- DATOS GENERALES							
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA			TELEFONO:	096 957 3748		
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE			ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA		
<b>2.-INFORMACION DE LA MUESTRA</b>		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE		
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	MUESTRA O			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE		
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 11/12/2024		
NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO							
3.-RESULTADOS							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A041 / EPA 6020B	mg/L	>12,5	0,1	NO CUMPLE	9,2%
<b>AA (Acreditaciones):</b>				<b>NOTAS</b>			
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.			
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.			
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001			
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.							
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.							
<b>4.-OBSERVACIONES</b> Resultado referencial de Arsénico fuera de rango acreditado: 14,7 mg/L.				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13/12/2024			



ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.

Matriz: La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

Sucursal: Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68880  
Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS No. 68880**

1.- DATOS GENERALES							
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA			TELEFONO:	096 957 3748		
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE			ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA		
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE		
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	1ERA MUESTRA 4 GRAMOS BIOCARBON			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE		
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 09/12/2024		
3.- RESULTADOS							
NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A023/SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	0,6342	0,1	NO CUMPLE	3,6%
AA (Acreditaciones):				NOTAS			
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.			
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.			
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001			
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.							
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.							
4.- OBSERVACIONES				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13/12/2024			



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68881  
Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS No. 68881**

1.- DATOS GENERALES			
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA	TELEFONO:	096 957 3748
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE	ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA

2.- INFORMACION DE LA MUESTRA	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	2DA MUESTRA 4 GRAMOS BIOCARBON		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 09/12/2024

**NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO**

3.- RESULTADOS							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	0,5095	0,1	NO CUMPLE	3,6%

AA (Acreditaciones):		NOTAS
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.	2: Ensayos subcontratados acreditados.	*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.	4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.	**INCERTIDUMBRE (1%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.	ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.	Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001

El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.

Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.

4.- OBSERVACIONES	INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:	
	Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13/12/2024	



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68882  
Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS No. 68882**

1.- DATOS GENERALES							
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA			TELEFONO:	096 957 3748		
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE			ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA		
<b>2.-INFORMACION DE LA MUESTRA</b>	INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE			
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO		FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024			
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	3RA MUESTRA 4 GRAMOS BIOCARBON		RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE			
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024		PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 09/12/2024			
<b>NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO</b>							
3.-RESULTADOS							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	0,5570	0,1	NO CUMPLE	3,6%
AA (Acreditaciones):				NOTAS			
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.			
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (1%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.			
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001			
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.							
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.							
<b>4.-OBSERVACIONES</b>			<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13/12/2024				



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68883  
Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS No. 68883**

1.- DATOS GENERALES							
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA			TELEFONO:	096 957 3748		
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE			ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA		
<b>2.- INFORMACION DE LA MUESTRA</b>		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE		
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	4TA MUESTRA 4 GRAMOS BIOCARBON			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE		
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 09/12/2024		
<b>NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO</b>							
3.- RESULTADOS							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	0,4683	0,1	NO CUMPLE	3,6%
AA (Acreditaciones):				NOTAS			
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.			
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.			
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001			
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.							
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.							
<b>4.- OBSERVACIONES</b>				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13/12/2024			



## ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS ANAVANLAB CIA. LTDA.

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68876  
Página 1 de 1

### INFORME DE RESULTADOS No. 68876

1.- DATOS GENERALES							
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA			TELEFONO:	096 957 3748		
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE			ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA		
<b>2.- INFORMACION DE LA MUESTRA</b>		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE		
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	1RA MUESTRA 6 GRAMOS BIOCARBON			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE		
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 09/12/2024		
<b>NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO</b>							
3.- RESULTADOS							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	0,3719	0,1	NO CUMPLE	3,6%
AA (Acreditaciones):				NOTAS			
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.			
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (U%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.			
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001			
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.							
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.							
<b>4.- OBSERVACIONES</b>				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA.  Quito, 13/12/2024			





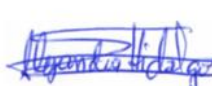
**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68877  
Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS No. 68877**

1.- DATOS GENERALES							
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA			TELEFONO:	096 957 3748		
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE			ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA		
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE		
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	2DA MUESTRA 6 GRAMOS BIOCARBON			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE		
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 09/12/2024		
3.- RESULTADOS							
NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	0,4233	0,1	NO CUMPLE	3,6%
AA (Acreditaciones):				NOTAS			
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.			
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (1%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.			
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001			
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.							
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.							
4.- OBSERVACIONES				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13/12/2024			



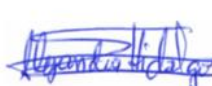
**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68878  
Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS No. 68878**

1.- DATOS GENERALES							
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA			TELEFONO:	096 957 3748		
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE			ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA		
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE		
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	3RA MUESTRA 6 GRAMOS BIOCARBON			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE		
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 09/12/2024		
3.- RESULTADOS							
NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	0,4399	0,1	NO CUMPLE	3,6%
AA (Acreditaciones):				NOTAS			
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.			
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (1%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.			
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001			
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.							
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.							
4.- OBSERVACIONES				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13/12/2024			



**ANALITICA AVANZADA - ASESORIA Y LABORATORIOS  
ANAVANLAB CIA. LTDA.**

**Matriz:** La Primavera I, Leonardo da Vinci S6-236 y Alberto Durero, Cumbaya.  
Contactos: 3550852 / 5143303 / servicioalcliente@aaalab.com.ec

**Sucursal:** Avenida 9 de Octubre y Miguel Gamboa esquina, El Coca

Orden No. 68876-68884  
Muestra AAALab No. 68879  
Página 1 de 1

**INFORME DE RESULTADOS No. 68879**

1.- DATOS GENERALES							
CLIENTE:	CORREA RAMOS KRISTHEL DANIELA			TELEFONO:	096 957 3748		
DIRECCION:	EL ORO / MACHALA / LA PROVIDENCIA / 25 DE JUNIO S/N URBANIZACIÓN CIUDAD VERDE			ATENCION A:	ING KRISTHEL DANIELA CORREA		
2.- INFORMACION DE LA MUESTRA		INTEGRIDAD DE LA MUESTRA:	CUMPLE	LUGAR DE TOMA DE MUESTRA:	NO DISPONIBLE		
TIPO DE MUESTRA:	AGUA CONSUMO			FECHA DE TOMA DE MUESTRA:	03/12/2024		
IDENTIFICACION DE LA MUESTRA:	4TA MUESTRA 6 GRAMOS BICARBON			RESPONSABLE DE TOMA DE MUESTRA:	CLIENTE		
FECHA DE RECEPCION MUESTRA:	04/12/2024			PERIODO DE REALIZACION DE ANALISIS:	04/12/2024 al 09/12/2024		
3.- RESULTADOS							
NORMA: AM097A, ANEXO 1, TABLA 1. CRITERIOS CALIDAD FUENTES DE AGUA PARA CONSUMO HUMANO Y DOMESTICO							
AA	PARAMETRO	METODO ANALITICO	UNIDADES	RESULTADO	VALORES NORMA	CUMPLIMIENTO*	+/- % U**
1	Arsénico	AAA-PE-A023/ SM 3114 C, 3112 B. EPA 3015	mg/L	0,3985	0,1	NO CUMPLE	3,6%
AA (Acreditaciones):				NOTAS			
1: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Matriz Quito.		2: Ensayos subcontratados acreditados.		*Interpretaciones fuera del alcance de acreditación SAE.			
3: Ensayos dentro del alcance de acreditación N° SAE LEN 13-006 realizados en Sucursal Coca.		4: Ensayos subcontratados no acreditados. Ver observaciones.		**INCERTIDUMBRE (1%): Los valores se han estimado con k=2, nivel de confianza 95,45%.			
(*) Los ensayos marcados con (*) no están incluidos en el Alcance de Acreditación SAE.		ANAVANLAB asume la responsabilidad por los análisis subcontratados.		Procedimiento de Toma de muestra utilizado por ANAVANLAB: AAA-PI-A003 / AAA-PI-S001			
El presente informe solo afecta a la muestra analizada. Si el cliente suministró la muestra, su información y sus resultados aplican a la muestra como se recibió.							
Este informe es de propiedad del cliente y se considera de carácter privado y confidencial. Los datos suministrados por el cliente se detallan en el apartado de Datos Generales, y en el de identificación de la muestra cuando aplique.							
4.- OBSERVACIONES				<b>INFORME REVISADO Y AUTORIZADO POR:</b> Lcda. Alejandra Hidalgo Gerente Técnica ANAVANLAB CIA. LTDA. Quito, 13/12/2024		