

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**CAPACIDAD DE LA BORRA DE CAFÉ PARA REMOVER COBRE Y PLOMO DEL
LIXIVIADO GENERADO EN LA CELDA TRANSITORIA DE RUPA RUPA –
TINGO MARÍA - 2023**

Tesis

**Para optar el título de
INGENIERO AMBIENTAL**

Presentado por

FILENA AMELIA RUBIO ZARATE

TINGO MARÍA – PERÚ

2024



ACTA DE SUSTENTACION DE TESIS N° 040-2024-FRNR-UNAS

Los que suscriben, Miembros del Jurado de Tesis, reunidos con fecha 25 de Marzo de 2024, a horas 04:00 p.m. de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental de la Facultad de Recursos Naturales Renovables para calificar la tesis titulada:

**“CAPACIDAD DE LA BORRA DE CAFÉ PARA REMOVER COBRE Y
PLOMO DEL LIXIVIADO GENERADO EN LA CELDA TRANSITORIA DE
RUPA RUPA – TINGO MARÍA - 2023”**

Presentado por la Bachiller: **RUBIO ZARATE, Filena Amelia**, después de haber escuchado la sustentación y las respuestas a las interrogantes formuladas por el Jurado, se declara **APROBADO** con el calificativo de “ **MUY BUENA**”.

En consecuencia, el sustentante queda apto para optar el Título Profesional de **INGENIERO AMBIENTAL** que será aprobado por el Consejo de Facultad, Tramitándolo al Consejo Universitario para el otorgamiento del Título Correspondiente.

Tingo María, 27 de marzo de 2024


Dr. VICTOR MANUEL BETETA ALVARADO
PRESIDENTE


Ing. M. Sc. ABBY S. DA CRUZ RODRIGUEZ
MIEMBRO


Mchlg. MSc. LUIS A. SANCHEZ ROMERO
MIEMBRO


Ing. MSc. FRANKLIN DIONISIO MONTALVO
ASESOR





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
DIRECCIÓN DE GESTIÓN DE INVESTIGACIÓN - DGI
REPOSITORIO INSTITUCIONAL - UNAS
Correo: repositorio@unas.edu.pe



"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

CERTIFICADO DE SIMILITUD T.I. N° 142 - 2024 - CS-RIDUNAS

El Director de la Dirección de Gestión de Investigación de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, quien suscribe,

CERTIFICA QUE:

El Trabajo de Investigación; aprobó el proceso de revisión a través del software TURNITIN, evidenciándose en el informe de originalidad un índice de similitud no mayor del 25% (Art. 3° - Resolución N° 466-2019-CU-R-UNAS).

Programa de Estudio:

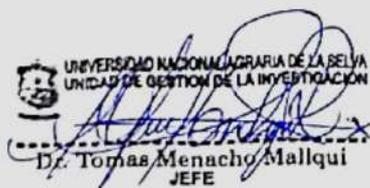
Ingeniería Ambiental

Tipo de documento:

Tesis	<input checked="" type="checkbox"/>	Trabajo de Suficiencia Profesional	<input type="checkbox"/>
-------	-------------------------------------	------------------------------------	--------------------------

TÍTULO	AUTOR	PORCENTAJE DE SIMILITUD
CAPACIDAD DE LA BORRA DE CAFÉ PARA REMOVER COBRE Y PLOMO DEL LIXIVIADO GENERADO EN LA CELDA TRANSITORIA DE RUPA RUPA – TINGO MARÍA - 2023	FILENA AMELIA RUBIO ZARATE	12 % Doce

Tingo María, 18 de abril de 2024


UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
UNIDAD DE GESTIÓN DE LA INVESTIGACIÓN
Dr. Tomas Menacho Mallqui
JEFE

C.C. Archivo

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL



**CAPACIDAD DE LA BORRA DE CAFÉ PARA REMOVER COBRE Y PLOMO DEL
LIXIVIADO GENERADO EN LA CELDA TRANSITORIA DE RUPA RUPA –
TINGO MARÍA - 2023**

Autor	:	Filena Amelia Rubio Zarate
Asesor	:	Mg. Franklin Dionisio Montalvo
Programa de investigación	:	Ciencia y tecnología ambiental
Línea de investigación	:	Tecnologías para reducir la contaminación
Eje temático	:	Reducción de metales pesados
Lugar de ejecución	:	Laboratorios UNAS
Duración	:	6 meses
Financiamiento	:	S/ 3 827.00
FEDU	:	No
Propio:	:	Si
Otros	:	No

TINGO MARÍA – PERÚ

2024

DEDICATORIA

A Dios, por iluminar mis pasos, por sus bendiciones, por darme fuerzas para superar los momentos dolorosos de la vida y por el cuidado permanente a mi familia.

A mis padres, Amelia Zarate Chamorro y Daniel Rubio Rodríguez, por instruirme valores y principios, por su crianza con amor, su constante apoyo, consejos, comprensión y ayuda incondicional, por ser mi soporte y motivación para alcanzar mis metas.

A mi hermano, Rodrigo Rubio Zarate, por su comprensión, cuidado y constante compañía; por desafiarme a reconocer mi valor y grandeza.

AGRADECIMIENTO

A la Universidad Nacional Agraria de la Selva por la formación profesional que me brindó mediante sus docentes, personal de laboratorio y administrativos.

A mi asesor de tesis, el Ing. M. Sc. Franklin Dionisio Montalvo por sus recomendaciones, consejos y apoyo brindado para el desarrollo de esta investigación.

Al Ing. Richar Sias, al Ing. Miguel Sánchez, al técnico Cesar Huaccha por su apoyo y las facilidades brindadas para la realización de los análisis.

A mis amigos Patrick Mora Calixto, José Girón Velásquez y Randy Ramos Álvarez por su apoyo durante la ejecución de mi investigación.

Al Dr. Cesar Lopez Lopez porque es admirable la persona que sigue el camino menos transitado y por su valiosa amistad.

Al Dr. Victor Beteta Alvarado por confiar en mi y la motivación transmitida.

Muchas gracias y que Dios los bendiga.

ÍNDICE

I.	INTRODUCCIÓN.....	1
1.1.	Objetivo general.....	2
1.2.	Objetivos específicos.....	2
II.	REVISIÓN DE LITERATURA.....	3
2.1.	Antecedentes.....	3
2.1.1.	Antecedentes internacionales.....	3
2.1.2.	Antecedentes nacionales.....	5
2.1.3.	Antecedentes locales.....	6
2.2.	Marco teórico.....	7
2.2.1.	El café.....	7
2.2.2.	Residuos del café (borra de café).....	7
2.2.3.	Tecnologías del aprovechamiento de la borra del café.....	8
2.2.4.	Borra de café modificada como biosorbente.....	8
2.2.5.	Bioadsorción.....	10
2.2.5.1.	Propiedades químicas de los bioadsorbentes.....	11
2.2.5.2.	Factores que influyen en la bioadsorción.....	11
2.2.6.	Tecnologías de disposición de residuos sólidos.....	13
2.2.6.1.	Relleno sanitario.....	13
2.2.6.2.	Relleno de seguridad.....	14
2.2.6.3.	Celda transitoria.....	14
2.2.7.	Lixiviados.....	14
2.2.8.	Composición de un lixiviado.....	16
2.2.9.	Impactos ambientales de los lixiviados.....	18

2.2.10.	Tecnologías de tratamiento de lixiviados	19
2.2.11.	Plomo (Pb).....	20
2.2.12.	Cobre (Cu).....	21
III.	MATERIALES Y MÉTODOS.....	22
3.1.	Ámbito de ejecución.....	22
3.1.1.	Localización política.....	22
3.1.2.	Ubicación geográfica.....	23
3.2.	Aspectos ambientales.....	23
3.3.	Materiales y métodos.....	23
3.3.1.	Materiales	23
3.3.2.	Equipos	24
3.3.3.	Reactivos	24
3.4.	Criterios de investigación	24
3.4.1.	Tipo de investigación.....	24
3.4.2.	Nivel de investigación	25
3.4.3.	Enfoque de la investigación.....	25
3.4.4.	Método de investigación.....	25
3.4.5.	Diseño de la investigación.....	25
3.4.6.	Operacionalización de variables.....	25
3.4.7.	Diseño experimental	26
3.5.	Metodología.....	27
3.5.1.	Recolección de las muestras.....	27
3.5.2.	Modificaciones de la borra de café.....	28
3.5.3.	Caracterización de la borra de café.....	29

3.5.4.	Determinación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del lixiviado	30
3.5.5.	Comparación de los parámetros del lixiviado con la normativa	38
3.5.6.	Determinación de las concentraciones de cobre y plomo antes y después del proceso de adsorción	39
3.5.7.	Eficiencias y capacidad de adsorción de la borra de café.....	41
3.5.8.	Análisis estadístico	41
IV.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	42
4.1.	Características morfológicas y composición química superficial de la borra de café	42
4.2.	Características fisicoquímicas y microbiológicas del lixiviado generado en la Celda Transitoria de Rupa Rupa	52
4.3.	Concentraciones de cobre y plomo antes y después del proceso de adsorción	55
4.3.1.	Efectos en las propiedades fisicoquímicas del lixiviado	57
4.3.2.	Concentraciones de cobre y plomo en la borra de café.	63
4.4.	Eficiencias de remoción y capacidad de adsorción de la borra de café.....	64
4.4.1.	Comprobación estadística de las eficiencias de remoción de cobre	67
4.4.2.	Comprobación estadística de las eficiencias de remoción de plomo.....	69
V.	CONCLUSIONES	72
VI.	PROPUESTAS A FUTURO	73
VII.	REFERENCIAS.....	74
VIII.	ANEXOS	80

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla	Página
1. Composición química de la borra de café usada para elaborar biocombustible.	8
2. Área de superficie y volumen total de poros de la borra de café modificada.	9
3. Características de los lixiviados según su edad.....	18
4. Riesgos para la salud humana y Criterios de Concentración Máxima recomendados para la vida acuática.	19
5. Ventajas y desventajas de algunos tratamientos aplicados en lixiviados.	20
6. Lugares donde se desarrolló la investigación.....	23
7. Operacionalización de las variables de investigación.....	26
8. Resumen de las modificaciones en la borra de café.....	30
9. Resumen de los parámetros fisicoquímicos determinados en el lixiviado.....	35
10. Límites Máximos Permisibles y Limites de Emisión para la descarga de lixiviados.	38
11. Parámetros físicos y químicos de la borra de café después de las modificaciones.	43
12. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado.	53
13. Comparación con los LMP y LE para la descarga de lixiviados en cuerpos de aguas superficiales.	54
14. Concentraciones iniciales de cobre y plomo en el lixiviado.	55
15. Concentraciones de cobre y plomo después del proceso de bioadsorción.....	56
16. Eficiencias de remoción según las pruebas.	644
17. Determinación la capacidad de adsorción en la fase sólida.	666
18. Prueba de normalidad para la remoción de cobre.	677
19. Prueba de Levene para la remoción de cobre.....	68
20. Prueba de Wilcoxon para la remoción de cobre.....	688
21. Prueba de Tukey para la remoción de cobre.	69
22. Prueba de normalidad para la remoción de plomo.....	69
23. Prueba de Levene para la remoción de plomo.	70
24. Prueba de Wilcoxon para la remoción de plomo.	700
25. Prueba de Tukey para la remoción de plomo.	71

26. Espectros FTIR de la borra de café antes del proceso de adsorción.	90
27. Espectro FTIR de la borra de café después del proceso de adsorción.	91
28. Resultados del análisis elemental en la borra de café sin modificación.	105
29. Resultados del análisis de poros en la borra de café sin modificación.	109
30. Determinación de humedad en la borra de café.	112
31. Mediciones del rendimiento de las modificaciones de la borra de café.	112
32. Mediciones de las modificaciones de la borra de café en los tamices.	112
33. Recuperación de la borra de café después del proceso de adsorción.	112
34. Capacidad de bioadsorción en la borra de café.	113
35. Mediciones de oxígeno disuelto en el lixiviado.	114
36. Mediciones de nitrógeno total en el lixiviado.	114
37. Mediciones de la DBO ₅ en el lixiviado.	114
38. Mediciones de la DQO en el lixiviado.	114
39. Mediciones de turbidez en el lixiviado.	114
40. Mediciones de SST y SSV en el lixiviado.	115
41. Análisis microbiológicos en el lixiviado.	115
42. Eficiencias de remoción de Cu y Pb sin borra de café.	117
43. Eficiencias de remoción de Cu y Pb con BC con lavado neutral.	117
44. Eficiencias de remoción de Cu y Pb con BC con lavado básico.	117
45. Eficiencias de remoción de Cu y Pb con BC con lavado ácido.	117
46. Eficiencias de remoción de Cu y Pb con BC con proceso térmico.	118
47. Prueba de normalidad con Shapiro-Wilk.	118
48. Prueba de normalidad con Shapiro-Wilk en grupos.	118
49. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T0.	121
50. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T1.	121
51. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T2.	121
52. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T3.	122
53. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T4.	122

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura	Página
1. Técnicas de extracción de metales pesados por bioadsorbentes.....	10
2. Movimiento de material a través de un vertedero.	15
3. Mapa de ubicación de la Celda Transitoria de Rupa Rupa.	22
4. Esquematación del diseño experimental.....	27
5. Sistema de lavados previos.....	28
6. Sistema de lavado básico (NaOH) y ácido (HNO ₃).	29
7. Diagrama general de las actividades de la investigación.	40
8. Granulometría de la borra de café.	42
9. Espectros FTIR de la BC con lavado neutral.	44
10. Espectros FTIR de la BC con lavado básico.	45
11. Espectros FTIR de la BC con lavado ácido.....	46
12. Espectros FTIR de la BC con proceso térmico.....	47
13. Microfotografía por BEM de la BC con lavado neutral.	48
14. Microfotografía por BEM de la BC con lavado básico.....	49
15. Microfotografía por BEM de la BC con lavado ácido.....	50
16. Microfotografía por BEM de la BC con proceso térmico.	51
17. Concentraciones iniciales de cobre y plomo en la BC.	51
18. Variación del pH en el lixiviado.	57
19. Variación de la temperatura en el lixiviado.	58
20. Variación de la Conductividad Eléctrica en el lixiviado.....	59
21. Variación de los Sólidos Totales Disueltos en el lixiviado.	60
22. Variación del Potencial de Oxidación Reducción en el lixiviado.....	61
23. Variación de la salinidad en el lixiviado.	611
24. Variación de la Demanda Química de Oxígeno en el lixiviado.....	62
25. Eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno.....	63
26. Adsorción de cobre y plomo en las BC modificadas.....	64
27. Microfotografías de la borra de café con lavado neutral.	101

28. Microfotografías de la borra de café con lavado ácido.	102
29. Microfotografías de la borra de café con proceso térmico.	103
30. Microfotografías de la borra de café con lavado básico.	104
31. Reporte de las concentraciones de Cu y Pb (mg/kg) en la borra de café.	111
32. Reporte de las concentraciones de Cu y Pb (mg/L) en el lixiviado.	116
33. Línea de tendencia para la remoción de cobre.	119
34. Línea de tendencia para la remoción de plomo.	119
35. Diagrama de cajas para la remoción de cobre según las pruebas.	120
36. diagrama de cajas para la remoción de plomo según las pruebas.	120
37. Recolección de la borra de café en la cafetería puro Aroma.	123
38. Lavado con agua destilada de la borra de café.	123
39. Proceso de escurrido en los lavados.	124
40. Lavado de la BC con agua estéril de inyección.	124
41. Preparación de las soluciones de NaOH al 0.01M.	125
42. Agitación magnética para la impregnación del NaOH en la BC.	125
43. Secado de la BC con lavado básico.	126
44. Medición del pH en las borras de café con modificaciones.	126
45. Agitación magnética para la impregnación del HNO ₃ en la BC.	127
46. Mediciones en la BC – HNO ₃ (temperatura, CE, TDS y ORP).	127
47. Mediciones en la BC – NaOH (temperatura, CE, TDS y ORP).	128
48. Calcinación de la BC a 650°C (laboratorio de suelos).	128
49. Obtención de la BC - 650°C y la eliminación de cenizas.	129
50. Mediciones en la BC – 650°C (temperatura, CE, TDS y ORP).	129
51. Modificaciones de la borra de café.	130
52. Recolección de la muestra de lixiviado.	130
53. Última sección del pozo de lixiviados.	131
54. Traslado de las muestras de lixiviado.	131
55. Medición de Oxígeno Disuelto.	132
56. Medición de Demanda Bioquímica de Oxígeno.	132
57. Medición de la turbidez.	133
58. Medición de Sólidos Totales Volátiles y Sólidos Suspendidos Totales.	133

59. Medición de nitratos y nitritos.....	134
60. Medición de fosfatos.	134
61. Destilación por el método Kjeldahl.....	135
62. Titulación con ácido sulfúrico para determinar nitrógeno total.....	135
63. Medición de la Demanda Química de Oxígeno.....	136
64. Recuento de hongos y bacterias.....	136
65. Determinación de coliformes totales y Escherichia coli.	137
66. Regulación de pH y dosificación de la borra de café.	137
67. Regulación de pH y agitación de la prueba 0.	138
68. Agitación y filtrado de la prueba 1.	138
69. Agitación y filtrado de la prueba 2.	139
70. Agitación de la prueba 3.	139
71. Agitación y filtrado de la prueba 4.	140
72. Supervisión del Presidente de jurados.....	140
73. Recolección de la borra de café después del proceso de adsorción.....	141
74. Digestión ácida de los remanentes de lixiviado.....	141
75. Digestión ácida del bioadsorbente recuperado.	142
76. Mediciones de la DQO después del proceso de adsorción.....	142
77. Autorización de la Gerencia de Gestión Ambiental y Defensa Civil	143
78. Carta de respuesta de la Gerencia de Calidad Ambiental y Proyectos.	144
79. Autorización de ejecución de tesis en el Laboratorio de microbiología general.....	145
80. Mapa de ubicación de los laboratorios.	146
81. Mapa de ubicación de la Celda Transitoria de Rupa Rupa.....	147

RESUMEN

La investigación tiene como propósito evaluar la capacidad de la borra de café como bioadsorbente para remover cobre y plomo del lixiviado generado en la Celda Transitoria de Rupa Rupa, se ejecutaron una serie de experimentos que iniciaron con las modificaciones de la borra de café, seguido por su evaluación fisicoquímica y morfológica; continuando con las mediciones de los parámetros físicos y químicos en el lixiviado para luego ejecutar los procesos de adsorción aplicando 5 g de bioadsorbente por litro de efluente con agitación durante 7 horas, finalmente la remoción del cobre y plomo se determinó con la cuantificación inicial y final en el lixiviado. Es así como la borra de café con lavado básico mostró mejores resultados globales, obteniendo un 59.49%, 85.68% y 52.49% de remoción del cobre, plomo y la demanda química de oxígeno respectivamente y a continuación la borra de café con proceso térmico logró 28.19%, 89.09% y 61.43% de remoción. La capacidad de adsorción fue de 0.0382 mg Cu/g en borra de café con lavado básico y 0.0504 mg Pb/g en borra de café con proceso térmico. Con ello se demuestra que este residuo agroindustrial es favorable para el tratamiento de aguas residuales con presencia de metales mediante el proceso de adsorción.

Palabras clave: Borra de café, lixiviado, remoción, adsorción, bioadsorbente, cobre y plomo.

ABSTRACT

The objective of the research is to evaluate the capacity of coffee grounds as a biosorbent to remove copper and lead from the leachate generated in the Rupa Rupa Transitional Cell. A series of experiments were carried out that began with the modifications of the coffee grounds, continuing with the measurements of the parameters in the leachate and then carrying out the adsorption process applying 5 g of bioadsorbent per liter of effluent with agitation for 7 hours, the removal of copper and lead was determined by quantifying the initial and final concentrations in the leachate. It is thus that coffee grounds with basic washing showed better overall results, achieving a 59.49%, 85.68% and 52.49% removal of copper, lead and chemical oxygen demand, respectively. Subsequently, the coffee grounds with a thermal process achieved a 28.19%, 89.09% and 61.43% removal. The adsorption capacity was 0.0382 mg Cu/g in coffee grounds with basic washing and 0.0504 mg Pb/g in coffee grounds with thermal process. This demonstrates that this agro-industrial waste is favorable for the treatment of wastewater with the presence of metals through the adsorption process.

Key words: Coffee grounds, leachate, removal, adsorption, bioadsorbent, copper and lead.

I. INTRODUCCIÓN

Un problema ambiental en el Perú es la insuficiencia de lugares adecuados para la disposición final de los residuos sólidos, según OEFA actualmente contamos con 63 rellenos sanitarios, 6 rellenos de seguridad y 5 celdas transitorias con los permisos correspondientes, aun así, el riesgo ambiental continua con la gestión y manejo de los lixiviados ya que muchas de estas infraestructuras no cuentan con un plan para su tratamiento. Los lixiviados son fluidos que se generan de la descomposición de los residuos por ello contienen elevadas concentraciones de compuestos tóxicos como son los metales pesados. En la Celda Transitoria de Rupa Rupa se cuenta con una poza para la recolección y almacenamiento de los lixiviados al cual se recircula, pero la alta pluviosidad de la zona genera excedentes que les fuerza a verterlos. El cobre es catalogado como un importante agente contaminante en el agua debido a su frecuente uso en las actividades agrícolas, es de fácil absorción en los seres vivos por lo que su acumulación en los tejidos y transporte al torrente sanguíneo puede causar graves enfermedades; mientras que el plomo es una de las sustancias químicas más perjudiciales para la salud humana ya que su ingestión en cantidades superiores a las recomendadas puede resultar en afecciones renales, daños en el sistema nervioso y su acumulación en el hígado. Los medios de tratamiento biológicos resultan económicos y de fácil aplicación, entre estos encontramos el aprovechamiento de algunos residuos como bioadsorbente, es así que en la ciudad de Tingo María y todas las regiones amazónicas está en incremento el consumo de la bebida de café en sus diferentes presentaciones, esta actividad comercial genera aproximadamente tres kilogramos de borra de café diario por negocio, este es un residuo que en su mayor parte es desechado pero sus características físicas y químicas le hacen un potencial bioadsorbente.

En ese sentido, en la presente investigación se abordó la siguiente interrogante ¿Cuál es la capacidad de la borra de café para remover cobre y plomo del lixiviado generado en la Celda Transitoria de Rupa Rupa?, y se propuso como hipótesis que la borra de café tiene la capacidad de remover más del 50% del cobre y plomo presentes en el lixiviado.

La investigación permite actualizar conocimientos y entender mejor la interacción de un material orgánico con componentes inorgánicos, generar datos de los cambios morfológicos en el residuo, presenta utilidad metodológica para futuras investigaciones y radica en la necesidad del cumplimiento de una normativa.

Utilizar un residuo agroindustrial reduce la contaminación ambiental y genera oportunidades económicas, disminuir las concentraciones de cobre y plomo en el lixiviado protege la salud de las poblaciones aledañas a las infraestructuras de disposición final.

1.1. Objetivo general

Evaluar la capacidad de la borra de café para remover cobre y plomo del lixiviado generado en la Celda Transitoria de Rupa Rupa – 2023.

1.2. Objetivos específicos

- Caracterizar la morfología y composición química superficial de la borra de café.
- Determinar las características fisicoquímicas y microbiológicas del lixiviado proveniente de la Celda Transitoria de Rupa Rupa.
- Determinar las concentraciones de cobre y plomo presentes en el lixiviado antes y después del proceso de adsorción.
- Determinar las eficiencias de remoción y adsorción de la borra de café.

II. REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Gutiérrez, M. y Cerón, D. (2020) hicieron una exploración bibliográfica de la borra de café en la remoción de colorantes sintéticos del agua, en un principio describen la caracterización del residuo con punto de carga cero (PPC), microscopía electrónica de barrido (SEM), isotermas de Brunauer-Emmett-Teller (BET) y la espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier (FTIR), con la literatura revisada evidenciaron que la biosorción depende mucho de las modificaciones que tenga la biomasa notándose que en su mayoría son con componentes ácidos, además del pH, dosis del biosorbente, tamaño de partícula, concentración inicial del colorante, tiempo de contacto, y temperatura.

Ferraz, F. y Yuan, Q. (2020) realizaron un estudio con el objetivo de tratar el lixiviado de vertederos utilizando carbón activado de residuo de café, determinando su eficiencia para la eliminación de materia orgánica y color. Se realizaron pruebas con lixiviado sintético elaborado a partir de ácido húmico y cloruro de amonio para definir las mejores condiciones experimentales; las muestras de café se impregnaron con ácido fosfórico y se sometieron a pirólisis (350 – 500 °C) en atmósfera inerte (caudal de 0.1 L/min de N₂) por una hora, los resultados indicaron que las muestras impregnadas al 50% presentan entre 300 – 2118 m²/g de áreas superficiales de los poros y su capacidad máxima de adsorción fue de 40 mg de la DQO por gramo de carbón activado. Posteriormente se probaron en el lixiviado real obteniendo más del 90% de remoción del color y la DQO, demostrando así su eficiencia.

López, M. *et al.* (2022) caracterizaron los lixiviados provenientes del sitio de disposición final no controlado en Tlapacoyan, Veracruz, México y como resultados reportan altos valores de nitrógeno total (152.7 mg/L), cobre (0.052 mg/L), plomo (0.005 mg/L) y coliformes totales (>2400 NMP/100mL), además mencionan que son efluentes poco biodegradables ya que la relación DBO/DQO es de 0.018, también comparó los valores obtenidos con la normativa internacional U.S. EPA para la protección de la vida acuática y concluye que existe un alto riesgo por escorrentía al río Alseseca.

Poblete, R. *et al.* (2019) realizaron una investigación sobre el tratamiento de lixiviados de vertedero mediante carbón activado de residuo de café, en ello evaluaron diferentes reactivos para la activación del carbón (HCl, HCl + H₂O₂, H₃PO₄, H₃PO₄ + H₂O₂) y su porosidad, obteniendo mayor área el activado con HCl y por último el activado con H₃PO₄ (4.85 m²/g y 65.32 μm de diámetro), posteriormente realizaron la evaluación con agitadores orbitales a 150 rpm a 19°C durante 120 minutos, sin ajuste de pH y dosificando 4 g de carbón activado por litro de lixiviado. El que mejores resultados mostro fue el carbón activado con H₃PO₄ obteniendo 51.0, 32.8, 66.0, 81.0 y 97.1% de remoción de la DQO, amoníaco, cloro total, bromo y cobre respectivamente, además demostraron que se obtiene mejor remoción a mayor cantidad del adsorbente pero la cantidad adsorbida por unidad de masa decrece. El modelo de isoterma de Freundlich se concertó mejor a los registros experimentales por lo que dedujeron que el carbón activado del residuo de café favorece el proceso de adsorción.

Castellar, C. *et al.* (2018) evaluaron la adsorción del colorante azul directo 2 por la borra de café en una columna de lecho fijo a escala de laboratorio, para ello modificaron la BC con H₃PO₄ en una columna empacada a 30°C y luego cuantificaron los grupos funcionales con el FTIR. Sus resultados revelan 0.33 y 0.40 mg/g de capacidad máxima de adsorción para la BC sin tratar y BC modificada en condiciones de 6 cm de altura del lecho, concentración de entrada de 8 mg/dm³ y flujo volumétrico de 2 cm³/min. La adsorción tiende a aumentar cuando se disminuye el flujo volumétrico y la concentración inicial, las cifras experimentales se ajustaron al modelo matemático Bed Depth Service Time.

Gnu Nam *et al.*, (2017) en su estudio de investigación “Un enfoque ambientalmente benigno para la adsorción de arsénico (V) en aguas residuales utilizando residuo de café sin tratar”, realizado en Corea, demostró que el residuo de café molido es un viable elemento adsorbente para la remoción de As, en sus unidades experimentales variaron la concentración de As, la cantidad de café y el pH, encontró mejores resultados en ambiente básico (pH 7) donde se removió 6.44 mg/L de As (V) en 1 g de café molido a 1.00 mM de solución; según el análisis de isoterma de BET el área superficial del residuo es bajo pero la distribución de poros y el análisis de adsorción-desorción indican que es de estructura mesoporosa justificando su posibilidad como adsorbente.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Vicuña, G. (2023) investigó la eficiencia de la cascara de papa y la borra de café para remover cromo (III) en efluentes de una industria curtiembre, en ello tiene tres valores iniciales de cromo a los cuales los llevo a agitación (250 rpm para el adsorbente de borra de café y 100 rpm para el adsorbente de cascara de papa) en tiempos de 60, 30 y 15 minutos, usando 500 mL de muestra y diferentes concentraciones de bioadsorbente (0.5, 1, 1.5, 2 y 2.5 g); sus resultados demostraron remoción de hasta el 100% de cromo con 1g de cascara de papa y 2.5 g de borra de café, ambos experimentos se realizaron por separado; concluyen que ambos residuos tienen alto potencial floculante ya que lograron cumplir los LMP del DS N°003-2002-Produce.

Robles, C. (2023) presentó su trabajo de investigación donde evaluó tres coagulantes elaborados a partir de semillas de *Moringa oleifera* (estado natural, carbón activado y fusión de ambos) para tratar el lixiviado del relleno sanitario de Uchuypampa - Ayacucho, primero registro los valores iniciales de los parámetros del lixiviado para luego compararlos, las experimentaciones se hicieron a 50 rpm, 1 hora de sedimentación, 20 minutos de homogenización y 100 g de absorbente en 500 mL de lixiviado; sus resultados reflejan eliminación del 81% de coliformes termotolerantes, 25% de la DQO y 16% de la DBO, pero aumentaron en 6.46% la turbiedad y 15.32% los STD; los mejores resultados se reflejan en el proceso con el coagulante “fusión de ambos”.

Argomedo, E. y Carbajal, L. (2019) realizaron una investigación para demostrar el efecto del tamaño de partícula y tiempo de contacto de la borra de café en la eliminación de plomo de un efluente minero, en esta se realizó agitación por lotes con partículas de 850, 425 y 250 μm de borra de café activado con NaOH y HNO₃ a 0.01M y tiempo de contacto 30, 60 y 90 minutos, utilizando 0.1 g de adsorbente en 100 mL de agua al cual se reguló el pH a 2; sus resultados muestran una remoción de hasta 87.85% con partículas de 250 μm con 90 minutos de contacto, concluyendo que si existe influencia de la granulometría del adsorbente (borra de café) en la remoción de Pb (II) y que es un método potencial de bajo costo.

Azabache, Y. y Cachay, W. (2019) realizó carbón activado con la cascara de café, al cual trituró y activó con ácido fosfórico al 37% de concentración, luego lo carbonizó entre 550 a 750 °C de temperatura, posteriormente el carbón activado fue probado en la extracción de

hierro y manganeso de una muestra de agua de acuífero del distrito de Yantaló, con diferentes velocidades de agitación (60, 100, 200 y 300 rpm), diferentes concentraciones de carbón activado (1, 1.5 y 2 g) y diferentes volúmenes de muestra (40, 80 y 160 mL); como resultado obtuvo que con 2 g de carbón activado en 80 mL de agua, a 200 rpm y 3 minutos de contacto se logra mejores remociones de hierro y manganeso.

Chacaltana, G. (2018) en su investigación realizó un análisis inicial del agua del río Añasmayo y lo comparó con el ECA de aguas, para luego realizar los procesos de adsorción usando borra de café pretratada con NaOH al 0.1 N, se agregó 10, 20, 30 g de adsorbente en 500 mL de agua y fueron sometidos a agitación a 172 rpm durante 120 minutos; los resultados obtenidos muestras remoción de cadmio y plomo de 96.5 y 94.0 % respectivamente.

2.1.3. Antecedentes locales

Aguilar, H. (2019) investigó sobre la remoción de Cd, Cr, Zn y Pb mediante sistema Batch con presencia *Cajanus cajan* (L.) Huth a nivel de laboratorio, en el cual usó tres diluciones de lixiviado (25, 50 y 75%), el análisis de la cinética de remoción se efectuó con el 50% de dilución durante 15 días; determinó remociones de 55% de sólidos totales, 78% de DBO₅, 56% de conductividad eléctrica y 98% de coliformes totales, así también la remoción de metales fue mejor en el tratamiento 3 (75% de lición) donde se logró remover el 70.54% de plomo y 73.31% de zinc, de esta forma cumplió con el LMP determinado por el MINAM (2009).

Mayorca, N. (2017) investigó la disminución de la carga orgánica en lixiviado estabilizado del botadero municipal de San Ramon mediante Oxidación avanzada foto-fenton; usó un colector parabólico solar y un tubo de borosilicato de 16 mm de diámetro, el agente oxidante fue peróxido de hidrógeno y el catalizador fue tricloruro férrico hexahidratado y se regulo a pH 3 para iniciar el proceso; se evaluaron tres dosis de Fe:H₂O₂ (1:15, 1:25 y 1:35) en tres periodos de tiempo (30, 20 y 10 minutos) y como respuesta se obtuvo mayor eficiencia de remoción con la dosis molar 1:25 de Fe:H₂O₂ alcanzando 92.67%, 94.38% y 90.71% de remoción de materia orgánica por cada periodo de tiempo.

2.2. Marco teórico

2.2.1. El café

El café como planta hace parte de un gran complejo botánico, cuyo origen es de la zona intertropical del África y de la región de Madagascar, la gran diversidad actual del café es debido a la evolución por la interacción de las formas genéticas y los ambientes donde se adaptaron; el café conforma la extensa familia de las Rubiáceas, que abarca más de 6000 especies, el género *Coffea sp.* es el de mayor importancia económica y tiene 103 especies registradas. Su uso como bebida está estrechamente vinculada a los grandes imperios y comerciantes, inicialmente árabes, seguido por los turcos y finalmente por los colonizadores europeos en el siglo XVIII (Herrera, J. y Cortina, H., 2013).

El café ocupa una posición significativa en el mercado global debido a gran cantidad de producción, alcanzando aproximadamente 149.8 millones de bolsas de 60 Kg y se estima que Perú contribuye con 3.4 millones de bolsas, ocupando un lugar entre los diez principales productores a nivel mundial (USDA, 2014). De acuerdo con los datos de la Organización Internacional de Café (ICO) cada año se ingieren 400 000 millones de tazas de café y dicen que de cada 10 hogares que consumen café en el mundo 9 de ellos es café proveniente de América Latina (Galindo, X., 2011), esta actividad resulta en la generación de residuos como la cascarilla, borra de café, entre otros.

2.2.2. Residuos del café (borra de café)

A pesar de la considerable demanda del café en sus diversas presentaciones, se sabe que menos del 90% del fruto fresco del café se utiliza, ya que solo el 5% se destina a la preparación de la bebida. La borra de café emerge como el principal residuo generado después del tostado del grano y luego del filtrado durante la preparación de la bebida, constituyendo aproximadamente el 10% del fruto fresco (Angarita, F., 2013).

Aproximadamente una tonelada de café seco forma alrededor de 650 kg de borra y que al elaborar 1 kg de café soluble se genera 2 kg de este residuo, entonces la disposición de este subproducto es una inquietud ambiental, por lo que ha captado diferentes investigaciones como principio de compuestos bioactivos (Lagos, A., 2016).

Seguidamente se expone la composición química de la borra de café:

Tabla 1. Composición química de la borra de café usada para elaborar biocombustible.

Componente	%	Componente	%
Humedad	7 - 8	Acido linoleico	37.0
Proteína cruda	10 – 12	Ácido gadoleico	0.4
Fibra cruda	35 – 44	Ácido behenico	0.2
Nitrógeno libre	13 – 18	Ácidos grasos libres	7.6
Ceniza	0.25 – 1	Valor de yodo	85 – 93
Calcio	0.08	Aminoácidos	
Magnesio	0.01	Alanina	6.2
Potasio	0.04	Isoleucina	6.3
Sodio	0.03	Leucina	13.4
Fosforo	0.01	Tirosina	4.2
Manganeso	26.8 ppm	Fenilalanina	8.3
Zinc	10 ppm	Lisina	2.9
Cobre	35 ppm	Histidina	2.2
Ácido tánico	0.90	Hidroxiopropilina	1.0
Ácido palmítico	43.2	Glicina	7.6
Acido palmitoleico	0.40	Serina	1.9
Ácido esteárico	9.70	Ácido glutámico	18.6
Ácido oleico	14.0	Metionina	2.0
Grasas	18 - 26	Cafeína Trigonelina	Fracción mínima

Fuente: Angarita, F. (2013).

2.2.3. Tecnologías del aprovechamiento de la borra del café

Carvajal, E. y Marulanda, L. (2020) afirman que se han realizado múltiples investigaciones en la aplicación de este subproducto, es así como se ha probado para la generación de azúcares, en la producción de biodiesel, como fuente para la obtención de carbón activado, como material compostable, como adsorbente para la remoción de iones metálicos y otros más.

2.2.4. Borra de café modificada como biosorbente

A través de los tiempos se ha estudiado la modificación de los bioadsorbentes con el fin de comparar la capacidad de biosorción entre los modificados y los que no se alteraron,

entre los más comunes son los procesos de acidificación, alcalinización, agregando biosorbentes compuestos, procesos magnéticos, pirolisis y rayos UV (Gutiérrez, M. y Cerón, D., 2020).

Lagos, L. (2016) realizó la modificación ácida (HNO_3 al 0.01M) y la modificación básica (NaOH al 0.01M) para evaluar la remoción de cromo y Chacaltana, G. (2018) ensayó la modificación con agua desionizada y con NaOH al 0.1N para la remoción de plomo.

La caracterización de la borra de café incluye isotermas BET para calcular el área superficial de los poros, el análisis de poros con Punto de Carga Cero, observación morfológica con Microscopio de Barrido Electrónico, la identificación de grupos funcionales mediante Infrarrojo Transformado de Fourier y el cálculo de sitios ácidos y básicos por el método de Boehm (Gutiérrez, M. y Cerón, D., 2020). A continuación, se muestra los cambios superficiales en algunas modificaciones.

Tabla 2. Área de superficie y volumen total de poros de la borra de café modificada.

Modificaciones	Área de superficie (m^2/g)	Volumen total de poros (cm^3/g)
Borra de café	2.215	-
Borra de café con H_2O a 60°C	31.52	-
Borra de café con H_2O a 105°C	52.5	-
Borra de café con HNO_3	23.15	-
Borra de café con HCl	2.48	-
Borra de café con HCl a 700°C	406.4	0.214
Borra de café con HCl a 900°C	1277.5	0.634
Borra de café con 180% de H_3PO_4 en peso	925	0.718
Borra de café con 50% $\text{H}_3\text{PO}_4 - 500^\circ\text{C}$	2118	-
Borra de café con 100% $\text{H}_3\text{PO}_4 - 500^\circ\text{C}$	1209	-
Borra de café a 550°C	125,4	0,064
Borra de café a 600°C	155,2	0,084
Borra de café a 650°C	318,2	0,173
Borra de café a 700°C	177,4	0,098

Fuente: Wong, S. *et al.* (2020) y Gutiérrez, M. y Cerón, D. (2020).

2.2.5. Bioadsorción

La bioadsorción se refiere a un proceso que comprende una fase sólida, denominada biosorbente y una fase líquida que contiene las sustancias disueltas destinadas a ser retenidas. Este proceso implica diversos principios que facilitan la atracción y la unión de las especies a los sitios activos en la superficie del biosorbente, alcanzando eventualmente el equilibrio. Se distinguen dos tipos de adsorción según los principios de interacción entre el sorbato y adsorbente.

- Adsorción física. Tiene baja energía de adsorción, se pueden formar multicapas, es posible a bajas temperaturas, no es selectiva y las especies adsorbidas no se modifican. Suceden por interacciones débiles de Van der Waals en la superficie y existe liberación de calor (Lagos, L., 2016).
- Adsorción química. Tiene alta energía de adsorción, se constituye una monocapa en la superficie, su entalpía es exotérmica, es selectiva, también ocurre a altas temperaturas y las moléculas adsorbidas cambian totalmente. Sucede por la formación de enlaces químicos en la superficie (Lagos, L., 2016).

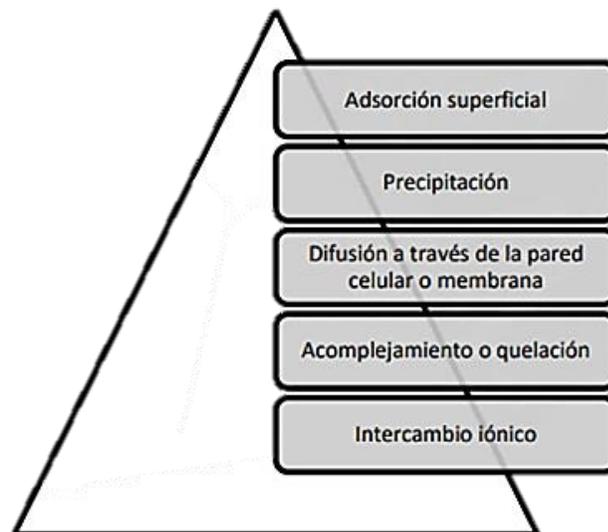


Figura 1. Técnicas de extracción de metales pesados por bioadsorbentes.

Fuente: Lagos, L. (2016).

La bioadsorción se refiere a un sistema en el cual el material adsorbente es de naturaleza biológica o ciertos microorganismos capaces de retener compuestos inorgánicos de soluciones acuosas, a menudo de manera selectiva; puede llevarse a cabo con biomasa viva o inerte, siendo esta última más práctica ya que no requiere ambientes estériles ni condiciones especiales en su contexto (Saavedra, R., 2019). Según Vizcaíno, L. *et al.* (2017) la mayoría de los adsorbentes son elementos muy porosos, en donde el mecanismo de retención se desarrolla principalmente en la superficie de los poros y sus sitios activos.

2.2.5.1. Propiedades químicas de los bioadsorbentes

La composición molecular de un material puede interpretarse por las bandas o picos que reflejan su transmitancia, la zona conocida como huella dactilar se encuentra localizada entre 600 a 1500 cm^{-1} , donde se muestran permutaciones importantes en la distribución de las bandas, lo que brinda una singularidad a cada muestra evaluada (Gutiérrez, M. y Cerón, D.,2020).

Los grupos funcionales como carboxilo, hidroxilo, fosfato, amino, amida y tiol que se muestran en el biomaterial son muy importantes en su rol como adsorbente, estos cambian su ion hidronio por el ion metálico o actúan donando un par de electrones no enlazantes para la constitución de complejos metálicos (Ferraz, F. y Yuan, Q.,2020). Chaouki, Z. *et al.* (2021) afirma que en los residuos orgánicos el grupo -OH es detectable porque son procedentes de la lignina, celulosa y hemicelulosa que se identifica entre las bandas de los grupos alcoholes, fenoles y ácidos carboxílicos.

Lagos, L. (2016) menciona que las cadenas de celulosa y hemicelulosa forman enlaces inter- e intramoleculares, la lignina por ejemplo está compuesta por grupos funcionales carbonilo, grupos metoxilos, hidroxilfenólicos, y grupos alifáticos, todos estos son capaces de unirse a metales pesados cuando ceden sus pares libres de oxígeno.

2.2.5.2. Factores que influyen en la bioadsorción

Existen condiciones especiales a las que se pueden realizar el proceso de biosorción para mejorar su eficiencia, seguidamente se detallan los siguientes:

- **Influencia del pH.** Repercute en los sitios de intercambio iónico y en el estado iónico del metal en la fase líquida, a menor valor de pH los grupos funcionales superficiales de los elementos lignocelulósicos se cargan positivamente y limitan el contacto de especies catiónicas por el efecto de repulsión, a medida que el pH incrementa los grupos funcionales se cargan negativamente y reduce la competencia de los iones metálicos con los iones de hidrógeno. En múltiples investigaciones se encontraron mejores cifras de adsorción a pH 3, 4 y 5 (Carvajal, E. y Marulanda, L., 2020).
- **Influencia de la temperatura.** La adsorción aumenta a temperaturas más bajas, ya que por lo general se usan procesos que liberan energía, por lo tanto, de acuerdo con la teoría de Le Chatelier la variación de condiciones hará que se genere un nuevo estado de equilibrio (Lagos, L., 2016). Así también varios autores manifiestan que la temperatura no condiciona significativamente la remoción de los metales pesados.
- **Efecto del tiempo de contacto.** Definirá el tiempo mínimo que requiere el bioadsorbente para la captura de los iones metálicos disueltos; no es posible generalizar un tiempo específico para todos los metales pesados, por lo que es necesario que cada investigador evalúe el tiempo de contacto óptimo, varias investigaciones muestran que el tiempo de contacto para tratar plomo van de 200 a 500 minutos y para cobre entre 60 a 240 minutos (Carvajal, E. y Marulanda, L., 2020).
- **Influencia de la concentración inicial de metales.** Está demostrado que la concentración inicial limitará la adsorción debido al agotamiento de los espacios activos de la superficie del adsorbente, la concentración del adsorbato define la especiación de los metales y de esta manera su disponibilidad para ser captado (Carvajal, E. y Marulanda, L., 2020).
- **Efecto de la dosis del adsorbente.** La cantidad de adsorbente está estrechamente asociada con la superficie porosa disponible y los grupos funcionales útiles en la superficiales para atraer las especies disueltas (Lagos, L., 2016); cuando la dosis de material adsorbente es mayor se alcanza con rapidez la adsorción del metal, es decir se incrementa la tasa

de remoción, pero disminuye la medida adsorbida por unidad de masa (Carvajal, E. y Marulanda, L., 2020).

- **Efecto de varios metales en la solución.** Se pueden presentar tres situaciones, un efecto sinérgico, esto es que la afinidad del metal aumente por la presencia de otros metales, es por esto que el ion que presente mayor electronegatividad presentara una mayor afinidad hacia el sitio de unión, un efecto antagónico y que la presencia de multimetales genere competición de iones o mayor afinidad de alguno por los sitios activos, por lo tanto las tasa de remoción decrecerán para todos los metales presentes en la solución y por último que no se exprese ninguna interacción (Carvajal, E. y Marulanda, L., 2020). Este factor combinado con la concentración inicial del ion metálico incrementara la biosorción del que mayor presencia tiene, mientras que se mantendrá constante de los iones que se presenten en menos cantidad (Saavedra, R., 2019).

2.2.6. Tecnologías de disposición de residuos sólidos

Según lo señalado en el Decreto Legislativo N°1278, que corresponde a la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos, la gestión de los residuos sólidos se constituye con las siguientes etapas: generación, segregación en la fuente, almacenamiento, recolección y transporte, valorización, transferencia, tratamiento y disposición final.

Son infraestructuras de disposición final, los rellenos sanitarios, los rellenos de seguridad y temporalmente las celdas transitorias (MINAM, 2017).

Según OEFA actualmente contamos con 63 rellenos sanitarios, 6 rellenos de seguridad y 5 celdas transitorias con los permisos correspondientes, pero el conflicto del manejo de residuos sólidos en el Perú no se ha solucionado ya que se estima que el país requiere de por lo menos 190 infraestructuras de disposición final.

2.2.6.1. Relleno sanitario

Es el espacio técnicamente construido para la disposición final de los residuos sólidos municipales y permite disponerlos de manera sanitaria y ambientalmente segura;

comprende la confinación y aislamiento de los residuos en una superficie mínima totalmente impermeable, la compactación de estos, cobertura diaria con un sustrato, control de gases, gestión de lixiviados y cobertura final o cierre (MINAM, 2017).

2.2.6.2. Relleno de seguridad

Es un lugar diseñado para contener los residuos no municipales y sustancias potencialmente peligrosas para la salud y el ambiente, están diseñados con altos estándares de ingeniería y con el respaldo de normativas nacionales e internacionales, para confinar indefinidamente dichas sustancias y tener un mínimo impacto ambiental (MINAM,2017).

2.2.6.3. Celda transitoria

En múltiples provincias nacen a raíz de la necesidad de palear con inmediatez los daños ambientales causado por la disposición de los residuos sólidos en los botaderos. Son infraestructuras temporales para la disposición de los RS municipales, se diseñan con un periodo de vida útil de tres años hasta establecer un relleno sanitario, estos también cumplen los estándares ambientales internacionales para no afectar el ambiente (MINAM, 2019).

2.2.7. Lixiviados

De acuerdo con la Ley General de Residuos Sólidos se describe a los lixiviados como el fluido generado por los residuos sólidos, resultante de reacciones, arrastre o percolación y que manifiesta elementos o sustancias presentes en el mismo residuo, ya sea disueltos o en suspensión.

Proviene principalmente de dos reacciones:

- Aguas de percolación. Es el agua que proviene del exterior, generalmente viene de la lluvia y la evapotranspiración, percola por los RS, dando origen aguas saturadas de contaminantes orgánicos e inorgánicos.
- Aguas de generación. Se refiere a los procesos de descomposición que se dan en el interior de los residuos, el mayor aporte viene de los residuos orgánicos y también se solubilizan con el tiempo los componentes de los residuos inorgánicos (Espinosa, M. *et al.*, 2007).

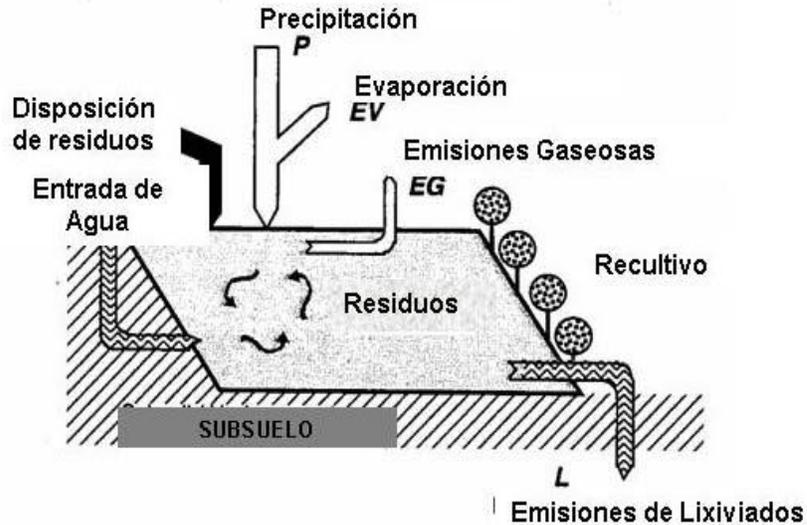


Figura 2. Movimiento de material a través de un vertedero.

Fuente: Espinosa, M. *et al.* (2007).

Conociendo estos datos es posible aplicar la ecuación planteada por Ryser y Wienands en el 2003 para determinar el contenido de lixiviado por m^3 de volumen del vertedero:

$$L = P + EA - HR - (E - EG) \quad (1)$$

L	=	cantidad de lixiviado (kg/m^3)
P	=	precipitación (kg/m^3)
EA	=	entrada de agua (kg/m^3)
HR	=	contenido de agua del residuo (kg/m^3)
E	=	evaporación (kg/m^3)
EG	=	contenido de agua del gas del vertedero (kg/m^3)

López, M. *et al.* (2003) mencionan que en la generación de lixiviados están presentes diversos procesos químicos y microbiológicos; se manifiesta en dos fases, aerobia y anaerobia, esta última comprende dos etapas, primero Acetogénesis y segundo Metanogénesis. La descomposición aerobia se da mientras el ambiente cuenta con oxígeno disponible, por lo tanto es causante solo de una pequeña fracción de la descomposición biológica dentro del vertedero, en esta fase los residuos orgánicos pierden casi toda su humedad, posteriormente el vertedero entra a la fase de descomposición anaerobia donde los microorganismos facultativos siguen el proceso

lentamente por varios años, usan el gas H_2 y los ácidos carboxílicos para originar ácido acético y posteriormente gas metano, pero es en la fase de licuefacción la que favorece a incrementar la generación de lixiviados. Espinosa, M. *et al.* (2007) acota que en ese punto se puede considerar que los residuos están totalmente saturados y que los líquidos del exterior que se infiltran en el relleno sanitario lixiviarán rápidamente arrastrando compuestos orgánicos en solución, sólidos en suspensión y los iones metálicos.

2.2.8. Composición de un lixiviado

La composición de un lixiviado depende de los residuos y las variables dentro del vertedero tales como temperatura, profundidad de los residuos, contenido de humedad, etapa de descomposición, calidad de las capas sólidas y la calidad del agua que entra al vertedero (Corena, L., 2008).

También señala que en el lixiviado podemos diferenciar 4 grupos de contaminantes: materia orgánica disuelta (expresada como Demanda Química de Oxígeno, Carbono Orgánico total, metano, ácidos grasos volátiles, compuestos fúlvicos y húmicos), macro componentes inorgánicos (Ca^{2+} , Mg^{2+} , Na^+ , K^+ , Cl^- , SO_4 , $N-NH_3$, F^- , Mn^{2+} , B^- y bicarbonatos), metales pesados (Cd, Cu, Pb, Zn, As, Cr, Li, Hg y Ni) y compuestos orgánicos volátiles que implica los hidrocarburos aromáticos, alifáticos clorados y fenoles. También es bueno enfatizar en los microorganismos patógenos que se encuentran (Corena, L., 2008).

Los parámetros que se suelen evaluar en los lixiviados se describen a continuación:

Oxígeno disuelto (OD). La escasa presencia de oxígeno disuelto en el líquido es indicador de elevada contaminación orgánica, ya que sirve para indicar la presencia de microorganismos que tienen una tasa de reproducción superior a la capacidad de difusión del oxígeno desde la atmósfera hacia el líquido (Espinosa, M. *et al.*, 2007). La presencia de la vida acuática está limitada por la disponibilidad del oxígeno disuelto, se sugiere valores de al menos 5 a 8 mg/L, considerando la altitud del lugar y la temperatura del agua en acción.

Demanda Química de Oxígeno (DQO). Es parte de un análisis más complejo de la contaminación química del agua, determinada por la cantidad de oxígeno (mg/L) consumidos

por litros de muestra que se expone a digestión en 150 °C (Espinosa, M. *et al.*, 2007); es decir cuenta la cantidad de sustancias orgánicas propensas a ser oxidadas por procesos químicos en el líquido, suelen aumentarse su valor por la presencia de sulfitos, sulfuros, yoduros, etc.

Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅). Representa la cantidad de oxígeno que requieren las bacterias y otros seres vivos, durante 5 días y a 20°C, para la degradación aerobia de las especies orgánicas contenidas en el agua, esta evaluación es sustancial en aguas crudas (Espinosa, M. *et al.*, 2007); se ha observado que en los lixiviados también participan bacterias anaeróbicas ya que sus valores de OD suele ser muy bajo en su condición inicial. Las variables indicadoras de materia orgánica (DQO, DBO y COT) suelen disminuir según avance la edad del lixiviado lo que indica la reducción de la biodegradabilidad (Torres, P. *et al.*, 2014).

Nitrógeno amoniacal. El amoniaco es una forma no ionizada del nitrógeno presente en aguas crudas, se han reportado valores entre 2180 y 9 mg/L disminuyendo cuando el lixiviado es maduro ya que en los vertederos jóvenes acontece la desaminación de las moléculas orgánicas y es parte de la primera etapa de descomposición, posteriormente sus otras especies del nitrógeno (nitritos y nitratos) aumentan (Torres, P. *et al.*, 2014). Es el producto de la excreción de microorganismos en el proceso de reducir el nitrógeno gaseoso en el agua, es muy perjudicial para la biota ya que pasa con facilidad la membrana celular y es afín a unirse con metales pesados.

Metales pesados. Debido a que no pueden ser degradados estos son estables y continuos en el ambiente, son altamente tóxicos y se desplazan por la cadena trófica; se ha establecido que para un elemento ser considerado un metal pesado su densidad atómica debe ser superior a 4000 kg/m³. Su análisis en las aguas residuales es de importancia científica ya que su llegada a las fuentes de agua superficial impide que estos se purifiquen naturalmente porque interfiere en las actividades metabólicas de los organismos vivos (Saavedra, R., 2019).

Microorganismos en los lixiviados. Las bacterias más frecuentes de encontrar en los lixiviados son los géneros *Bacillus*, *Corynebacterium*, *Streptococcus* y *Acinetobacter*, además de hongos, levaduras y coliformes fecales (Mayorca, N., 2017). Medir esta variable es importante en la fitorremediación ya que presencia de patógenos puede impedir su adaptación de los vegetales.

Tabla 3. Características de los lixiviados según su edad.

Parámetro	Joven	Medio	Maduro
Edad (años)	< 5	5 – 10	> 10
pH	< 6.5	6.5 – 7.5	> 7.5
DQO (mg/L)	5000 - 30000	1000 - 10000	< 1000
DBO ₅ (mg/L)	4000 - 20000	4000 - 800	< 800
DBO ₅ /DQO	> 0.3	0.1 – 0.3	< 0.1
Compuestos orgánicos	80% de ácidos grasos volátiles	5% de ácidos grasos volátiles más ácidos húmicos y fúlvicos	< 5% de ácidos húmicos y fúlvicos
N - amoniacal	2000 - 1000	200 - 1000	< 100
Pb (mg/L)	-	< 0.5	< 2
Cu (mg/L)	-	< 0.5	< 2

Fuente: Torres, P. *et al.* (2014) y Magallón, M. (2007).

2.2.9. Impactos ambientales de los lixiviados

La consecuencia más seria de una mala gestión de los lixiviados sería el arrastre de sus contaminantes hacia las aguas superficiales e infiltración de estos hacia los acuíferos. Es evidente que estos lixiviados pueden transportar compuestos inorgánicos tóxicos y gérmenes patógenos que pueden provocar problemas de salud en los seres humanos y la biota acuática, especialmente en relación con la ingestión de metales pesados (Espinosa, M. *et al.*, 2007).

Debido a su alta carga orgánica este puede acelerar la eutrofización en un cuerpo de agua lentic, por la proliferación acelerada de los organismos (principalmente algas y macrófitas), el descenso del oxígeno disuelto y la producción excesiva de nitrógeno y fosforo.

Adicionalmente existe la Ley federal de la República de Austria, reglamento 263 sobre “Limites de las emisiones de lixiviados de los vertederos de residuos AEV” publicado en 2003, en el cual se especifican múltiples parámetros que se deben regular para reducir la degradación de los cuerpos de agua naturales.

Tabla 4. Riesgos para la salud humana y Criterios de Concentración Máxima recomendados para la vida acuática.

Elemento	Efectos en la salud humana	CMC – vida acuática
As	Cancerígeno, náuseas, vómitos, leucopenia y eritrocitopenia, bradicardia	0.34 mg/L
Ba	Vómitos, diarrea, calambres, anomalías en la presión sanguínea, debilidad muscular	0.0021 mg/L
Cd	Dolor de cabeza, daño hepático renal, pulmonar, óseo y fuerte irritación estomacal	0.0018 mg/L
Pb	Cancerígeno, daño nervioso, debilidad muscular, función motriz disminuida, anemia	0.065 mg/L
Cu	Problemas gastrointestinales, daño hepático y renal	1.3 mg/L
Zn	Molestias estomacales, náuseas, no se conocen los efectos tóxicos a largo plazo	0.12 mg/L
Cr	Cancerígeno, irritación de las mucosas y de la piel, daño hepático, nervioso y renal	0.57 mg/L
Hg	Cancerígeno, daño nervioso, irritabilidad, calambres, vómitos, mareos, taquicardia	0.0014 mg/L

Fuente: Elaboración propia en base a Lagos, L. (2016) y EPA (2013).

2.2.10. Tecnologías de tratamiento de lixiviados

Los lixiviados de rellenos sanitarios son de complejo tratamiento por su variada composición, se han investigado la reducción de carga orgánica y metales pesados con precipitación química, intercambio iónico, filtración por membrana, fotocatalisis, uso de carbón activado, ozonización y otros.

Lagos, L. (2016) sostiene que los métodos tradicionales utilizados para eliminar metales de medios acuosos tienen la desventaja de ser muy costosos por los requisitos químicos y energéticos, por lo tanto se han probado otros métodos más amigables con el medio ambiente, como son la fitoestabilización, la bioadsorción usando residuos orgánicos y la biorremediación con algas y bacterias; estos nuevos métodos son más accesibles económicamente e incluso han demostrado mejores eficiencias en concentraciones bajas del contaminante. La

propuesta de usar subproductos de la agricultura como residuos de café, cascarillas, cortezas, fibras, etc. son viables por su bajo costo y la practicidad de su uso.

Tabla 5. Ventajas y desventajas de algunos tratamientos aplicados en lixiviados.

Procesos	Contaminante	Ventajas	Desventajas
Precipitación química	Metales pesados	Operación simple, poco costoso, alto nivel de eliminación de metales.	Se interfiere por la alta carga orgánica, genera gran cantidad de lodos y no es selectivo.
Ozonización	Carga orgánica	Alta eficiencia, es selectivo y no genera residuos.	Es costoso y de difícil aplicación.
Adsorción	Carga orgánica y metales pesados	Altamente efectivo a muy baja concentración de metal, fácil de operar, la recuperación del metal es posible y el adsorbente puede ser regenerado.	No es selectivo, su eficiencia es dependiente del pH y es necesario eliminar los materiales en suspensión antes del proceso.

Fuente: Elaboración propia.

2.2.11. Plomo (Pb)

Es una sustancia que se halla de manera natural en cantidades reducidas en la corteza terrestre, se emplean compuestos de plomo como pigmentos en pintura, en barnices para cerámica, en materiales para relleno, baterías de almacenamiento de energía, fabricación de municiones, en artículos de pesca, en artículos de maquillaje y la elaboración de juguetes. Dado su alto grado de toxicidad la Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo ha catalogado entre las 20 sustancias más peligrosas para la salud humana.

Es una sustancia ambientalmente abundante, que se encuentra en la atmosfera, el agua y el suelo, de acuerdo con la fuente de agua es posible encontrar plomo en las siguientes concentraciones (Carbotecnia, 2020):

- Agua natural: 0.4 – 0.8 mg/L (aguas situadas en montañas caliza y galena).
- Aguas superficiales: 0.04 – 0.01 mg/L.
- Aguas crudas: 0.04 – 2.0 mg/L.
- Aguas de industrias y de minerías: con superiores a 5.0 mg/L.

2.2.12. Cobre (Cu)

Este elemento es ampliamente usado en la fabricación de cables, piezas de motor y en compuestos químicos agrícolas, tiene alta solubilidad en el agua y su presencia en concentraciones mayores a 1.3 mg/L puede eliminar a los peces y otros organismos benéficos. Tiene tres estados de oxidación y su forma más soluble es Cu^{+2} , mientras que el Cu^{+3} es muy raro y se encuentra en agentes oxidantes fuertes, naturalmente forma parte de la calcosina, calcopirita y malaquita. Tiene la capacidad de ser absorbidos y almacenados en los organismos que son destinados al consumo humano, lo que resulta en acumulación de este elemento en los huesos, músculos y el torrente sanguíneo, aunque es un oligoelemento fundamental en varios procesos biológicos, su exceso provoca graves enfermedades (Vílchez, R., 2005).

III. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Ámbito de ejecución

La investigación se desarrolló en tres ámbitos, en su primer momento se recolectó la borra de café en la cafetería Puro Aroma ubicado en el PP.JJ. Victor Raul, Mz. L, lote 2, Tingo María, después se extrajo la muestra de lixiviado en la Celda Transitoria de Rupa Rupa que se encuentra en el sector Shapajilla, distrito de Luyando y provincia de Leoncio Prado y por último, los análisis y aplicación de los tratamientos fueron realizados en el Laboratorio de Microbiología General, el Laboratorio Central de Investigación y el Laboratorio de Calidad del Agua de la Universidad Nacional Agraria de la Selva.

3.1.1. Localización política

- Región: Huánuco
- Provincia: Leoncio Prado
- Distrito: Rupa Rupa y Luyando

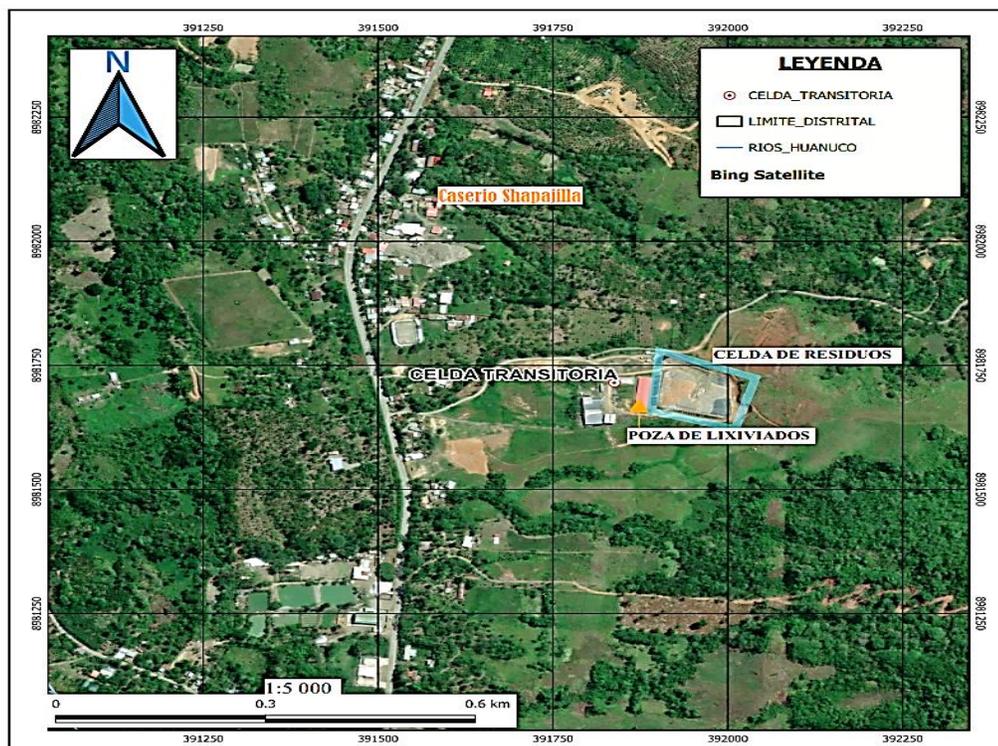


Figura 3. Mapa de ubicación de la Celda Transitoria de Rupa Rupa.

3.1.2. Ubicación geográfica

Seguidamente, se indican las coordenadas UTM WGS84 Zona 18L de los lugares que tuvieron incidencia durante la investigación.

Tabla 6. Lugares donde se desarrolló la investigación.

Lugar	Norte	Este	Altitud
Cafetería Puro Aroma	8972589 m.	390959 m.	785 m s.n.m.
Celda Transitoria de Rupa Rupa	8981610 m.	391600 m.	649 m s.n.m.
Laboratorio de Microbiología General	8970294 m.	390551 m.	668 m s.n.m.
Laboratorio Central de Investigación	8970138 m.	390714 m.	668 m s.n.m.
Laboratorio de Calidad del Agua	8970330 m.	390557 m.	668 m s.n.m.

3.2. Aspectos ambientales

Según la clasificación climática nacional, la provincia de Leoncio Prado tiene un clima cálido-lluvioso con humedad abundante – A(r)A, la temperatura varía entre 19.2°C y 29.4°C siendo los meses más calurosos de mayo a setiembre y los meses de diciembre a marzo son los más pluviosos, presenta alta humedad relativa con un promedio anual de 87% y la precipitación promedio es de 3350 mm por año. Pertenece a la clasificación de las zonas de vida Bosque muy húmedo Premontano Tropical (bmh-PT), según el diagrama bioclimático de Holdridge, además presenta un ecosistema fragmentado y la zoomasa por unidad de superficie es regular y variada. Hidrográficamente pertenece a la cuenca del río Huallaga que cruza las regiones de San Martín, Huánuco, Pasco y Loreto (ANA, 2015).

3.3. Materiales y métodos

3.3.1. Materiales

Para el desarrollo de la investigación se usaron los siguientes materiales: recipientes de porcelana, crisoles, tela, bolsas ziploc, frascos de vidrio x 1 L, vaso precipitado por 1000 mL, matraces por 1 L, caja térmica, cooler por 15 L, filtros cuantitativos N°40 - 41, embudos de vidrio, embudo Buchner, tubos de ensayo, placas de Petri, campanas de Durham, guantes de

látex y de nitrilo, mascarilla, balanza digital, magnetos, varilla de vidrio, pipetas, tamiz de 500 μm , jeringa de 10 mL, pliegos de filtro rápido, vasos de precipitado x 200 mL, hélices de impresión 3D, recipientes herméticos de plástico, frascos de vidrios 200 mL y papel Parafilm.

3.3.2. Equipos

Los equipos de laboratorio que se usaron son: pH-metro digital portátil AD12, Multiparámetro digital portátil, multiparámetro YOKE P717, bombita de succión, fotómetro HANNA HI83314, multiparámetro HANNA HI9829, colorímetro HACH DR900, agitador magnético DLAB MS7-H550, microscopio óptico, estufa, incubador para DBO5 , Turbidímetro HACH TL2300, mufla THERM, unidad de destilación K-355 – BUCHI, Espectrómetro Infrarrojo - Transformada Fourier LUMEX FT-08, Microscopio de Barrido Electrónico PHENOM PROX, Espectro de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente HORIBA y Floculador EFE Clave.

3.3.3. Reactivos

Se utilizó agua estéril para inyección, agua destilada, ácido nítrico – HNO_3 , hidróxido de sodio – NaOH , ácido clorhídrico - HCl , ácido sulfúrico - H_2SO_4 , ácido perclórico – HClO_4 , ácido bórico – H_3BO_3 , viales para DQO rango alto, kit de prueba de nitrato HANNA HI 3874, kit de prueba de nitrito HANNA HI 764-0, kit de prueba de fosfato de HANNA HI 3833, indicador de Tashiro, catalizadores Kjeldahl, caldo peptona al 0.1%, medio Lactosa, Agar Plate Count, caldo Bilis verde brillante al 2%, caldo EC Broth, Agar LES Endo, medio Lauril triptosa, Agar E.M.B y cloruro de sodio – ClNa .

3.4. Criterios de investigación

3.4.1. Tipo de investigación

La investigación es del tipo aplicativo porque se formuló interrogantes e hipótesis de trabajo para resolver problemas en el ámbito productivo social, además que partió de la observación y reflexión para luego aplicar los conocimientos fundamentales para adquirir otros (Hernández, R. *et al.*, 2010).

3.4.2. Nivel de investigación

La investigación es del nivel explicativo porque su objetivo principal es verificar la hipótesis, la generación de información y el descubrimiento de nuevas micro teorías que expongan las relaciones causales de las propiedades de estudio (Hernández, R. *et al.*, 2010).

3.4.3. Enfoque de la investigación

El enfoque de la investigación es cuantitativo ya que se basa en la recolección de datos y su análisis para contestar a su pregunta de investigación, radica en la medición de variables expresadas en una magnitud e instrumentos de investigación con el empleo de la estadística y la prueba de hipótesis.

3.4.4. Método de investigación

El método de investigación es del tipo lógico según Hernández, R. (2010), ya que se basó en métodos y procedimientos validados para ejecutar deducciones, el análisis y síntesis.

3.4.5. Diseño de la investigación

El diseño de investigación es del tipo experimental según Hernández, R. (2010), ya que se agregó un estímulo que es la borra de café y se observó el efecto en las concentraciones de los metales. Su diagrama es de la siguiente manera:

G0	0 ₁	-	0 ₂
G1	0 ₁	X ₁	0 ₃
G2	0 ₁	X ₂	0 ₄
G3	0 ₁	X ₃	0 ₅
G4	0 ₁	X ₄	0 ₆

3.4.6. Operacionalización de variables

Variables independientes (V_x): Borra de café modificados.

Variables dependientes (V_y): Remoción de cobre (Cu) y plomo (Pb).

VARIABLES INTERVINIENTES (Vi): Tiempo de contacto, concentración inicial de Cu y Pb, pH de la solución, dosis de bioadsorbente.

Tabla 7. Operacionalización de las variables de investigación.

Variable	Dimensiones	Definición Operacional	Indicadores
X1: Borra de café modificadas	Dx1: lavado neutral	Se refiere al lavado de la borra de café con agua estéril – H ₂ O.	Parámetros fisicoquímicos
	Dx2: lavado básico	Se refiere al lavado de la borra de café con NaOH al 0.01 M.	
	Dx3: lavado ácido	Se refiere al lavado de la borra de café con HNO ₃ al 0.01 M.	Análisis FTIR
	Dx4: proceso térmico	Se refiere a la calcinación de la borra de café a 650°C	Observación en BEM
Y: Remoción de cobre y plomo	Dy1: Cantidad de Cu y Pb removido de la solución	Diferencia de la concentración inicial y final de Cu y Pb en la solución.	mg/L
	Dy2: Cantidad de Cu y Pb adsorbidos en la borra de café	Cantidad de Cu y Pb en las borras de café modificadas.	mg [metal]/g de BC

3.4.7. Diseño experimental

El diseño estuvo constituido por un grupo de control con 5 repeticiones y 20 experimentos obtenidos por 4 tratamientos con 5 repeticiones y un total de 50 unidades de análisis conformadas por 1 muestra inicial de lixiviado, 25 muestras de lixiviado remanente, 4 muestras iniciales de borra de café modificadas y 20 muestras de borra de café luego del proceso de adsorción.

Codificación de los tratamientos – TXY:

X = Tipo de tratamiento (0: agitación sin BC, 1: BC - lavado neutral, 2: BC - lavado básico, 3: BC - lavado ácido y 4: BC - proceso térmico.

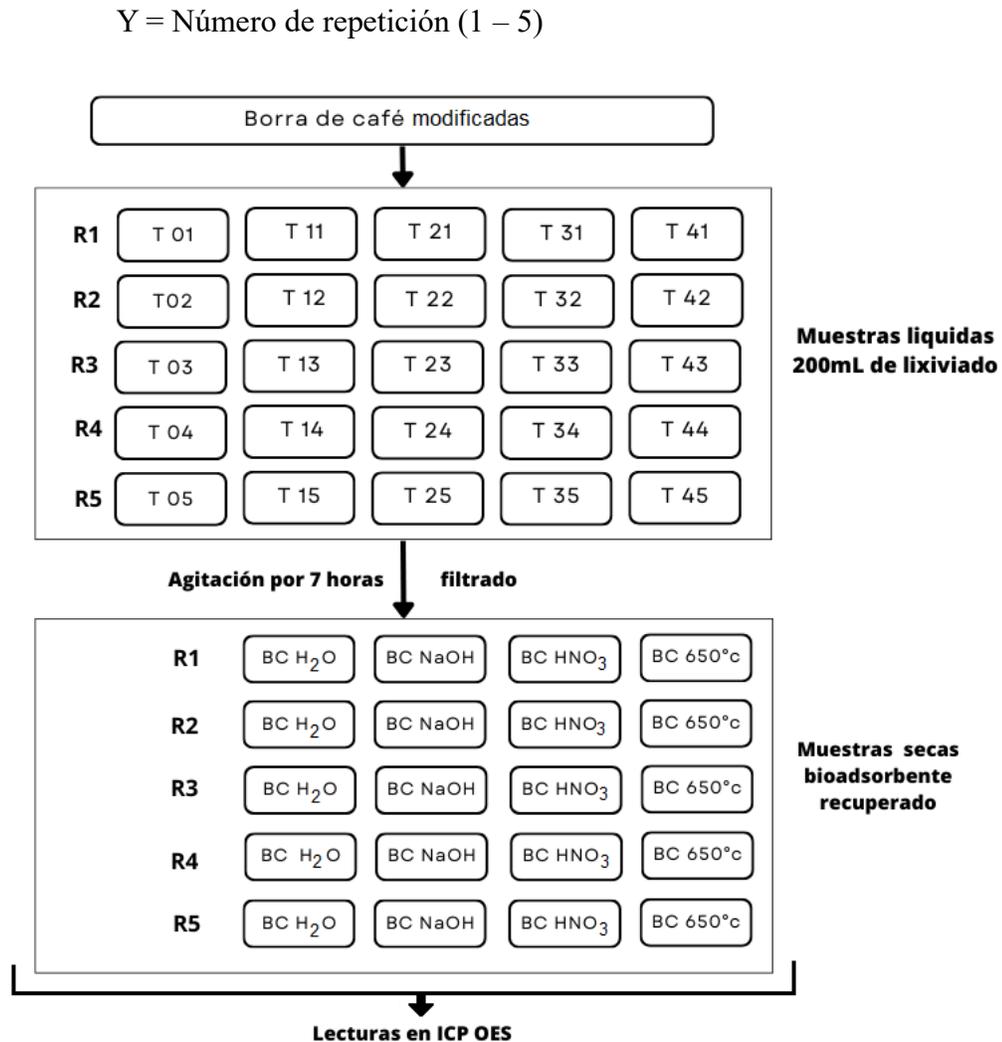


Figura 4. Esquemización del diseño experimental.

La unidad muestral corresponde a 25 mL de lixiviado y 0.5 g de borra de café para los procesamientos de cuantificación de metales.

3.5. Metodología

A continuación, se detallan los procedimientos secuenciales durante la investigación.

3.5.1. Recolección de las muestras

Se recolectó la muestra de lixiviado (7 L) utilizando el método de muestreo compuesto, ya que se tomó 4 L del líquido en tres puntos de la poza de lixiviados (1: sección inicial,

2: sección intermedia, 3: sección final) haciendo un total de 12 L que fueron agitados durante un minuto antes de ser dispuestos en frascos de vidrio con tapa hermética y fueron transportados hacia el Laboratorio de Microbiología General dentro de un cooler. El muestreo corresponde a la época de estiaje y fue realizado en el mes de agosto.

La muestra de borra de café fue recolectada de la cafetería Puro Aroma, se usó 5 bolsas ziploc de 1500 g con cierre hermético.

3.5.2. Modificaciones de la borra de café

Se pesó cada bolsa con residuos de café y se tomó solo uno para realizar los lavados, en un primer momento se realizó siete lavados con agua destilada para disminuir la tinción del café (Chacaltana, G., 2018), para este procedimiento nos apoyamos de un recipiente de porcelana de 2 L y un recipiente de acrílico al cual le poníamos un corte de tela para filtrar, luego se puso a secar en la estufa a 45°C durante 24 horas.

Se separó la borra de café en tres porciones, uno de ellos se lavó con H₂O (agua estéril de inyección), el otro se lavó con NaOH y el último se lavó con HNO₃.

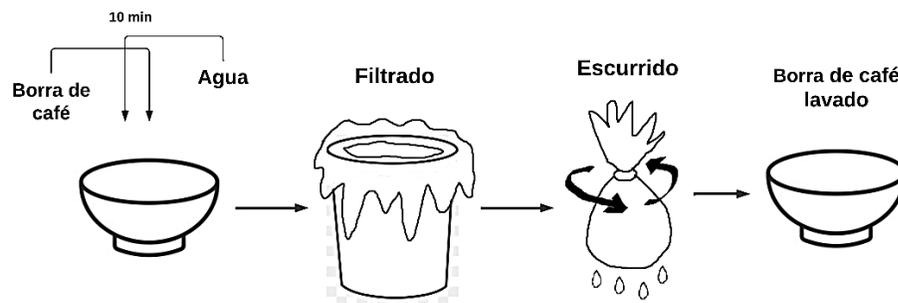


Figura 5. Sistema de lavados previos.

Siguiendo el procedimiento descrito por Chacaltana (2018) se realizó tres lavados con agua estéril de inyección, usando 3 L en total y en agitación durante 30 minutos para luego dejar secar en la estufa a 45°C durante 24 horas.

Siguiendo los procedimientos descritos por Lagos, L. (2016), se preparó 4 L de NaOH al 0.01 M y se lavó la BC cinco veces usando 600 mL de la solución, para eso se puso en

agitación magnética a 40°C y 400 rpm durante 30 minutos, finalmente se dejó secar por 2 horas a 105°C y se volvió a pesar. De la misma forma se procedió para los lavados con HNO₃ al 0.01 M.

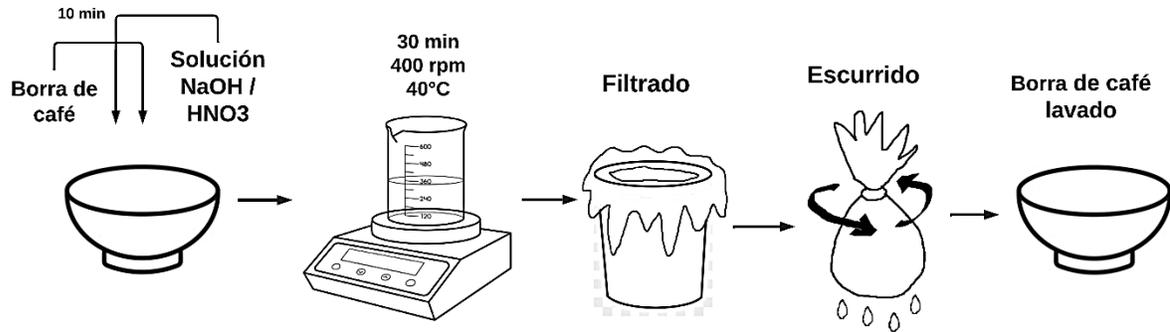


Figura 6. Sistema de lavado básico (NaOH) y ácido (HNO₃).

El resto de la BC recolectado se puso en recipientes de porcelana resistentes al calor para ser introducidos en la mufla durante 2 horas a 650°C (Carvajal, E. 2019).

Una vez terminado las modificaciones de la BC se pasó cada uno por tamices de 600, 500 y 250 µm, las partículas que pasaron cada tamiz fueron pesados.

3.5.3. Caracterización de la borra de café

En cada modificación de la borra de café se midió pH, temperatura, Conductividad Eléctrica, Total de Sólidos Disueltos y Potencial Oxido Reducción.

Se separó 1 g de cada pretratamiento para los siguientes análisis:

A. Determinación de los sitios activos en la borra de café

Se realizó mediante el Espectrómetro Infrarrojo – Transformada de Fourier LUMEX FT-08, en el cual se identificó los grupos funcionales existentes en la borra de café modificadas antes y después de la adsorción para reconocer que sitios activos participan en el acomplejamiento con el metal y de esta forma estudiar su química superficial.

B. Observaciones microscópicas de la borra de café

Se realizó la observación con el Microscopio de Barrido Electrónico PHENOM PROX antes del proceso de adsorción para analizar la forma de su superficie y sus poros según las modificaciones de la borra de café.

Tabla 8. Resumen de las modificaciones en la borra de café.

Modificación	Solución / proceso	Descripción	Denominación
Lavado neutral	Agua estéril de inyección	Tres lavados con agitación magnética	BC – H ₂ O
Lavado básico	Solución de NaOH al 0.01M	Cinco lavados con agitación magnética	BC - NaOH
Lavado ácido	Solución de HNO ₃ al 0.01M	Cinco lavados con agitación magnética	BC – HNO ₃
Proceso térmico	Pirolisis a 650°C	En mufla durante 2 horas	BC – 650°C

3.5.4. Determinación de las características fisicoquímicas y microbiológicas del lixiviado

3.5.4.1. Temperatura

Se realizó mediante el termómetro digital, se introdujo el termómetro en la sustancia hasta que se alcance el equilibrio térmico. Este dispositivo calcula indirectamente el valor de temperatura, midiendo el cambio proporcional de alguna propiedad de un constituyente del mismo termómetro (Losada, J., 2009).

3.5.4.2. Total de Sólidos Disueltos (TDS)

Se realizó mediante un medidor digital de TDS, se introdujo en la muestra de agua y se registró cuando el valor sea estable por al menos un minuto, este dispositivo mide las sales inorgánicas comunes presentes en el agua como calcio, magnesio, potasio y sodio, entre otros minerales.

3.5.4.3. Sólidos Totales en Suspensión (SST)

Se acondicionó la bomba de vacío a un matraz de Buchner y un embudo Buchner, al mismo momento se puso a secar a 105°C por una hora tres papeles filtro Watman N°41, luego se puso en el desecador, para después registrar su peso antes del uso. Posteriormente se filtró 50 mL de lixiviado y el filtrado se dispuso en una placa Petri previamente pesado y se dejó secar a 105°C por dos horas, finalmente se llevó al desecador durante 15 minutos para luego volver a pesar (APHA-AWWA-WEF, 2017).

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$SST \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B) * 1000}{volumen \ de \ muestra \ (mL)} \quad (2)$$

A = peso del filtro + residuo seco

B = peso del filtro

3.5.4.4. Sólidos totales volátiles (SVT)

El residuo obtenido del método anterior se introdujo en una mufla a 550°C durante 30 minutos, usando crisoles previamente pesados, luego se apagó la mufla y se esperó 20 minutos antes de retirar los crisoles y colocarlos en el desecador durante 15 minutos, posteriormente se registró sus pesos (APHA-AWWA-WEF, 2017).

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$SVT \left(\frac{mg}{L} \right) = \frac{(A-B) * 1000}{volumen \ de \ muestra \ (mL)} \quad (3)$$

A = peso de residuo inicial + peso del crisol inicial

B = peso de residuo + peso del crisol después de la incineración

3.5.4.5. Conductividad eléctrica

Se realizó usando un multiparámetro digital, se puso 100 mL de la muestra de lixiviado en un vaso de precipitado, luego se sumergió el sensor de conductividad y se esperó que el valor se estabilizara para tomar apunte.

3.5.4.6. Potencial de hidrogeno (pH)

La medición del pH se realizó in situ con pH-metro digital ADWA código AD12 que tiene un rango de 0 a 14, antes se verifico que el equipo este correctamente calibrado y se midió directamente del frasco de recolección de muestras.

3.5.4.7. Salinidad

Se realizó con el multiparámetro digital HANNA HI9829, donde se miden el contenido de sal disuelta en el agua, mayormente cloruro de sodio, este parámetro está relacionado con la conductividad eléctrica.

3.5.4.8. Turbidez

Se utilizó el Turbidímetro HACH TL-2300, que es un medidor portátil con una gran pantalla, para mayor precisión es posible elegir entre dos rangos automáticos y sus valores están entre 0 a 1000 NTU.

3.5.4.9. Potencial de Reducción-Oxidación (ORP)

Se midió usando un multiparámetro portátil digital, el electrodo se sumergió en el vaso de precipitado que contiene 100 mL de muestra de lixiviado, se esperó 10 minutos para que el valor se estabilizara y luego se registró (HACH, 2000).

3.5.4.10. Oxígeno disuelto

Se utilizó el multiparámetro HANNA HI9829, además del procedimiento indicado en el Manual de Métodos Normalizados para el análisis de agua y aguas residuales (APHA-AWWA-WEF, 2017). Se agitó suavemente la muestra para homogenizarlo y se sumergió los sensores de oxígeno disuelto y temperatura, se esperó la estabilización de los valores para luego tomar lectura.

3.5.4.11. Demanda Bioquímica de Oxígeno (DBO₅)

Se realizó según el Manual de Métodos Normalizados para el análisis de agua y aguas residuales (APHA-AWWA-WEF, 2017) del ítem 5210B. Se siguió el

método de dilución por tratarse de un agua residual proveniente de la degradación de residuos sólidos, en el primer momento se midió el oxígeno disuelto de la muestra de lixiviado, después se enrasó tres botellas ámbar con agua destilada que previamente se agitó por 10 minutos (agua de dilución) y se midió su oxígeno disuelto, posteriormente se preparó la muestra diluida usando 300 mL del agua de dilución y 3 mL del lixiviado procurando no generar burbujas en ninguna actividad, a continuación, se llevaron a incubar por un periodo de 5 días a temperatura de 20°C, al finalizar los 5 días se realizó la medición del oxígeno disuelto en todos los frascos con el multiparámetro digital.

Se calculó con la siguiente ecuación:

$$DBO_5 \left(\frac{mg}{L} \right) = \left(\frac{Vb}{Vm} \right) * (OD_{AD} - OD_5) - (OD_{AD} - OD_m) \quad (4)$$

OD_{AD} = Oxígeno disuelto inicial del agua de dilución en mg/L

OD_5 = Oxígeno disuelto final en mg/L, 5^{to} día

OD_m = Oxígeno disuelto inicial en la muestra en mg/L

Vb = Volumen total en el recipiente

Vm = Volumen de muestra

3.5.4.12. Demanda Química de Oxígeno (DQO)

Se realizó siguiendo el procedimiento descrito en el Manual de Análisis de Agua HACH (2000). Se agitó por unos minutos 100 mL de muestra, mientras se puso a precalentar a 150°C el reactor de DQO, se abrió el reactivo de alto rango y manteniendo un ángulo de 45° se agregó 2 mL de muestra, después se enjuagó el exterior con agua destilada y se secó con papel tisú, se agito suavemente varias veces y se puso en el reactor junto con un blanco preparado con agua desionizada durante 2 horas. Posteriormente se esperó 20 minutos para que enfriase y se agito los tubos mientras estén aun calientes, en el colorímetro se introdujo la clave para medición de DQO de alto rango, primero se midió el blanco previamente limpiado su exterior con papel tisú se presionó ZERO y se procedió a medir la muestra con la tecla READ previamente limpio su exterior.

3.5.4.13. Nitratos

Se realizó usando el kit de prueba de nitrato HANNA HI 3874 con la metodología descrita en el Manual de Análisis de Agua HACH (2000), para eso se llenó el tubo de cristal con 2.5 mL de muestra y 22.5 mL de agua desionizada luego se vertió el contenido del kit de prueba y se agitó continuamente durante 1 minuto, después se puso en el colorímetro donde se presionó SHIFT TIME para controlar un periodo de reacción de 5 minutos, luego el colorímetro pide que insertes el blanco y posteriormente se hizo la lectura de la muestra, al valor obtenido se le multiplico por el factor de dilución para obtener la cantidad de nitrógeno de nitrato en mg/L.

3.5.4.14. Nitritos

Se realizó usando el kit de prueba de nitrito HANNA HI 764-0 con la metodología descrita en Manual de Análisis de Agua HACH (2000), para eso se llenó el tubo de cristal con 1 mL de muestra y 9 mL de agua desionizada, luego se vertió el contenido del kit de prueba y se agitó continuamente durante 1 minuto, después se puso en el colorímetro donde se presionó SHIFT TIME para controlar un periodo de reacción de 2° minutos, luego se hizo la lectura del blanco presionando la tecla ZERO y posteriormente se hizo la lectura de la muestra, al valor obtenido se le multiplico por el factor de dilución para obtener la cantidad de nitrito.

3.5.4.15. Nitrógeno total

Se realizó con el método de Kjeldahl y siguiendo los procedimientos explicados en el Manual de Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA-AWWA-WEF, 2017). Primero se seleccionó el volumen de muestra a utilizar que fue 2 mL, neutralizamos a pH 7 con NaOH 6N, luego se diluyó a 100 mL donde se adicionó 50 mL de reactivo para digestión y unas cuentas de vidrio. Posteriormente se realizó la digestión en un matraz de destilación durante 2 horas, al finalizar se dejó enfriar durante 20 minutos y su contenido se diluyo a 300 mL al cual se añadió 50 mL de reactivo tiosulfato sódico para formar una capa alcalina en el fondo del matraz. A continuación, se puso 100 mL de ácido bórico indicador, una gota de indicador TKN.y 1 mL de KOH en un vaso de precipitado y se destilo con 50 mL y 70 mL de NaOH al 30% hasta que aparezca el color azul permanente, luego se tituló con ácido sulfúrico al 0.1 N hasta conseguir el color rojo pardo similar al color del ácido bórico.

3.5.4.16. Fosfatos

Se determinó utilizando el kit de prueba para fosfato HANNA HI 3833, siguiendo la metodología descrita en el Manual de Análisis de Agua HACH (2000). Se realizó la dilución de la muestra 1/10 y se usó una celda de muestra de 10 mL al cual se agregó el reactivo contenido en el kit de prueba, luego en el colorímetro se presionó SHIFT TIME para controlar los 10 minutos de reacción, posteriormente se realizó las lecturas, primero el blanco, realizado con agua desionizada, con la tecla ZERO y después se corrió la lectura de la muestra. El valor obtenido fue multiplicado por el factor de dilución para conseguir la cantidad de fosfatos (PO_4^{3-}) en mg/L.

Tabla 9. Resumen de los parámetros fisicoquímicos determinados en el lixiviado.

Parámetro	Unidad	Método
Temperatura	°C	pH-metro ADWA, code AD12
TDS	mg/L	Multiparámetro YOKE P717
SST	mg/L	Método gravimétrico
SVT	mg/L	Método gravimétrico
Conductividad Eléctrica	mS/cm	Multiparámetro YOKE P717
pH	–	pH-metro ADWA, code AD12
Salinidad	PSU	Multiparámetro HANNA HI9829
Turbidez	NTU	Turbidímetro HACH TL2300
ORP	mV	Multiparámetro YOKE P717
Oxígeno Disuelto	mg/L	Multiparámetro HANNA HI9829
DBO5	mg/L	Multiparámetro HANNA HI9829, incubación
DQO	mg/L	Fotómetro HANNA HI83314
Nitratos	mg/L	Colorímetro DR900
Nitritos	mg/L	Colorímetro DR900
Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	Método Kjeldahl
Fosfatos	mg/L	Colorímetro Fosfato HANNA

Fuente: Elaboración propia.

3.5.4.17. Determinación de Coliformes totales

Se realizó siguiendo los procedimientos detallados en el Manual de Métodos Normalizados para el análisis de aguas potables y residuales (APHA-AWWA-WEF, 2017). La técnica usada fue de fermentación en tubo múltiples.

Fase presuntiva. En un matraz con caldo peptona (90 mL) se agregó 10 mL de la muestra de lixiviado y se agitó durante un minuto, luego se transfirió 1 mL de esta solución en tres tubos de ensayo con medio lactosa (9 mL) y se dejó incubar a $35 \pm 0,5$ °C durante 24 ± 2 horas. Posteriormente se agito suavemente y se observó si se produce gas o un crecimiento ácido (color amarillo).

Medio Lactosa: Extracto de buey	3,0 g
Peptona	5,0 g
Lactosa	5,0 g
Agua destilada	1 L

Fase confirmatoria. Se preparó el medio verde brillante lactosa bilis y se esterilizó a 120°C, luego se transfirió 10 mL en 9 tubos de ensayo y se reservó hasta que tomen temperatura ambiente, los tubos de la fase anterior se agitaron para que se produzca una suspensión de los microorganismos, de este preparado se sembró un inóculo de 0.1 mL, 0.01 mL y 0.001 mL en los tubos con medio verde brillante por triplicado y se les sumergió una campana de Durham, después se cerraron herméticamente y se incubo a $35 \pm 0,5$ °C durante 48 ± 3 horas. La generación de cualquier cantidad de gas en el vial invertido en el medio de fermentación verde brillante de lactosa bilis establece un resultado positivo en la fase confirmatoria. Se calculó el valor del NMP según el número de tubos positivos con la tabla del Protocolo de Practicas en microbiología (López, 2004).

Medio verde brillante lactosa bilis:

Peptona	10,0 g
Lactosa	10,0 g
Oxgall	20,0 g
Verde brillante	0,016 g
Agua destilada	1 L

Se realizó el cálculo con la siguiente formula:

$$\frac{NMP}{100 \text{ mL}} = \text{valor del NMP (tabla)} * \frac{10}{V} \quad (5)$$

V = Volumen de la porción de muestra en la dilución más baja

Fase completada. Se preparó una placa con Agar LES Endo por cada tubo positivo en el cual se sembró por estría simple y se incubo las placas invertidas a 35°C durante 24 horas. Después se identifica las colonias de coloración rojo oscuro, rosas o blancas con brillo metálico, para cada placa se preparó un tubo con 10 mL de medio lauril triptosa a las cuales se sembró una muestra de cada colonia por agitación y se introdujo campanas Durham, se llevó a incubar a 35°C durante 24 horas y se comprueba cuales salieron positivas para ajustar los resultados.

3.5.4.18. Coliformes Termotolerantes (*Escherichia coli*)

Se realizó a partir de los tubos de análisis de la prueba de confirmación de Coliformes totales.

Fase confirmatoria. Se preparó tubos de ensayo con medio EC Broth (9 mL) y se sembró una asada de cada tubo positivo con medio verde brillante por triplicado. Se incubo los tubos con medio EC a 44,5 ± 0,2 °C durante 24 ± 2 horas. Si se observa producción de gas con las campanas Durham se consideraron positivos y se realizó el cálculo con la siguiente formula.

$$\frac{NMP}{100 \text{ mL}} = \text{valor del NMP (tabla)} * \frac{10}{V} \quad (6)$$

V = Volumen de la porción de muestra en la dilución más baja

Fase completada. Los tubos positivos se sembraron en agar EMB y se incubaron a 37°C por 24 ± 2 horas, las colonias que tienen brillo metálico se repicaron en medios IMViC y TSI. Si los resultados fueron RM+, VP-, Citrato de Simmons – y TSI A/A + H₂S es *Escherichia coli* (APHA-AWWA-WEF, 2017).

3.5.5. Comparación de los parámetros del lixiviado con la normativa

Para la identificación de los parámetros que tengan valores que puedan causar contaminación en los cuerpos de agua superficiales, se usó como referencia la propuesta a Decreto Supremo “Límites máximos permisibles (LMP) de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos” elaborado en 2009 a raíz de la Resolución Ministerial N° 121-2009-MINAM. Además, se expone la Ley federal de la República de Austria, reglamento 263 sobre “Limites de las emisiones de lixiviados de los vertederos de residuos AEV” publicado en 2003.

Tabla 10. Límites Máximos Permisibles y Límites de Emisión para la descarga de lixiviados.

Parámetros	Unidad	LMP - MINAM	LE – regl. 263
pH		6.5 – 8.5	6.5 – 8.5
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	30	20
Orgánicos			
DQO	mg/L	120	300
DBO ₅	mg/L	20	10
Hidrocarburos Totales de Petróleo	mg/L	10	5
Inorgánicos			
Amonio (como N)	mg/L	10	10
Nitrito	mg/L	-	2
Nitrógeno Total	mg/L	-	50
Arsénico total	mg/L	0.1	0.1
Cadmio total	mg/L	0.1	0.1
Cobre total	mg/L	0.5	0.5
Cromo VI	mg/L	0.1	0.5
Hierro total	mg/L	2	-
Mercurio total	mg/L	0.01	0.01
Plomo total	mg/L	0.5	0.5
Zinc total	mg/L	0.5	0.5
Biológico			
Coliformes totales	NMP/100mL	1000	-

3.5.6. Determinación de las concentraciones de cobre y plomo antes y después del proceso de adsorción

La concentración de Cu y Pb en solución fueron determinadas por el Espectro de Emisión Óptica con Plasma Acoplado Inductivamente. En este método se determina trazas de elementos en muestras líquidas y sólidas que previamente son digeridas; en la técnica se produce un aerosol mediante la inyección de la muestra líquida y un sistema de nebulización, este aerosol es transportado por el argón hacia la antorcha del plasma que está acoplado inductivamente por radiofrecuencia. En el plasma se suministra energía a la muestra conduciéndole a estados energéticos superiores. Posteriormente la muestra tiende a regresar a su estado fundamental expresando energía en forma de radiaciones electromagnéticas con longitudes de onda características del elemento presente, lo que resulta en la formación de espectros de emisión atómica con líneas particulares, estos espectros son esparcidos por la red de difracción y el detector sensible a la luz se encarga de medir sus intensidades (Horiba Scientific, s.f.). Los valores de pH utilizados con los estándares fueron de 4 y 5, para el Pb y Cu respectivamente.

Preservación de muestras. Las muestras líquidas se conservaron agregando HNO_3 al 90% hasta $\text{pH} < 2$ y se refrigeraron (DIGESA, 2007).

Digestión de muestras. En matraces de 200 mL se agregó 25 mL de las muestras líquidas o 0.5 g de las muestras sólidas, seguidamente se añadió 15 mL de HNO_3 concentrado o 15 mL de $\text{HNO}_3:\text{HClO}_4$ (4:1) respectivamente, se colocaron embudos de vidrio en los matraces y se digirieron a 120°C durante dos horas aproximadamente, hasta que terminen de emitir vapor blanco y el líquido se muestre translucido. Después se filtró la muestra realizando lavados al matraz con agua destilada hasta llegar a obtener 25 mL de muestra en las fioles (APHA-AWWA-WEF, 2017), luego se conservaron en frascos de polietileno de alta densidad hasta el día de las lecturas.

Cálculo de concentración del metal. El equipo realiza tres lecturas automáticas de cada muestra y el valor promedio se muestra en la tabulación del monitor, esos valores se multiplicaron por el factor de dilución para conseguir la concentración del metal en mg/L o mg/Kg (APHA-AWWA-WEF, 2017).

3.5.6.1. Optimización del proceso de bioadsorción

Por cada unidad experimental el sistema ocupó de 200 mL de lixiviado y 1 g de biosorbente, antes se ajustó el pH a 5 ± 0.10 con solución de HNO_3 al 10%, luego se mantuvo en agitación durante 7 horas en un floculador a 180 rpm, después se pasó por papel filtro Watman N°40 y el lixiviado remanente se conservó; para recuperar el biosorbente se secó el filtro en una estufa a 65°C durante 16 horas, seguido de 30 minutos en el desecador y se pesaron.

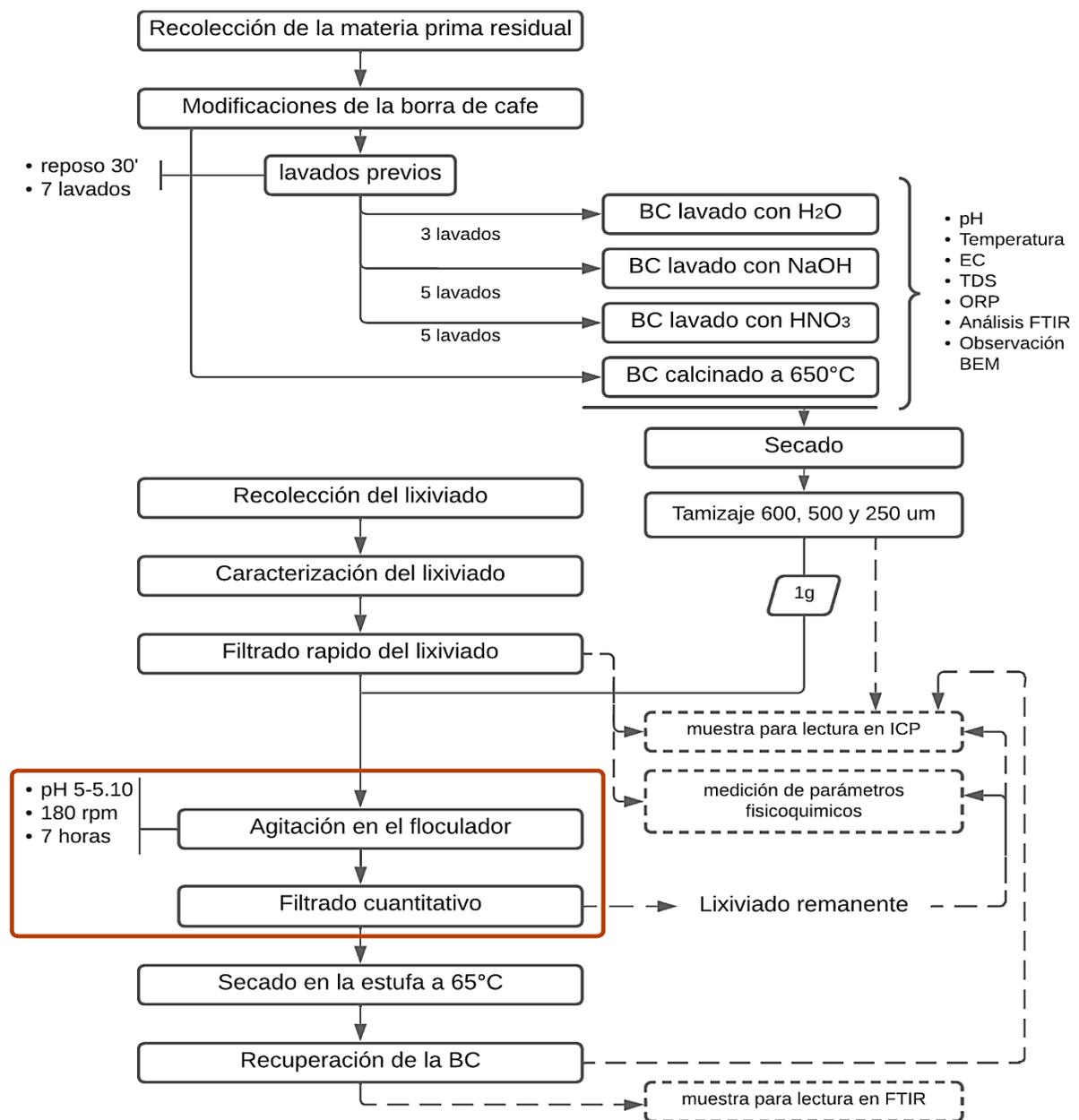


Figura 7. Diagrama general de las actividades de la investigación.

3.5.7. Eficiencias y capacidad de adsorción de la borra de café

La eficiencia de remoción de metales en el lixiviado se calculó mediante una analogía porcentual que muestra la variación de la concentración inicial y final de estos.

$$\text{Eficiencia de remoción (\%)} = \frac{C_o - C_e}{C_o} * 100 \quad (7)$$

C_o = Concentración inicial de Cu y Pb (mg/L)

C_e = Concentración final de Cu y Pb (mg/L)

Basado en los resultados de concentración de metales, el volumen de solución y la cantidad de bioadsorbente, se realizó el siguiente balance de masas como lo explica Cardona, A. *et al.* (2017) para conocer la adsorción en la borra de café.

$$q_e \left(\frac{\text{mg de } X}{\text{g de BC}} \right) = \frac{V * (C_i - C_f)}{m} \quad (8)$$

C_i = Concentración inicial de Cu y Pb (mg/L)

C_f = Concentración final de Cu y Pb (mg/L)

V = Volumen de la solución (L)

m = Masa de BC usado (g)

3.5.8. Análisis estadístico

Se inicio realizando el análisis de las varianzas con la prueba de Shapiro-Wilk para determinar la normalidad de los datos, seguido de la prueba de Levene para la homocedasticidad. También se realizó la prueba de Wilcoxon para determinar las significancias de remoción con el valor inicial, en cuanto al análisis de los tratamientos se realizó la prueba de Tukey y se finalizó con el Análisis de varianza de dos vías por rango de Friedman.

IV. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Características morfológicas y composición química superficial de la borra de café

En la figura 8 se detallan la granulometría de las partículas de la borra de café, se puede observar que existe mayor cantidad de partículas entre 500 – 250 μm para las BC con lavado neutral y ácido mientras que la BC con lavado básico tiene mayor porcentaje de partículas entre 500 -600 μm .

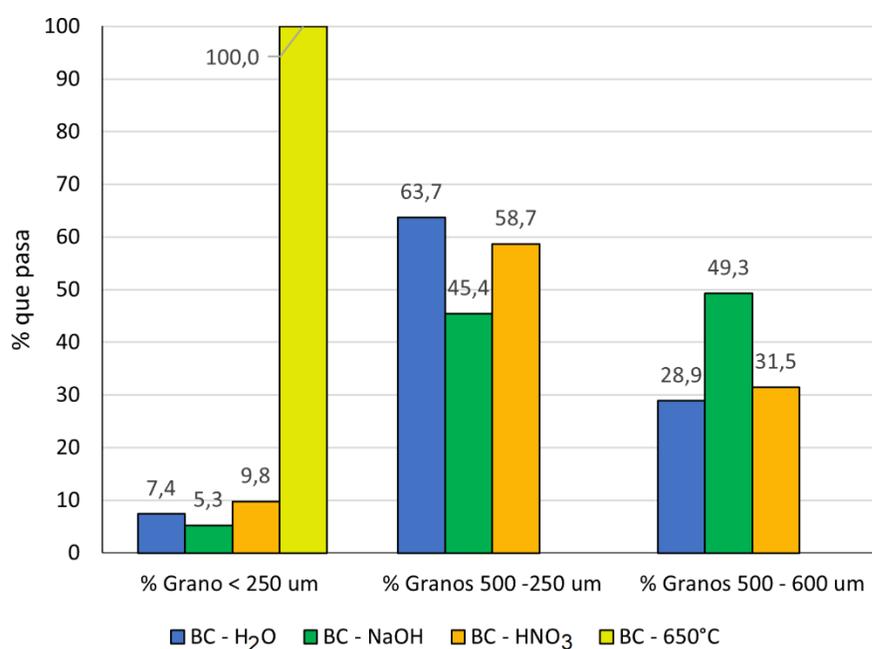


Figura 8. Granulometría de la borra de café.

Según Gutiérrez, M. y Cerón, D. (2020) la granulometría de la BC puede variar con la temperatura de secado, manifiesta que la BC secado a 60°C alcanza el tamaño de partícula menor a 315 μm , mientras que el secado a 105°C logra partículas entre 525 – 475 μm . Coincide con los resultados de la investigación ya que tenemos el más alto porcentaje de partículas entre 500 – 250 μm para la BC con lavado neutral (63.7%), el cual fue secado a 45°C durante 24 horas. Muy por el contrario, Rubio, N., *et al.* (2023) encontró que la mayor parte de las partículas de la BC lavado con agua desionizada y secado a 60°C durante 24 horas tienen más de 500 μm de tamaño (63.2%), pero utilizó los granos inferiores a 250 μm para los experimentos, tendencia que no seguimos ya

que la finalidad es usar la mayor parte del material bioadsorbente tal y como se plantearon otros autores (Chaouki *et al.*, 2021, Gnu Nam *et al.*, 2017 y Chacaltana, 2018).

Lagos, L. (2016) evaluó el rendimiento de la BC modificada con medio básico (NaOH) diferenciando la granulometría y obtuvo el menor valor en las partículas inferiores a 355 μm con 37.84%. Este resultado coincide con los bajos reportes de la BC con lavado básico en partículas menores a 500 μm , se deduce que se han perdido más partículas < 250 μm porque son hidrosolubles y se pierden al momento de desechar el líquido flotante en la decantación.

En la tabla 11 se muestra los parámetros físicos y químicos evaluados en la BC antes del proceso de adsorción, se observa que el pH incrementó considerablemente en la BC con lavado neutral, seguido de la BC con lavado básico y por su parte la BC con proceso térmico alcanzó un pH alcalino (9.66), mientras que lo contrario sucedió en la BC con lavado ácido (4.86). Los valores de conductividad eléctrica y sólidos totales disueltos disminuyeron con las modificaciones, los valores más bajos son de la BC-H₂O con 193.2 $\mu\text{S/cm}$ y 96.7 mg/L respectivamente. El potencial de oxidación y reducción decreció notablemente hasta alcanzar valores negativos lo que indica que hubo una reducción, por lo tanto, mayor presencia de aniones en la superficie de las partículas.

Tabla 11. Parámetros físicos y químicos de la borra de café después de las modificaciones.

Parámetros	BC inicial	BC-H ₂ O	BC-NaOH	BC-HNO ₃	BC-650°C
pH	5,13	6,98	7,27	4,86	9,66
Temperatura (°C)	26,7	28,2	29,6	29,8	29,2
Conductividad E. ($\mu\text{S/cm}$)	2330	193,2	446	498	621
TDS (mg/L)	1180	96,7	223	249	310
ORP (mV)	176	112	-57	-132	-160

Según García, J. *et al.* (2019) el pH en el producto terminado del café indica su calidad y sabor, determinó pH de 4.97 y 5.24 en muestras de café soluble de alto precio y precio regular respectivamente, complementando este dato Valencia *et al.* (2015) manifiesta que está relacionado con la maduración del fruto y el tostado, ya que un buen tiempo de tostado permite la liberación del ácido fórmico acético y glicólico provocando la disminución del pH, pero más tiempo en este tratamiento incrementa el pH por la destrucción de los ácidos formados aportando un sabor muy

amargo. En este trabajo de investigación el pH de la BC inicial (5.13) coincide con los autores, además se infiere que el pH alcalino de la BC sometido a proceso térmico es porque perdió ácidos, grasas y algunas proteínas.

Ferraz, F. y Yuan, Q. (2020) mencionan que la medida del potencial de oxidación y reducción está relacionada con la energía eléctrica, ya que cuantifica la cantidad de electrones que fluyen por la disolución y que un valor negativo indica que el poder reductor es más fuerte que el oxidante, además Gutiérrez y Cerón (2020) hacen referencia que la activación con solución básica incrementa los grupos carboxílicos. En la investigación coincide con los valores negativos obtenidos después de las modificaciones y particularmente en la BC – 650°C se ganaron más enlaces OH, C=O y C-O.

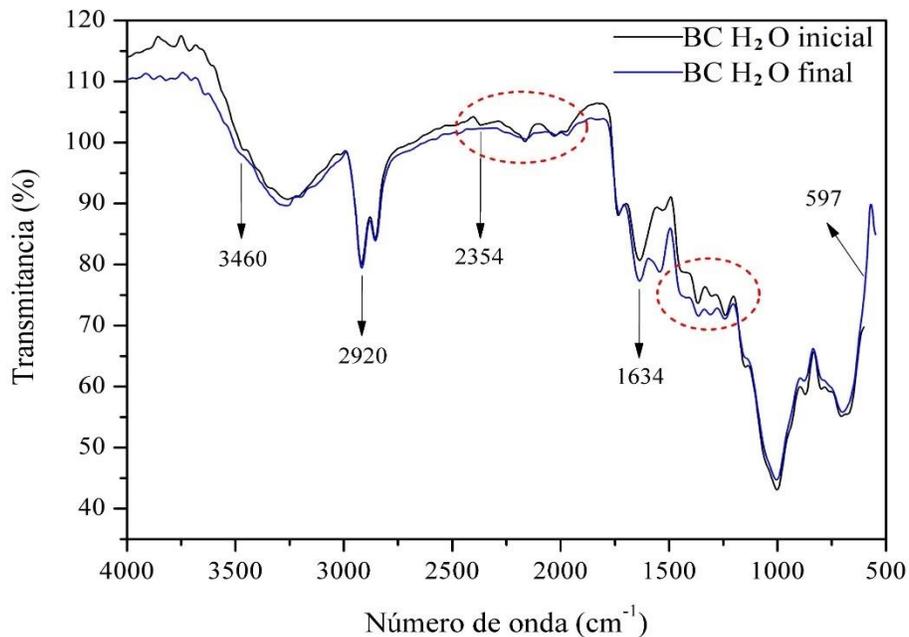


Figura 9. Espectros FTIR de la BC con lavado neutral.

En la figura 9 se presenta los espectros FTIR de la BC con lavado neutral (BC-H₂O) antes y después del ensayo de adsorción, se observa la presencia de grupos aminos (-N-H), ácidos carboxílicos (-H y -C-O), grupos hidroxilos (-O-H), grupo alcanos (-C-H), acetatos (C-C(O)-C), ésteres (-C=O), cetonas, grupos aromáticos (-C=C y -C-H), cloruros de ácidos (-C-Cl), grupos alcoholes (-O-H y -C-C), amidas (-N-H, -C=O), aldehídos (-C-H), grupos alquenos (-C-H y -C=C),

haluros de alquilo (R-X) y grupos nitrogenados; en comparación con el espectro después del proceso de adsorción, se aprecia un ligero desplazamiento hacia la derecha de los picos correspondientes al grupo carboxílico (-C-O y -O-H) entre la frecuencia 1200-1450 cm^{-1} , además de la anulación de varios picos entre la frecuencia 2100-2500 cm^{-1} que es una zona de difícil interpretación, en la frecuencia 674 cm^{-1} del grupo haluros de alquilo y la frecuencia 597 cm^{-1} de algún grupo inorgánico.

Angarita, F. (2013) identifica los grupos metilo y metileno debido a los dos picos agudos en la frecuencia 2924 cm^{-1} y 2866 cm^{-1} , también menciona que la interacción del cromo con el material bioadsorbente se evidencia mejor en la región inferior a 600 cm^{-1} . Son datos que coinciden con la investigación, en el espectro inicial se manifiestan los picos 2920 cm^{-1} y 2852 cm^{-1} y la eliminación de los picos 674 cm^{-1} , 597 cm^{-1} y 561 cm^{-1} en el espectro final serian por la exposición a los metales.

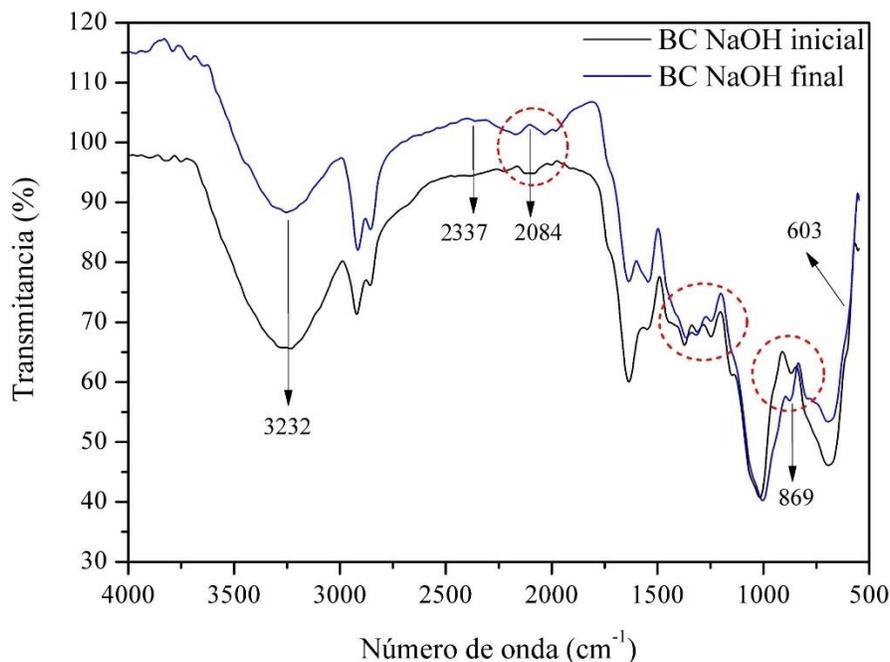


Figura 10. Espectros FTIR de la BC con lavado básico.

En La figura 10 se muestran los espectros FTIR de la BC con lavado básico (NaOH) antes y después del ensayo de adsorción, se observa un ligero desplazamiento a la derecha de los picos de intensidad media y débil en la región 1250-1370 cm^{-1} que están relacionados al grupo

carboxílico (-C-O) y al grupo alqueno (-C-H), la eliminación de dos picos de intensidad media entre la frecuencia 2250-2420 cm^{-1} que corresponden al área de difícil interpretación y también la aparición de un pico débil en la frecuencia 876.25 cm^{-1} que correspondería al grupo aromático (-C=C y -C-H).

Gutiérrez, M. y Cerón, D. (2020) indican que en la BC activada con KOH hay presencia de grupos metilo y metileno por los picos de intensidad media en la frecuencia 2924 y 2920 cm^{-1} , cafeína por la manifestación del pico 1692 y 1634 cm^{-1} y estiramiento del polisacárido (C-OH) por el pico fuerte y agudo en 1012 cm^{-1} . Estos componentes también se revelan en el espectro de la investigación en los picos de frecuencia 2921.15, 2854.61, 1634.22, y 1012.07 cm^{-1} respectivamente.

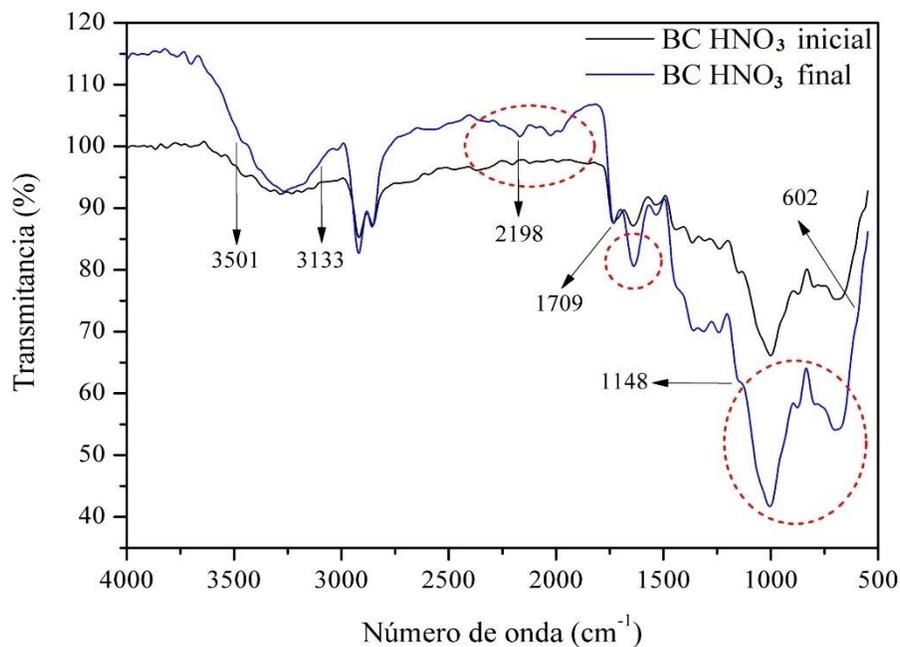


Figura 11. Espectros FTIR de la BC con lavado ácido.

La figura 11 muestra los espectros de la BC con lavado ácido (HNO_3), antes y después del proceso de adsorción, con relación al espectro final se ve alargamiento de los picos entre la frecuencia 1980-2320 cm^{-1} que podría estar relacionado al enlace -P-H, aunque este es un rango de difícil interpretación, también se observa alargamiento en el pico que corresponde al enlace -C=O

en la frecuencia $\sim 1630\text{ cm}^{-1}$ y un ligero desplazamiento a la izquierda de los picos fuertes entre la frecuencia $800\text{-}1005\text{ cm}^{-1}$ que podrían ser enlaces -C-H de grupos alquenos o aromáticos.

Según Gutiérrez, M. y Cerón, D. (2020) la modificación de la BC con un agente ácido provoca la despolimerización parcial de la hemicelulosa ocasionando la protonación de grupos funcionales carboxilo e hidroxilo aumentando su atracción con los colorantes, también Reffas *et al.* (2010) que impregnaron la BC con H_3PO_4 en diferentes relaciones observaron en el espectro que a mayor relación de impregnación se disminuyeron los grupos carboxílicos y fenólicos, se desarrolló más grupos carbonilo entre la frecuencia $1700\text{-}1600\text{ cm}^{-1}$ y grupos fosforosos entre la frecuencia $1070\text{-}1080\text{ cm}^{-1}$. Estos datos coinciden con la investigación debido a los cambios en el espectro entre la frecuencia $800\text{-}1200\text{ cm}^{-1}$, $2000\text{-}2600\text{ cm}^{-1}$ y $3000\text{-}3501\text{ cm}^{-1}$ en comparación al espectro de la BC con lavado neutral.

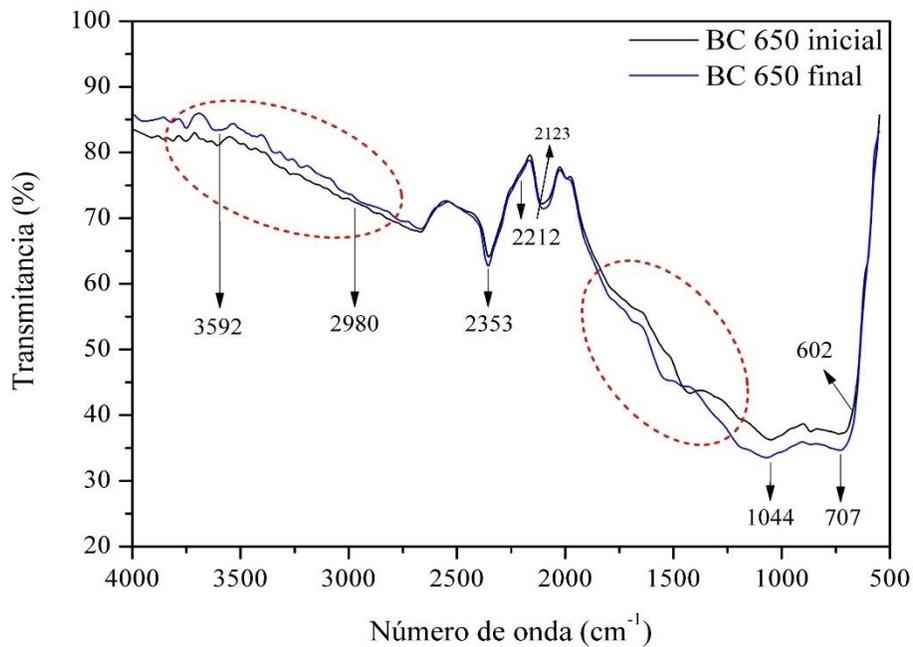


Figura 12. Espectros FTIR de la BC con proceso térmico.

En la figura 12 se representa los espectros antes y después del proceso de adsorción de la BC con proceso térmico a 650°C , los picos más representativos indican la presencia de grupos aminas y amidas (-N-H), alcanos (-C-H), aldehidos (-C-H), grupos nitrogenados (-NO_2), anhídridos (-C-O), alquenos (-C-H) y haluros de alquilo (R-X). Después de la adsorción se observa

modificaciones en las vibraciones que corresponden al enlace -O-H, ya que son ondas de intensidad medio en el rango de frecuencia $3000-3700\text{ cm}^{-1}$, la anulación del pico en la frecuencia 1994 cm^{-1} y 2212 cm^{-1} , un ligero desplazamiento a la izquierda de los picos de intensidad media presentes entre $1200-700\text{ cm}^{-1}$ y por último la anulación del pico presente en la frecuencia 602 cm^{-1} que está relacionado al grupo haluros de alquilo.

Las vibraciones entre la frecuencia $3400-3200\text{ cm}^{-1}$ corresponden al estiramiento del enlace -O-H y -C-H de la celulosa en la BC, tal como expresa Gutiérrez y Cerón (2020) en su investigación. Ferraz, F. y Yuan, Q. (2020) produjeron muestras de BC a 350°C y 500°C , en su caracterización FTIR confirman la deshidratación total de las muestras por la ausencia de picos a 3400 cm^{-1} de frecuencia y que es indicador de enlaces -O-H, adicionalmente menciona el estiramiento del enlace -C-H en la frecuencia 2900 cm^{-1} que es del grupo aldehídos y del enlace -C-C a 2100 cm^{-1} del grupo alquino. Los resultados de la investigación son similares debido a la ausencia de la flexión del espectro BC- H_2O entre $3600-3200\text{ cm}^{-1}$, la anulación de los picos en la frecuencia $\sim 2980\text{ cm}^{-1}$ y el estiramiento de los picos $2353, 2212$ y 2123 cm^{-1} .

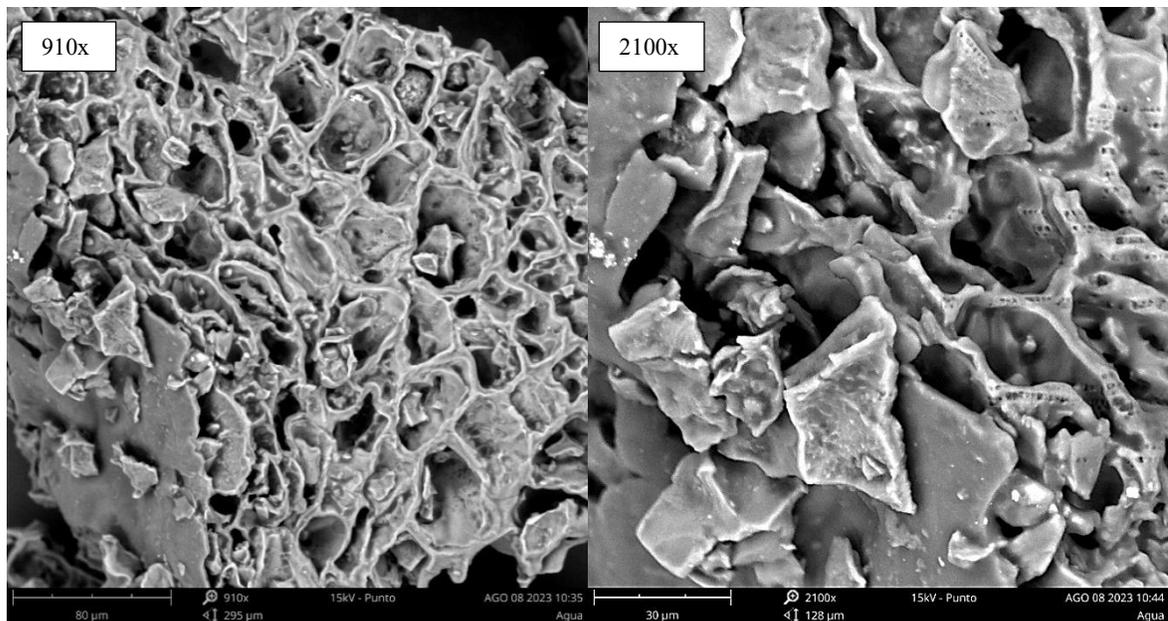


Figura 13. Microfotografía por BEM de la BC con lavado neutral.

En la figura 13 se muestra la observación en BEM a 2100x de la BC lavado con H_2O y se puede apreciar que las partículas de café tienen forma oval, los macroporos se revelan más

definidos y poco profundos, hay fragmentos de partículas sobrepuestos y las paredes se muestran poco ásperas con presencia de mesoporos y microporos en poca cantidad.

En la figura 14 se muestra la observación en BEM a 2150x de la BC lavado con NaOH y se aprecia que las partículas de café son amorfas, los macroporos son más amplios sin definición y con restos de partículas sobrepuestos, en la imagen más ampliada se aprecie una superficie muy áspera y filamentosa donde se contempla el aumento de mesoporos y microporos.

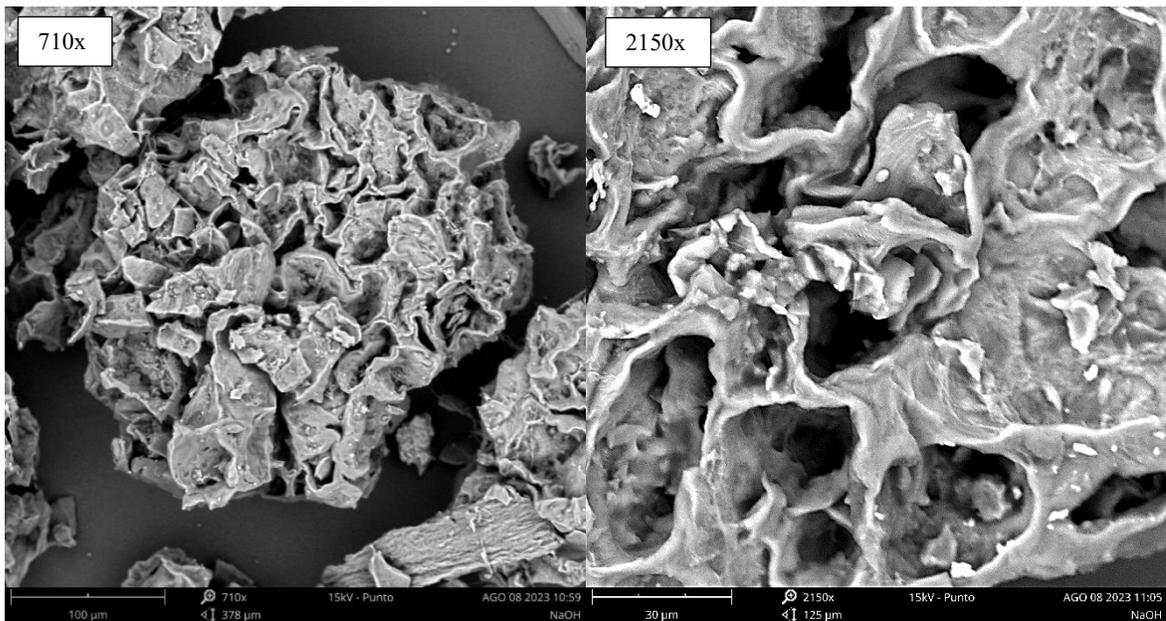


Figura 14. Microfotografía por BEM de la BC con lavado básico.

Se observa mayor prominencia de mesoporos, tal como afirma Gutiérrez, M. y Cerón, D. (2020) donde encontró incremento en el número de mesoporos y microporos en la superficie de la borra de café activada con KOH, pero también dice que estos aumentarían según la relación de solución alcalina utilizada.

En la figura 15 se muestra la observación en BEM a 2050x de la BC lavado con HNO_3 , se manifiesta una estructura amorfa con macroporos bien definidos, de forma corrugado y más profundos, en la imagen ampliada se nota la superficie áspera con presencia de mesoporos y microporos de formas diversas.

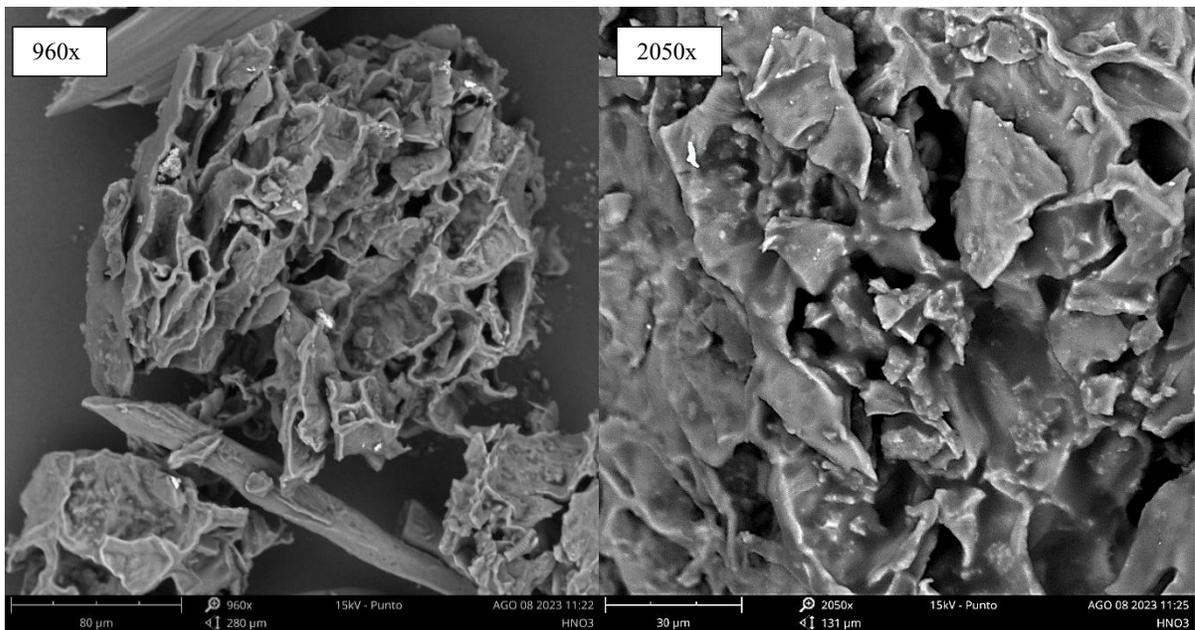


Figura 15. Microfotografía por BEM de la BC con lavado ácido.

Bustamante, E. (2011) realizó la activación del residuo de café con ácido cítrico a 0.6M y 0.1M, lo mantuvo a 60°C durante 12 horas y afirma que disminuyó el tamaño de la partícula mientras que su estructura se muestra más porosa frente al residuo de café sin modificación. Este resultado coincide con la investigación ya que la modificación ácida tiene 2.4% más de partículas inferiores a 250 µm y el aumento de poros es visible.

En la figura 16 se muestra la observación en BEM a 2100x de la BC con proceso térmico a 650°C y se aprecia partículas amorfas con muchos macroporos irregulares, se evidencia restos de ceniza y presenta superficie es muy áspera con más microporos y mesoporos que las BC con modificación química. El tamaño de partícula promedio es de 153 µm.

Según Gutiérrez y Cerón (2020) el área de superficie de la BC aumenta por la activación a temperatura cercana a los 650°C (318.2 m²/g) y que utilizar más temperatura implica su reducción y menos porosidad en el material, también Reffas, A. *et al.* (2010) realizó la activación con 180% de H₃PO₄ en peso y seguidamente lo calcinó a 550°C logrando una mayor área de superficie (925 m²/g). Considerando estos autores, se realizó la modificación térmica logrando el mayor desgaste del material orgánico sin alterar su morfología textural.

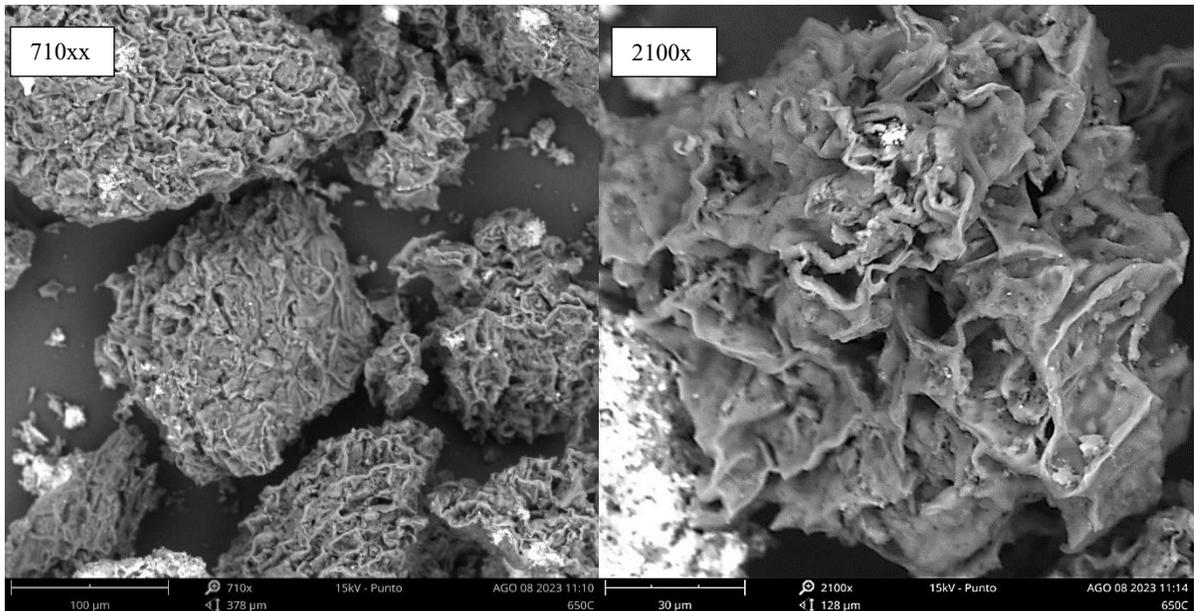


Figura 16. Microfotografía por BEM de la BC con proceso térmico.

En la figura 17 se observa las concentraciones iniciales de cobre y plomo en las borras de café modificadas, la concentración de Cu supera al de Pb y se identifica mayor valor en la BC con proceso térmico (85.95 mg Cu/kg) y menor valor en la BC con lavado neutral (5.25 mg Cu/kg), por otra parte, las concentraciones de Pb son semejantes (1.15 mg/kg \bar{X}).

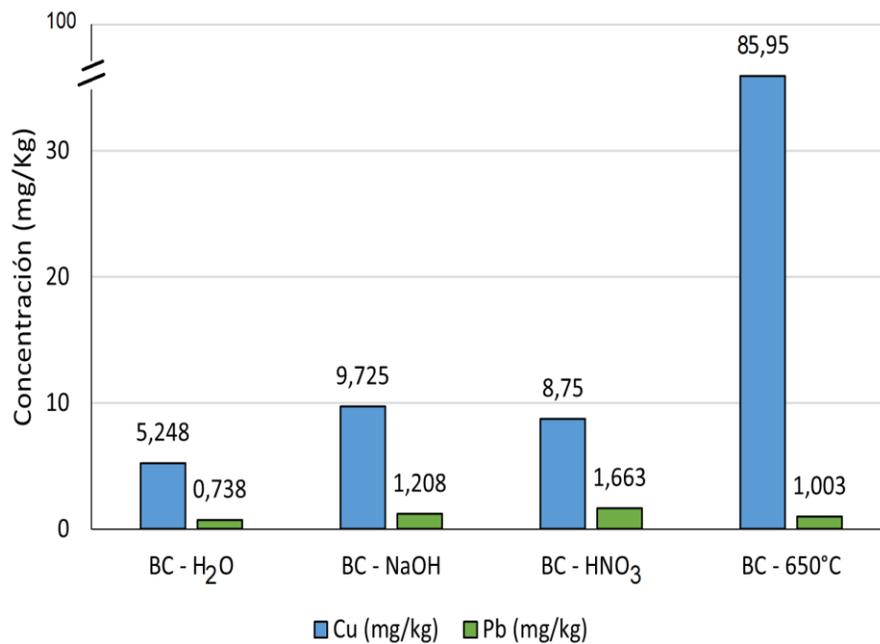


Figura 17. Concentraciones iniciales de cobre y plomo en la BC.

Respecto al plomo, Viñan, J. (2019) reportó 1.610 mg/kg en el café artesanal molido y además manifiesta que en la preparación de la infusión no se transporta este metal ya que no fue detectable en el análisis, en la investigación este valor es muy similar al contenido en la BC con lavado ácido (1.663 mg/kg). En el Perú Santillan, L. (2023) encontró menos concentración de plomo (0.3455 mg/Kg) en el molido de café oro. Este valor es inferior pero cercano al reporte de la BC con lavado neutral (0.738 mg/kg) y todos los valores de plomo superan las normas internacionales (0.50 mg/Kg) según MERCOSUR (2011).

Arias, M. (2012) evaluó Pb y Cu en el fruto, los granos de café, borra de café y desechos de café y encontró Pb únicamente en la BC entre valores de 26 mg/Kg y 146 mg/Kg, pero el Cu fue el metal que se encontró en mayores concentraciones y es superior a 200 mg/Kg. Son valores superiores a los encontrados en esta investigación, pero coherentes ya que registramos más Cu que Pb, el valor máximo es de 85.95 mg Cu/Kg y su presencia en el café se justifica por el uso de fungicidas a base de este metal para controlar la roya.

4.2. Características fisicoquímicas y microbiológicas del lixiviado generado en la Celda Transitoria de Rupa Rupa

En la tabla 12 se aprecia los parámetros evaluados en el lixiviado, entre estos podemos ver altas concentraciones de materia orgánica indicada en los parámetros DBO₅ y DQO, alto valor de fosfatos (50 mg/L), total de sólidos disueltos (5887 mg/L) y nitrógeno total (478.02 mg/L), por otra parte, el oxígeno total es muy bajo (0.26 mg O₂/L) y la concentración de coliformes totales es regular y que mayormente son *Escherichia coli*.

Robles *et al.* (2011) reportaron pH entre 7.14 a 10.1 en época de estiaje y 7.62 a 9.10 en época de lluvias en el lixiviado del relleno sanitario “Bordo Poniente” de la Ciudad de México, también Sánchez, W. (2019) reportó valores de 7.27 y 7.89 respectivamente para la época de estiaje y lluvias en Huaraz. En la investigación el valor de pH es 7.58 (ligeramente alcalino) y es similar a lo reportado por los autores precedentes.

Ferraz y Yuan (2020) reportan valor inicial de la DQO de 936 mg/L en el lixiviado de un vertedero controlado y Sánchez (2019) reporta un máximo valor de 760 mg/L de la DQO en el lixiviado del botadero de Carhuashjirca en el tiempo de lluvias. En esta investigación el resultado es superior (1145 mg/L) pero está cercano al primer autor.

Tabla 12. Parámetros fisicoquímicos y microbiológicos del lixiviado.

Parámetro	Unidad	Valor
Temperatura	°C	28.30
pH	-	7.58
Conductividad	μS/cm	11770
TDS	mg/L	5887
SST	mg/L	242.67
SVT	mg/L	142.00
Oxígeno Disuelto	mg/L	0.26
Salinidad	PSU	6.72
Nitratos	mg/L	30.70
Nitritos	mg/L	0.20
Nitrógeno Total (NTK)	mg/L	478.02
Fosfatos	mg/L	50.00
DQO	mg/L	1145.00
DBO5	mg/L	150.49
Turbidez	NTU	101.00
ORP	mV	-189.90
Cobre total	mg/L	0.3412
Plomo total	mg/L	0.2826
Coliformes totales	NMP/100 mL	11000
Coliformes termotolerantes	NMP/100 mL	7000

Fecha de muestreo: 10 de agosto del 2023.

También Robles *et al.* (2011) evaluaron la concentración de plomo en época de estiaje y lluvias, obteniendo 0.24 mg/L y 0.29 mg/L respectivamente, aunque se esperaba menores concentraciones por la dilución con el agua que ingresa del exterior, este fenómeno se explica porque el pH de las lluvias del lugar es ligeramente ácido (5.5 – 6.5) lo cual solubiliza el metal e incrementa la lixiviación de los RSU. Estos resultados son semejantes al de esta investigación, donde el valor es de 0.2826 mg/L en época de estiaje durante el mes de agosto.

Con relación a la cantidad de cobre este es superior a la concentración de plomo, muy contrario a las investigaciones realizadas por Carvajal (2019) y Sánchez (2019), este último reportó 0.02 mg/L de Cu en tiempo de estiaje y 2.1 mg/L de Cu en tiempo de lluvias en el lixiviado del botadero de Carhuashjirca, este valor es inferior al reporte de esta investigación (0.3412 mg/L) y se fundamenta en la gran cantidad de residuos orgánicos que ingresa a las celdas.

En la tabla 13 se presenta la comparación de los valores obtenidos con los Límites Máximos Permisibles y los Límites de Emisión y se evidencia que los sólidos totales en suspensión, la demanda química de oxígeno, la demanda bioquímica de oxígeno, el nitrógeno total y los coliformes totales exceden la normativa.

Tabla 13. Comparación con los LMP y LE para la descarga de lixiviados en cuerpos de aguas superficiales.

Parámetros	Unidad	Valor	LMP - MINAM	LE – regl. 263	Excedente
pH	-	7.58	6.5 – 8.5	6.5 – 8.5	-
Sólidos Totales en Suspensión	mg/L	242.67	30	20	212.67
DQO	mg/L	1145	120	300	845
DBO ₅	mg/L	150.49	20	10	140.49
Cobre total	mg/L	0.3412	0.5	0.5	-
Plomo total	mg/L	0.2826	0.5	0.5	-
Nitrógeno Total	mg/L	478.02	-	50	428.02
Nitrito	mg/L	0.2	-	2	-
Coliformes totales	NMP/100 mL	11000	1000	-	10000

Sánchez, W. (2019) en su investigación consiguió valores de 46000 y 2300 NMP/100 mL de coliformes totales en tiempo de estiaje y lluvias respectivamente. Son valores que se asemejan al de esta investigación ya que se registró 11000 NMP/100 mL de coliformes totales y superó los LMP y LE.

Arredondo (2022) evaluó el lixiviado del botadero de Haquira y reportó valores de 12000 mg/L de la DQO y 4000 mg/L de la DBO₅, Sánchez (2019) encontró 257 mg/L de la DBO₅ en el lixiviado de Carhuashjirca, Robles *et al.* (2011) detectó 860 mg/L de la DQO y 2.3 mg/L de nitritos en el lixiviado del relleno sanitario Nell Road – Chico y Ferraz y Yuan (2020) registro 936 mg/L de la DQO. Los resultados de la investigación coinciden con los autores al superar los LMP y LE de la DQO y DBO₅, pero se diferencia de la concentración de nitritos.

Los valores de cobre y plomo no excedieron los LMP y LE (0.5 mg/L) al igual que en la investigación de Sánchez (2019) y Carvajal (2019) aun así, es importante disminuir la presencia de metales pesados para evitar la bioacumulación en la fauna acuática. Por el contrario, Chaouki *et al.* (2021) encontró 9.54 mg/L de Cu y 35.77 mg/L de Pb en el lixiviado del vertedero municipal de Mediouna - Casablanca en Marruecos.

4.3. Concentraciones de cobre y plomo antes y después del proceso de adsorción

Tabla 14. Concentraciones iniciales de cobre y plomo en el lixiviado.

Cu [mg/L] inicial	Pb [mg/L] inicial
0.3412	0.2826

La presencia de plomo es probable por la disposición de restos metálicos, pinturas y pilas en las celdas, mientras que la alta concentración de cobre se justifica por los restos de conductores eléctricos y mayormente por su presencia residual en los residuos orgánicos.

En la tabla 15 se muestran las concentraciones finales de cobre y plomo después del proceso de adsorción con las borras de café modificados, la prueba 4 (BC con proceso térmico) presenta mayor disminución del Pb (0,0153 mg/L) y la prueba 2 (BC con lavado básico) presenta mayor disminución de Cu (0.1383 mg/L).

Poblete, R. *et al.* (2019) afirman que la remoción del cobre en el lixiviado se produce por la inmovilización del metal junto con la materia orgánica adsorbida, además afirma que la capacidad de adsorción disminuye debido a la competencia de los contaminantes para enlazarse a los sitios específicos y el bloqueo de los poros por los sólidos disueltos. Esta información cobra mucho sentido porque la reducción de la DQO es alta y el lixiviado es una solución multimetálica

y con otros contaminantes por lo que es aceptable que los valores se distancien de las operaciones en soluciones simuladas.

Tabla 15. Concentraciones de cobre y plomo después del proceso de bioadsorción.

Pruebas	Cu [mg/L] final	CV	\bar{X} Cu (mg/L)	Pb [mg/L] final	CV	\bar{X} Pb (mg/L)
T01	0.2483			0.1341		
T02	0.2772			0.1274		
T03	0.2519	4.8 %	0.24494	0.1447	8.7 %	0.14420
T04	0.2427			0.1532		
T05	0.2646			0.1620		
T11	0.1655			0.0556		
T12	0.1386			0.0777		
T13	0.1481	7.0 %	0.15044	0.0504	19.1 %	0.05674
T14	0.1594			0.0472		
T15	0.1406			0.0528		
T21	0.1478			0.0379		
T22	0.1326			0.0431		
T23	0.1382	5.3 %	0.13830	0.0481	11.2 %	0.04048
T24	0.1445			0.0376		
T25	0.1280			0.0357		
T31	0.1456			0.0664		
T32	0.1467			0.0748		
T33	0.1522	4.8 %	0.15128	0.0635	13.5 %	0.07484
T34	0.1652			0.0773		
T35	0.1467			0.0922		
T41	0.2679			0.0395		
T42	0.2380			0.0157		
T43	0.2608	6.0%	0.25530	0.0153	40.8 %	0.03084
T44	0.2734			0.0434		
T45	0.2364			0.0403		

4.3.1. Efectos en las propiedades fisicoquímicas del lixiviado

En la figura 18 se muestra las variaciones del pH en el lixiviado después del proceso de adsorción, el contacto con las BC modificadas resultó en el incremento del pH, es decir que se manifestó el efecto buffer del bioadsorbente con excepción de la prueba 3 que corresponde al lavado ácido de la BC y se mantiene por debajo del límite de emisión.

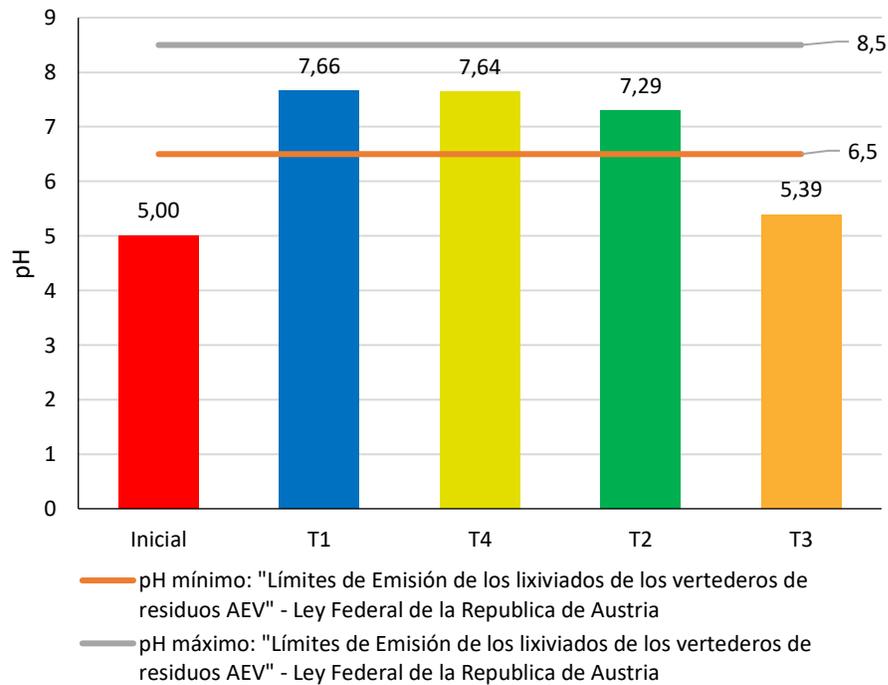


Figura 18. Variación del pH en el lixiviado.

Cardona *et al.* (2013) reguló el pH de la solución a 5 y al evaluar el pH después del tratamiento encontró una ligera disminución (0.14) que es lógico por la naturaleza cítrica del bioadsorbente y según Chacaltana (2018) el pH incrementó (0.92) debido a la captación de los cationes inorgánicos en el bioadsorbente y su naturaleza ligeramente alcalina. Lo mencionado ocurrió en la investigación, al utilizar BC – HNO₃ el pH del lixiviado se mantuvo ácido mientras que al utilizar las otras modificaciones de la BC el pH del lixiviado incrementó.

El pH influye en los sitios activos del bioadsorbente y en el estado iónico del metal, por lo mismo que obtuvimos eficiencias de remoción superiores al 50%. Las investigaciones de Carvajal y Marulanda (2020), Pacheco *et al.* (2010), Chacaltana (2018) y Cardona *et al.* (2013)

evaluaron la adsorción a diferentes pH de la solución y encontraron que las mejores tasas de remoción se encuentran a pH 4 - 5, además Tan (1985) reportó que a pH superior a 5.5 el cobre tiende a precipitarse. Según Lagos, L. (2016) el pH de la solución influye en la concentración del metal, ya que encontró disminuciones al realizar el ajuste de pH en una solución simulada con 20 ppm de cobre, a pH 5 registró 13.70 ppm y a pH 3 hubo 15.59 ppm, aun así, demostró que la remoción neta de Cr por el tratamiento con BC fue superior en el pH 5 con 67% de efectividad.

En la figura 19 se muestra las variaciones de temperatura en el lixiviado después del proceso de adsorción, hay una ligera disminución que se le atribuye al clima en que se mantiene el ambiente donde se realizó la operación del sistema (20°C) y los resultados reflejan el estado de equilibrio de la temperatura durante la operación.

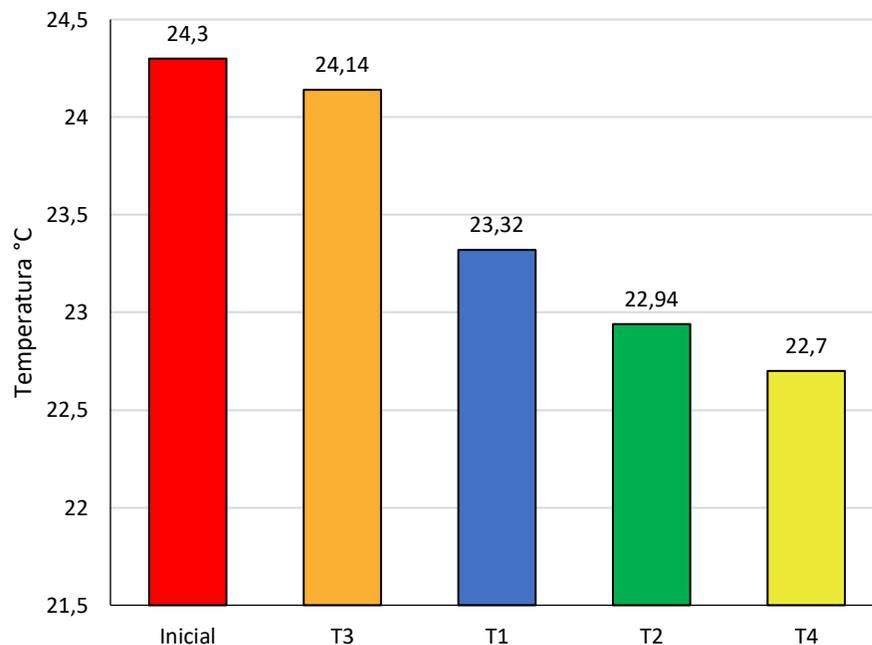


Figura 19. Variación de la temperatura en el lixiviado.

Chacaltana (2018) registró 1.4°C de incremento usando BC lavado con agua desionizada y explica que se debe al movimiento del líquido con mucha presencia de sólidos que aumenta la energía cinética y como consecuencia la temperatura. En la investigación la prueba 1 presenta 0.98°C de disminución de temperatura que es lo contrario a lo citado y se debe al equilibrio termodinámico del sistema con su alrededor (20°C).

La figura 20 muestra las variaciones de la conductividad eléctrica en el lixiviado después del proceso de adsorción, se aprecia un notable incremento en todos los casos, el mayor incremento se produjo en la prueba 3 (BC con lavado ácido) que sería por su aporte de iones H^+ a la solución y el menor incremento fue en la prueba 2 (BC con lavado básico).

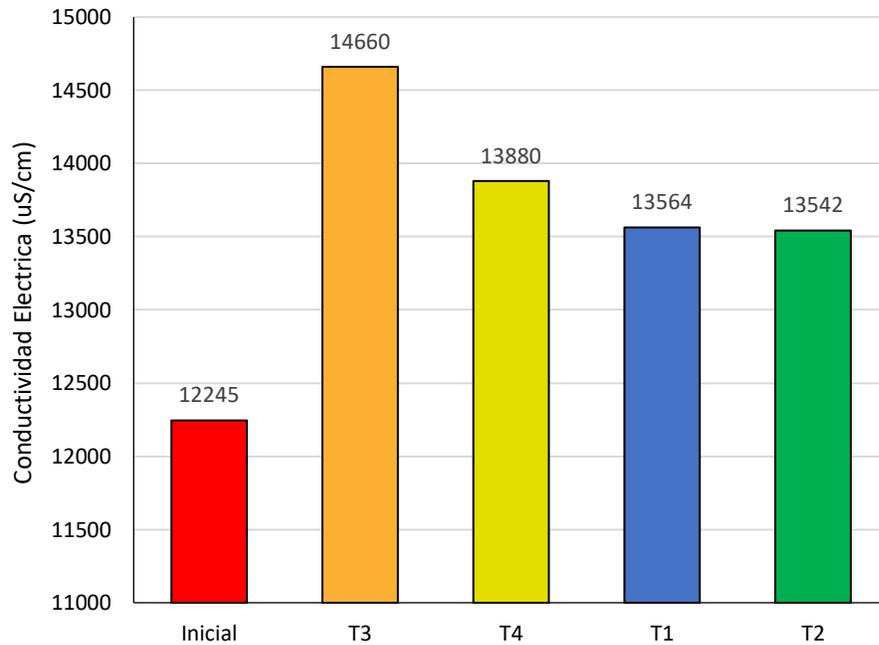


Figura 20. Variación de la Conductividad Eléctrica en el lixiviado.

La figura 21 muestra las variaciones de la concentración de sólidos totales disueltos en el lixiviado después del proceso de adsorción, se puede observar un incremento notable en la prueba 3 (BC – HNO_3), seguido por la prueba 4 (BC – $650^\circ C$) y el menor incremento se ve en la prueba 2 (BC - NaOH).

Robles (2023) evaluó el lixiviado del relleno sanitario de Uchuypampa y encontró que los STD aumentaron después del tratamiento con Moringa oleífera triturada, carbón activado a base de Moringa y la fusión de las 2 presentaciones de Moringa secuencialmente. Los resultados de la investigación coinciden al mostrar incremento en todas las pruebas realizadas; pero es antagónico con el trabajo de Azabache y Cachay (2019) que encontró disminución notable de los STD en el agua de acuífero después de la adsorción con carbón activado obtenido de la cascara de café.

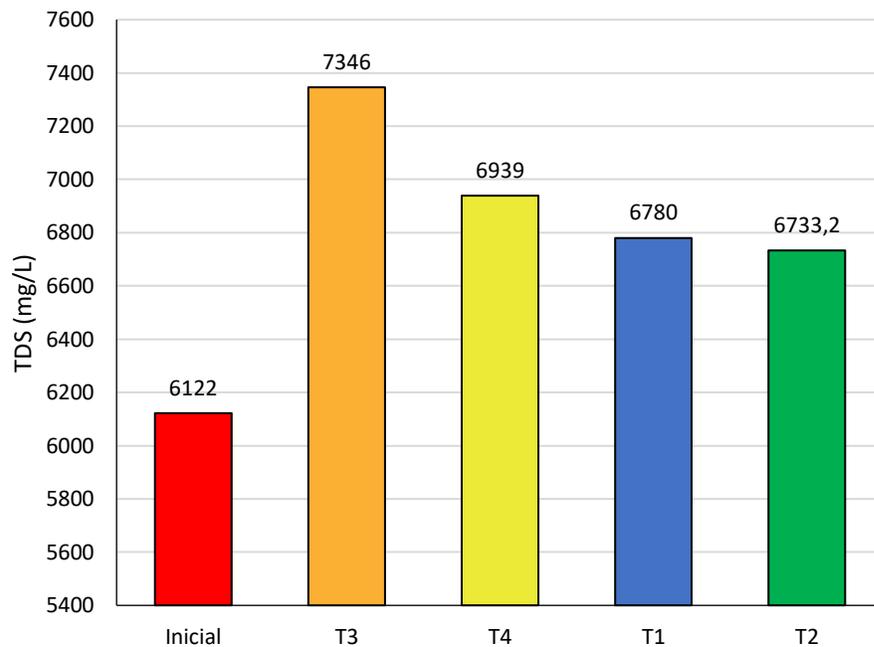


Figura 21. Variación de los Sólidos Totales Disueltos en el lixiviado.

En la figura 22 se muestra las variaciones del potencial oxido reducción después del proceso de adsorción, el mayor descenso se observa en la prueba 4 (BC con proceso térmico) seguido por la prueba 3 (BC con lavado ácido) y esto demuestra que hubo un proceso reductor en el sistema, es decir que la solución perdió iones positivos y es coherente con la ligera alcalinización del lixiviado (figura 19) después del proceso de adsorción.

Ferraz y Yuan (2020) mencionan que el valor negativo del ORP en el lixiviado es indicador de mala calidad del agua y que es propicia para el desarrollo de virus y microorganismos patógenos, además Losada (2009) indica que es por la presencia de contaminantes inorgánicos y lo condiciona a un proceso de reducción, sumado a esto, Huamán (2018) demostró que el tratamiento con filtros orgánicos (cascarilla de café y aserrín de madera) incide en el aumento del poder oxidante por lo tanto aumenta el valor del ORP (inicial: -64 mV y final: 159 mV). En la investigación también se consiguió aumento del ORP, aunque se mantuvieron en valores negativos (-88.6 mV), debido a la saturación del bioadsorbente porque las BC modificadas capturaron los iones metálicos y no metálicos; con relación a lo mencionado por el primer autor evidenciamos la presencia de hongos y bacterias en el lixiviado (tabla 41).

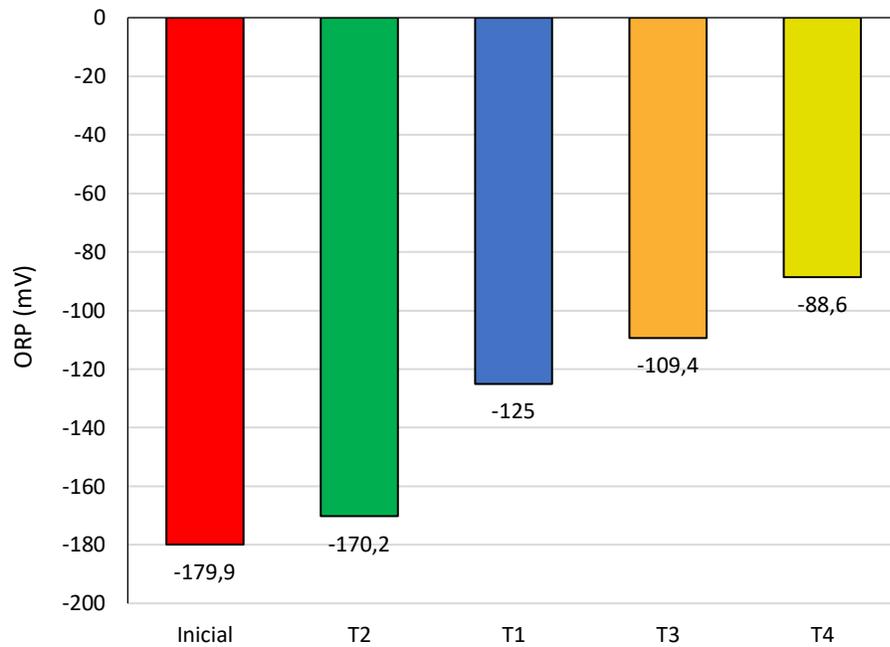


Figura 22. Variación del Potencial de Oxidación Reducción en el lixiviado.

En la figura 23 se observa las variaciones de la salinidad en porcentaje, después del proceso de adsorción y en todos los casos hubo un ligero incremento, el mayor incremento es de 0.14% en la prueba 3 (BC – HNO₃), seguido de 0.09% en la prueba 4 (BC con proceso térmico) y el menor incremento fue en la prueba 2 (0.058%).

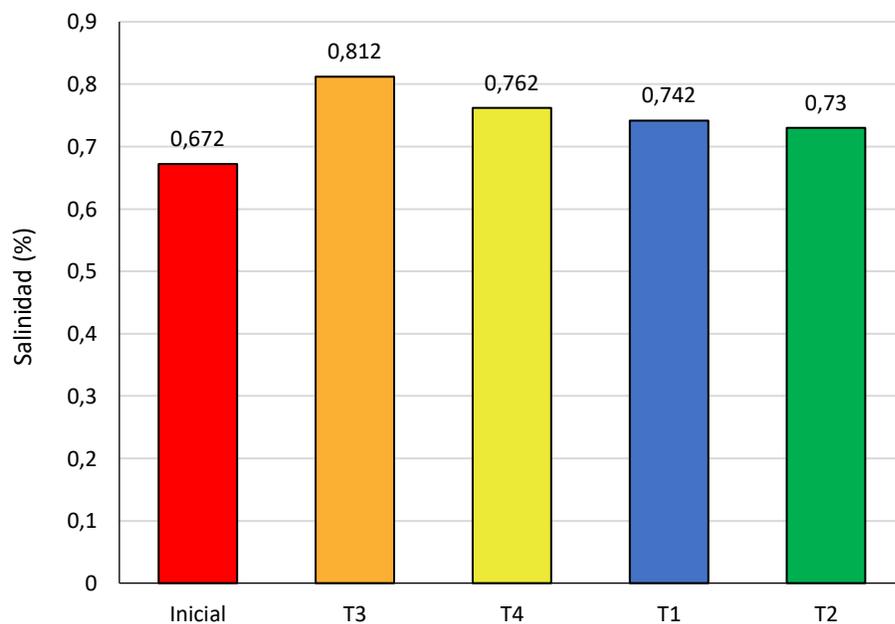


Figura 23. Variación de la salinidad en el lixiviado.

En la figura 24 se muestra la variación de la Demanda Química de Oxígeno después del proceso de adsorción, en todos los casos se ven importantes disminuciones y la mayor diferencia es 703 mg/L de DQO en la prueba 4 (BC con proceso térmico).

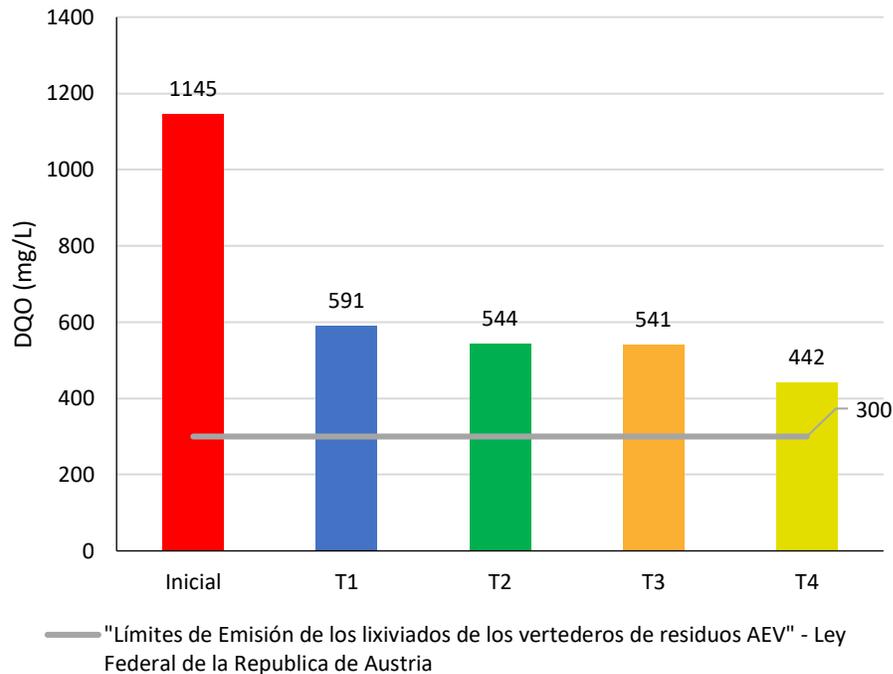


Figura 24. Variación de la Demanda Química de Oxígeno en el lixiviado.

Ferraz y Yuan (2020) usaron carbón activado con H_3PO_4 de borra de café para remover la DQO en el lixiviado de un vertedero de RS, reportaron 94% de eficiencia usando 20 g de bioadsorbente por litro (cuando el valor inicial es 917 mg/L), de la misma manera Poblete *et al.* (2019) lograron remover el 51% de la DQO usando 4 g de bioadsorbente por litro manteniéndolo en agitación durante 120 minutos. Los resultados de la investigación son coherentes con lo citado, ya que la BC con proceso térmico tiene mejores resultados (61.43%) y la diferencia con el primer autor se debería a la dosis de BC (5 g/L) y la concentración inicial de la DQO.

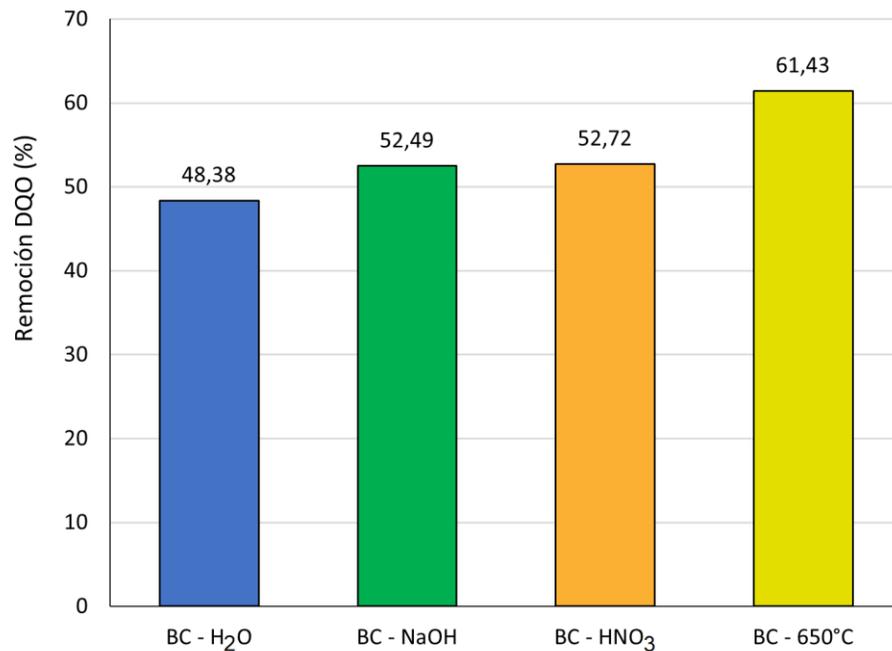


Figura 25. Eficiencia de remoción de la Demanda Química de Oxígeno.

La menor eficiencia de remoción fue usando BC con lavado neutral (48.38%) y las remociones entre la BC con lavado básico y la BC con lavado ácido son similares. Estos datos son cercanos a lo reportado por Chaouki *et al.* (2021) que lograron remover hasta el 59% de la DQO usando primero la coagulación con cloruro férrico seguido de la adsorción con polvo de corteza de palma sin modificaciones, las pruebas se realizaron en el lixiviado del relleno sanitario de Casablanca a 25°C, pH 5.6, 300 rpm, 24 horas de contacto y dosis de bioadsorbente 9 g/L. También es importante reconocer que en una solución con múltiples contaminantes la adsorción dependerá de su afinidad con el adsorbato ya que hay una competencia por llenar los sitios activos.

4.3.2. Concentraciones de cobre y plomo en la borra de café

En la figura 26 se muestran las concentraciones de cobre y plomo que se retuvieron en la BC después del proceso de adsorción, se observa que incrementó en todas las pruebas y es coherente con la disminución de Cu y Pb en el remanente de lixiviado (tabla 15). Porcentualmente el cobre aumento en 115%, 72%, 68% y 58% en la BC – H₂O, BC- NaOH, BC – HNO₃ y BC – 650°C respectivamente. El plomo aumentó en 806%, 847%, 549% y 648% en la BC – H₂O, BC- NaOH, BC – HNO₃ y BC – 650°C respectivamente.

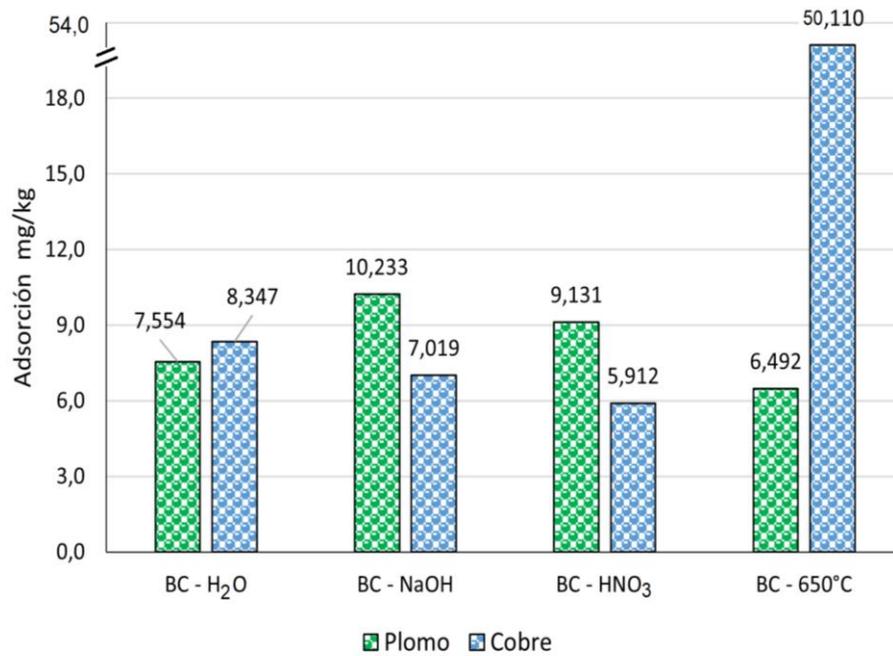


Figura 26. Adsorción de cobre y plomo en las BC modificadas.

4.4. Eficiencias de remoción y capacidad de adsorción de la borra de café

En la tabla 16 se muestra las eficiencias de remoción de cobre y plomo según las pruebas, se evidencia que la BC es más eficiente en la remoción de plomo que de cobre, además que la BC con proceso térmico logró remover el 89.09% del plomo, mientras que la BC con lavado básico logró remover el 59.49% del cobre.

Tabla 16. Eficiencias de remoción según las pruebas.

Pruebas	Remoción Cu (%)	Remoción Pb (%)
T0 [sin bioadsorbente]	24.68	48.97
T1 [BC - H ₂ O]	55.91	79.92
T2 [BC - NaOH]	59.49	85.68
T3 [BC - HNO ₃]	55.66	73.52
T4 [BC - 650°C]	25.18	89.09
Promedio	49.06	82.05

Teniendo en cuenta que el lixiviado es una solución multimetálica y de muchos contaminantes podemos decir que la mejor eficiencia de remoción se alcanzó con la BC - NaOH con 59.49%, 85.68% y 52.49% para cobre, plomo y la DQQ respectivamente.

Poblete *et al.* (2017) lograron eliminar el cobre del lixiviado hasta en un 97% usando carbón activado con H_3PO_4 y calcinado a $350^\circ C$ por 3 horas y después de 120 minutos de operación del sistema, Carvajal, E. (2019) encontró que la remoción de Cu y Pb en soluciones multicomponentes fue de 36 y 50 % respectivamente cuando se usó 1g de pulpa de café activado con H_3PO_4 y calcinado a $600^\circ C$, a pH 6 y a concentración inicial de 1 mg/L. Estos datos coinciden al encontrar mayor remoción de plomo que de cobre, también podríamos decir que la modificación ácida (HNO_3) es favorable ya que alcanzó más del 50% de remoción para ambos metales.

También Carvajal (2019) menciona que en la solución con ambos metales se alcanzó el equilibrio a las 6 horas y que sus resultados son inferiores a las pruebas individuales (67.40% Cu a y 74.17 % Pb), señalo que la eficiencia se incrementa al usar mayor dosis de pulpa de café activado (5 g), añade que la concentración inicial influye fuertemente en el proceso de adsorción, en las pruebas con 0.5 mg/L de Cu y Pb logró menores remociones que con las pruebas a 1 mg/L y aclara que se debe a la competencia por los espacios activos con los cationes orgánicos. Con lo mencionado podemos inferir que nuestros resultados expresan el máximo valor de adsorción para ambos metales ya que el sistema operó por 7 horas y que las eficiencias de remoción se han limitado por la alta carga orgánica del lixiviado.

Argomedo y Carbajal (2019) removieron el 58.69%, 74.95% y 87.85% del plomo (II) con borra de café de partículas a 850 μm , 425 μm y 250 μm respectivamente y realizó la activación de la BC con ambas soluciones químicas (NaOH y HNO_3). Estos resultados se acercan a las pruebas 2 y 3 con 85.68% y 73.52% respectivamente usando partículas menores a 500 μm y con modificaciones químicas individuales y la remoción aumenta ligeramente en la prueba 4 (BC con proceso térmico) y parte de ello se justificaría por ser partículas inferiores a 250 μm .

Chacaltana (2018) registró 93.74% y 94.05% de remoción del plomo disuelto con 60 g/L de BC lavado con agua desionizada y BC pretratada con NaOH respectivamente, además encontró que la BC tiene mayor afinidad para captar en su superficie iones de cadmio que los de plomo y es preciso aclarar que las pruebas se realizaron en solución bimetálica (muestras del río

Añasmayo). Reforzando esta información Lagos (2016) evaluó la adsorción de Cr usando BC activada con NaOH en el efluente de curtiembre, tenía inicialmente 2462 ppm de Cr y logró remover el 94.1% a pH de 5, en agitación durante 3 horas a 200 rpm con 1g de BC/L. Con lo mencionado podemos afirmar, que en una solución multimetálica, la afinidad de la BC con el metal dependerá de la concentración inicial y que la presencia de alguno de ellos favorezca la adsorción del otro, también nos permite validar los buenos resultados obtenidos en la prueba 2 (59.49% -Cu y 85.68% -Pb) y fortalecen la viabilidad de este residuo como un bioadsorbente.

Con relación a la BC con lavado neutral o sin modificación, Vicuña (2023) reporta 98% de remoción de plomo usando 5 g/L del bioadsorbente, Chacaltana (2018) removió el 93% de plomo disuelto usando 60 g/L, Gnu Nam *et al.* (2017) removió 62.08% de arsénico con 10 g/L y Angarita, F. (2013) removió 75% de cromo usando 20g/L. En esta investigación, los resultados de la BC con lavado neutral son cercanos a los autores citados y se removió 55.91% de cobre y 79.92% de plomo.

En la tabla 17 se muestran la capacidad de bioadsorción de la borra de café según las pruebas y se puede observar los mayores valores en la BC – NaOH y BC – 650°C, estos valores siguen la misma tendencia que las eficiencias de remoción.

Tabla 17. Determinación la capacidad de adsorción en la fase sólida.

Pruebas	q_e (mg Cu/g)	q_e (mg Pb/g)
T1 [BC - H ₂ O]	0,0382	0,0452
T2 [BC – NaOH]	0,0382	0,0484
T3 [BC - HNO ₃]	0,0380	0,0416
T4 [BC - 650°C]	0,0172	0,0504

Poblete *et al.* (2017) halló que la mayor capacidad de adsorción de cobre con carbón activado a partir de la borra de café es 50 mg/g. Este valor es por mucho superior a los resultados de la investigación porque la concentración inicial es también más alta (204 mg/L) y el bioadsorbente tiene mayor área de poros (4.85 m²/g) ya que fue activado con H₃PO₄ y calcinado a 350°C por 3 horas.

La capacidad de bioadsorción de la BC activado con NaOH resulta favorable y es dependiente de la concentración inicial de los metales esto debido a la afinidad de algunos metales con los sitios activos (Carvajal y Marulanda, 2020) y de la cantidad de bioadsorbente usado porque hay mayor disponibilidad de sitios activos y la competencia disminuye (Chacaltana, 2018), este último autor reporta la adsorción de 0.1370 y 0.1419 mg Pb/g de BC lavado con agua desionizada y BC pretratada con NaOH respectivamente. En esta investigación los valores son ligeramente menores (0.0382 mg Cu/g y 0.0484 mg Pb/g) posiblemente porque el autor precedente usó 20 g/L y la concentración inicial fue 3.17 mg Pb/L, ambos son superiores a los de este trabajo (4 y 12 veces más respectivamente).

4.4.1. Comprobación estadística de las eficiencias de remoción de cobre

En la tabla 18 se muestra el reporte de la prueba de Shapiro-Wilk y este indica que los datos de eficiencias de remoción del cobre no siguen una tendencia normal ya que el P-valor (0.0001) es menor al nivel de significancia.

Ho: Las eficiencias de remoción se distribuyen normalmente

Ha: Las eficiencias de remoción no se distribuyen normalmente

Tabla 18. Prueba de normalidad para la remoción de cobre.

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Cu	25	44,89	15,68	0,78	<0,0001

Al evaluar la homocedasticidad de los datos con la prueba de Levene decimos que el p-valor = 0.2107 es mayor al nivel de significancia por lo que se acepta el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Ho: Las varianzas son iguales

Ha: Al menos una varianza es diferente

Tabla 19. Prueba de Levene para la remoción de cobre.

F.V.	SC	gl	CM	p-valor
Modelo	24.85	4	6.21	0.2107
Tratamiento	24.85	4	6.21	0.2107
Error	77.18	20	3.86	
Total	102.03	24		

Prueba de efectividad de métodos.

En la tabla 20 se representa la prueba de Wilcoxon para los datos de Cu inicial y Cu después de la adsorción, los resultados muestran que todos los elementos son negativos, quiere decir que en todos los casos hubo remoción significativa del Cu.

Ho: No hay diferencia entre los dos grupos ($\mu_i = \mu_j$)

Ha: Si hay diferencia entre los dos grupos ($\mu_i \neq \mu_j$)

Tabla 20. Prueba de Wilcoxon para la remoción de cobre.

Grupos	N	Rango promedio	Suma de rangos	
	Rangos negativos	25 ^a	13,00	325,00
Cu_promedio - valor_inicial_Cu	Rangos positivos	0 ^b	0,00	0,00
	Empates	0 ^c		
	Total	25		
a. Cu_promedio < valor_inicial_Cu				
b. Cu_promedio > valor_inicial_Cu				
c. Cu_promedio = valor_inicial_Cu				
		Cu_promedio - valor_inicial_Cu		
Z		-4,373 ^b		
Sig. asintótica(bilateral)		0,0001		

De la prueba de Tukey se desprende que las pruebas T3, T1 y T2 presentaron mejores eficiencias para remover el cobre del lixiviado, de los cuales escogeríamos como el mejor a la prueba T2 correspondiente a la BC con lavado básico (tabla 21).

Tabla 21. Prueba de Tukey para la remoción de cobre.

Pruebas	Medias	n	E.E.	Agrupación
T0	24.68	5	1.76	A
T4	25.18	5	1.76	A
T3	55.66	5	1.76	B
T1	55.91	5	1.76	B
T2	59.49	5	1.76	B
Error: 15.4905	gl: 20			

4.4.2. Comprobación estadística de las eficiencias de remoción de plomo

En la tabla 22 se muestra el reporte de la prueba de Shapiro-Wilk y este indica que los datos de eficiencias de remoción del plomo no siguen una tendencia normal ya que el P-valor (0.0077) es menor al nivel de significancia.

H0: Las eficiencias de remoción se distribuyen normalmente

Ha: Las eficiencias de remoción no se distribuyen normalmente

Tabla 22. Prueba de normalidad para la remoción de plomo.

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Pb	25	76,14	14,02	0,87	0,0077

Al evaluar la homocedasticidad de los datos con la prueba de Levene decimos que el p-valor = 0.0399 es menor al nivel de significancia por lo que se rechaza el supuesto de homogeneidad de varianzas.

Ho: Las varianzas son iguales

Ha: Al menos una varianza es diferente

Tabla 23. Prueba de Levene para la remoción de plomo.

F.V.	SC	gl	CM	p-valor
Modelo	75.90	4	18.98	0.0399
Tratamiento	75.90	4	18.98	0.0399
Error	123.45	20	6.17	
Total	199.35	24		

Prueba de efectividad de métodos.

En la tabla 24 se representa la prueba de Wilcoxon para los datos de Pb inicial y Pb después de la adsorción, los resultados muestran que todos los elementos son negativos, quiere decir que en todos los casos hubo remoción significativa del Pb.

Ho: No hay diferencia entre los dos grupos ($\mu_i = \mu_j$)

Ha: Si hay diferencia entre los dos grupos ($\mu_i \neq \mu_j$)

Tabla 24. Prueba de Wilcoxon para la remoción de plomo.

Grupos	N	Rango promedio	Suma de rangos
Rangos negativos	25 ^a	13,00	325,00
Pb_promedio - Rangos positivos	0 ^b	0,00	0,00
valor_inicial_Pb Empates	0 ^c		
Total	25		

a. Pb_promedio < valor_inicial_Pb
b. Pb_promedio > valor_inicial_Pb
c. Pb_promedio = valor_inicial_Pb

	Pb_promedio - valor_inicial_Pb
Z	-4,372 ^b
Sig. asintótica(bilateral)	0,0001

De la prueba de Tukey (tabla 25) se desprende que las pruebas T2 y T4 presentan mejores eficiencias de remoción del plomo en el lixiviado, de los cuales se escoge como el mejor a la adsorción realizada con BC con proceso térmico.

Tabla 25. Prueba de Tukey para la remoción de plomo.

Pruebas	Medias	n	E.E.	Agrupación
T0	52.51	5	2.30	A
T3	73.52	5	2.30	B
T1	79.93	5	2.30	B C
T2	85.68	5	2.30	C
T4	89.09	5	2.30	C
Error: 26.4539	gl: 20			

V. CONCLUSIONES

1. Las borras de café modificadas lograron remover más de 50% del cobre y plomo presentes en el lixiviado.
2. La borra de café se caracteriza por presentar predominancia de grupos carboxílicos, aminas e hidroxilos y después del proceso de adsorción se evidencia modificaciones en el espectro que se localizan regularmente entre 2000 a 600 cm^{-1} de frecuencia. Son partículas amorfas, con macroporos irregulares y la presencia de mesoporos y microporos incrementa con las modificaciones. Tienen mayor presencia de cobre que de plomo.
3. La muestra de lixiviado presenta altos niveles de la DQO y DBO_5 por la presencia de residuos orgánicos en las celdas, también tiene valores elevados de sólidos totales en suspensión (242.67 mg/L), nitrógeno total (478.02 mg/L) y Coliformes totales (11000 NMP/100 mL), así mismo la baja concentración de oxígeno disuelto nos revela que hay degradación anaeróbica.
4. Las concentraciones de cobre y plomo disminuyeron notablemente en todas las pruebas de adsorción, entre ellos la prueba con borra de café con lavado básico dejó el menor remante de cobre (0.138 mg/L) y la prueba con borra de café con proceso térmico dejó el menor remante de plomo (0.031 mg/L). Las concentraciones de pH, conductividad eléctrica, sólidos totales disueltos y salinidad aumentaron, mientras que la DQO y el ORP disminuyeron.
5. La mejor eficiencia de remoción se logró con la borra de café lavado con NaOH, siendo 59.49% del Cu y 85.68% del Pb, además en todas las pruebas se evidencia mayor remoción de plomo que de cobre. La capacidad de adsorción presenta similar tendencia con la cuantificación en la borra de café, se obtuvo 0.0382 mg Cu/g de BC con lavado básico y 0.0504 mg Pb/g de BC con proceso térmico.

VI. PROPUESTAS A FUTURO

A futuras investigaciones se recomienda:

1. Realizar las isotermas de adsorción para determinar el tiempo de equilibrio del sistema y saturación del bioadsorbente (capacidad de adsorción máxima).
2. Estudiar el proceso de desorción en la borra de café después de las modificaciones, para evaluar la reutilización del adsorbente y la recuperación del metal.
3. Evaluar el área de superficie y volumen total de poros en la borra de café después de las modificaciones, para aumentar muestra comprensión de su microestructura.
4. Evaluar el proceso con diferentes dosis del bioadsorbente.
5. Realizar algún protocolo para estandarizar las modificaciones químicas que presenten mayor capacidad de adsorción.

VII. REFERENCIAS

- Aguilar, H. (2019). Remoción de Cd, Cr, Zn y Pb mediante sistema batch con presencia *Cajanus cajan* (L.) Huth (frijol palo) a nivel de laboratorio. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA) y Water Environment Federation (WEF). (2017). Standard Methods for The Examination Of Water and Wastewater. Editado por Baird, R., Eaton, A. y Rice, E. 23^a edición.
- Angarita, F. (2013). Borra de café como material adsorbente para la remoción de cromo (III). Tesis de Grado. Universidad Libre Sede Bogotá. Colombia.
- Argomedo, E. y Carbajal, I. (2019). Influencia del tamaño de partícula y tiempo de contacto de la borra de café en la remoción de plomo (II) de efluente minero, Quiruvilca. Tesis de Grado. Universidad Privada del Norte. Trujillo, Perú.
- Arias, M. (2012). Determinación de metales pesados en el fruto, el grano, la broza y los desechos de café. Tesis de Grado. Universidad Nacional de Costa Rica.
- Arredondo, K. (2022). Disminución de la DBO del lixiviado del botadero de Haqaira mediante procesos de coagulación – floculación – región Cusco. Tesis de Grado. Universidad Continental. Lima, Perú.
- Autoridad Nacional del Agua. (2015). Evaluación de Recursos Hídricos en la cuenca Huallaga. Informe Final. Lima, Perú.
- Azabache, Y. y Cachay, W. (2019). Efecto del carbón activado, obtenido experimentalmente a partir de cascara de café (*Coffea Arábica L.*), en la adsorción de metales pesados en aguas del acuífero del distrito de Yantaló, Moyobamba, 2017. Universidad Nacional de San Martín. Moyobamba, Perú.
- Bustamante, E. (2011). Adsorción de metales pesados en residuos de café modificados químicamente. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma de Nuevo León. México.

- Carbotecnia. (2020). Plomo en el agua y efectos en la salud. *Blog digital*. <https://www.carbotecnia.info/aprendizaje/quimica-del-agua/plomo-en-el-agua-potable/>.
- Cardona, A., Cabañas, D. y Zepeda, A. (2013). Evaluación del poder biosorbente de cascara de naranja para la eliminación de metales pesados, Pb (II) y Zn (II). *Ingeniería*. 17(1), 1-9.
- Carvajal, E. (2019). Modelo de sorción para la remoción de cobre y plomo de lixiviados de rellenos sanitarios. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia.
- Carvajal, E. y Marulanda, L. (2020). Uso de residuos de café como biosorbente para la remoción de metales pesados en aguas residuales. *Ingeniería USBMed*. 11 (2), 44 – 55.
- Castellar, G., Cely, M., Cardozo, B., Angulo, E. y Plaza, M. (2018). Adsorción del colorante azul directo 2 sobre borra de café en una columna de lecho fijo a escala de laboratorio. *Revista Actualidad & Divulgación Científica*. 21 (2), 531 – 541.
- Chacaltana, G. (2018). Uso de la borra de café como bioadsorbente para la remoción de cadmio y plomo disuelto en el agua del río Añasmayo sector La Perla – Huaral, 2018. Tesis de Grado. Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú.
- Chaouki, Z., Hadri, M., Nawdali, M., Benzina, M. y Zaitan, H. (2021). Treatment of a landfill leachate from Casablanca city by a coagulation-flocculation and adsorption process using a palm bark poder (PBP). *Elsevier*. 12(e00721). <https://doi.org/10.1016/j.sciaf.2021.e00721>.
- Condezo, S. y Huaraca, C. (2018). Cuantificación de plomo, cadmio y arsénico en granos de cacao (*Theobroma cacao L.*) y café (*Coffea arabica L.*) de la zona de Jaén – Cajamarca durante el periodo febrero – julio 2018). Tesis de Grado. Universidad Nobert Wiener. Lima, Perú.
- Corena, L., (2008). Sistemas de tratamientos para lixiviados generados en rellenos sanitarios. Tesis de Grado. Universidad de Sucre. Colombia.
- Dirección General de Salud Ambiental – DIGESA. (2007). Protocolo de monitoreo de la calidad sanitaria de los recursos hídricos superficiales. Dirección de Ecología y Protección del Ambiente. Lima, Perú.

- Espinosa, M., López, M., Pellón, A., Fernández, L., Hernández, C. y Bataller, M. (2007). Lixiviados de vertederos de residuos sólidos urbanos. *Centro de Investigación del Ozono. Monografía*. Ciudad de La Habana, Cuba.
- Ferraz, F. y Yuan, Q. (2020). Eliminación de materia orgánica de lixiviados de vertederos mediante adsorción utilizando carbón activado de residuo de café. *Elsevier*. <https://doi.org/10.1016/j.susmat.2019.e00141>.
- Galindo, X. (2011). Producción e industrialización de café soluble Caso: solubles instantáneos. Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Gnu Nam, Min – Suk Kim, Lee, N., Choi, Y. y Whan, J. (2017). Un enfoque ambientalmente benigno para la adsorción de As (V) a partir de aguas residuales utilizando residuo de café sin tratar: resultados preliminares. *Agua*. 9(11), 867- 876.
- Gutiérrez, M. y Cerón, D. (2020). Evaluación de la viabilidad del uso de la borra de café para la remoción de colorantes sintéticos en el agua. Fundación Universidad de América. Bogotá, Colombia.
- HACH Company (2000). Manual de Análisis de Agua. 2ª edición. Loveland, Colorado, EE. UU.
- Herrera, J. y Cortina, H. (2013). Taxonomía y clasificación del café. Federación Nacional de Cafeteros de Colombia, *Manual del cafetero colombiano: Investigación y tecnología para la sostenibilidad de la caficultura*. 7(1), 117 – 121.
- Horiba Scientific. (s.f.). Alta resolución, alta sensibilidad y alta estabilidad ICP-OES. <https://www.horiba.com/deu/scientific/products/detail/action/show/Product/ultima-expert-883/>.
- Huamán, C. (2018). Uso de materiales orgánicos como filtros en el tratamiento de aguas residuales provenientes de granjas porcícolas. Tesis d Grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- Lagos, L. (2016). Bioadsorción de cromo con borra de café en efluentes de una industria curtiembre local. Tesis de Grado. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú.

- Ley Federal por la República de Austria. Reglamento 263: Límites de las emisiones de lixiviados de los vertederos de residuos (lixiviados de vertederos AEV). 27 de mayo de 2003. <https://www.ris.bka.gv.at/GeltendeFassung.wxe?Abfrage=Bundesnormen&Gesetzesnummer=20002736>.
- López, C. (2004). Protocolos de prácticas de Microbiología Ambiental. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- López, M., Aburto, Y., Ocaña, K., Olaya, C., Lango, F. y López, M. (2022). Caracterización fisicoquímica y biológica de los lixiviados procedentes del sitio de disposición final no controlado en Tlapacoyan, Veracruz, México. *Enfoque UTE*. 13(3), 1 – 13.
- López, M., Espinosa, M., Ramos, C., Mayarí, R., Pellón, A. y Martínez, V. (2003). Desarrollo de tendencias en la gestión integral de residuos sólidos urbanos. *Centro de Investigación del Ozono. Monografía*. Ciudad de la Habana, Cuba.
- Losada, J. (2009). Caracterización de los lixiviados generados en el proceso de compostaje provenientes de residuos orgánicos de plaza de mercado y su uso como complemento nutricional para cultivos hidropónicos. Universidad de La Salle. Bogotá.
- Magallón, M. (2007). Caracterización del lixiviado generado en el vertedero de Metepec y análisis de medios reactivos permeables. Tesis de Maestría. Universidad Autónoma del Estado de México. México.
- Mayorca, N. (2017). Reducción de la carga orgánica en el lixiviado estabilizado del botadero municipal de San Ramon mediante oxidación avanzada foto-fenton. Tesis de Grado. Universidad Nacional Agraria de la Selva. Tingo María, Perú.
- MERCOSUR. (2011). Reglamento técnico Mercosur sobre límites máximos de contaminantes inorgánicos en alimentos. Obtenido de la página de MERCOSUR.
- Ministerio del Ambiente (2017). Decreto Legislativo N°1278. MINAM, que aprueba la Ley de Gestión Integral de Residuos Sólidos. <https://www.minam.gob.pe/disposiciones/decreto-legislativo-n-1278/>.

- Ministerio del Ambiente. (2019). MINAM construirá celda transitoria para una disposición segura de los residuos que se generan en la provincia de Trujillo. *Nota de prensa*. Lima, Perú.
- Ministerio del Ambiente. (2009). Límites Máximos Permisibles (LMP) de efluentes de infraestructuras de residuos sólidos. https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/311078/lmp_de_efluentes_de_residuos..
- Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental - OEFA. (2021). Listado de Rellenos Sanitarios y de Seguridad. Lima, Perú.
- Pacheco, M., Pimentel, J. y Roque, W. (2010). Cinética de la bioadsorción de iones de cadmio (II) y plomo (II) de soluciones acuosas por biomasa residual del café (*Coffea arabica L.*). *Revista de la Sociedad Química del Perú*. 76(3), 279 - 292.
- Poblete, R., Cortés, E. y Luna, Y. (2019). Tratamiento de lixiviados de vertedero mediante carbón activado obtenido de residuo de café. *Eng Sanit Ambient*. 24(4), 833-842. DOI:10.1590/S1413-41522019178655.
- Reffas, A., Bernardet, V., David, B., Reinert, L., Lehocine, M., Dubois, M., Batisse, N. y Duclaux, L. (2010). Carbons prepared from coffee grounds by H₃PO₄ activation: Characterization and adsorption of methylene blue and nylosan red N-2RBL. *Journal of Hazardous Materials*. 175(3), 779 – 788.
- Robles, C. (2023). Tratamiento de lixiviados con semillas y carbón activado de *Moringa oleifera* en el relleno sanitario de Uchuypampa, Ayacucho 2023. Tesis de Grado. Universidad Cesar Vallejo. Lima, Perú.
- Robles, F., Morales, Y., Piña, A., Espíndola, O., Tovar, L. y Valencia, G. (2011). Medición de pH y cuantificación de metales pesados en los lixiviados del relleno sanitario más grande de la zona metropolitana de la ciudad de México. *Universidad y Ciencia Trópico Húmedo*. 27(2), 121 – 132.
- Rubio, N., Hernández, I., Jasso, E., Cordero, C., López, D., Rodríguez, S., Luna, R. y Mendoza, P. (2023). Residuo de café como bioadsorbente para la remoción de metales pesados de soluciones acuosas. *XXVIII Verano de la Ciencia*. Universidad de Guanajuato. 21(1), 1 – 9.

- Saavedra, R. (2019). Biorremediación de aguas contaminadas con metales pesados mediante biomasa microalgal. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. España.
- Sánchez, W. (2019). Evaluación de los lixiviados generados en el botadero de Carhuashjirca y los impactos ambientales generados en la quebrada Vientojirca – Independencia – Huaraz – Ancash – 2018. Tesis de Grado. Universidad Nacional Santiago Antúnez de Mayolo. Perú.
- Santillan, L. (2023). Efecto del método de extracción de la bebida de café en la concentración de metales pesados. Tesis de Grado. Universidad Nacional Toribio Rodríguez de Mendoza de Amazonas. Chachapoyas, Perú.
- Tan, W. (1985). Copper (II) adsorption by waste tea leaves and coffee poder. *Pertanika (Malaysia)*. 8(2), 223 – 230.
- Torres, P., Barba, L., Ojeda, C., Martínez, J. y Castaño, Y. (2014). Influencia de la edad de lixiviados sobre su composición fisicoquímica y su potencial de toxicidad. *Revista Actualidad & Divulgación Científica*. 17(1), 245 - 255.
- Vicuña, G. (2023). Eficiencia de la cascara de papa y la borra de café como floculante para remover cromo (III) en fluentes de la industria curtiembre- Ate, 2019. Tesis de Grado. Universidad Nacional Federico Villarreal. Lima, Perú.
- Vílchez, R. (2005). Eliminación de metales pesados de aguas subterráneas mediante sistemas de lechos sumergidos: estudio microbiológico de las biopelículas. Tesis Doctoral. Universidad de Granada. España.
- Viñan, J. (2019). Determinación de plomo en café industrial y artesanal comercializados en la provincia de Loja. Tesis de Grado. Universidad de Guayaquil. Ecuador.
- Wong, S., Abd Ghafar, N., Ngadi, N., Amirah, F., Mohammed, I., Mat, R. y Saidina, N. (2020). Effective removal of anionic textile dyes using adsorbent synthesized from coffee waste. *Scientific reports*. 10 (2928). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-60021-6>.

VIII. ANEXOS

Anexo A. Detalles de las mediciones en la borra de café

Apéndice 1. Resultados de los espectros FTIR de la borra de café.

Tabla 26. Espectros FTIR de la borra de café antes del proceso de adsorción.

 UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA 	
"VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN" LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN	
REPORTE N° 23-07-001	
RESULTADOS DE ESPECTROMETRÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER CON REFLECTANCIA TOTAL ATENUADA (FTIR - ATR)	
1. Interesado	
Nombre	Rubio Zarate Filena Amelia
Condición	Egresada UNAS
Referencia	Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental
N° de Recibo	00019223
2. Muestra	
Fecha de recepción	21/07/2023
Hora:	1:30 am
Tipo de muestra	Borra de café
Número de muestras	4
Humedad referencial	No especificada
Observaciones	---
3. Programación del análisis	
Aparato (Marca)	Espectrómetro Infrarrojo - Transformada Fourier (LUMEX)
Modelo (País)	InfraLUM FT-08 (Canadá)
Modo	ATR
Rango de Espectro (cm⁻¹)	550 - 4000
Resolución (cm⁻¹)	4
N° Barridos	256



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

"VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



4. Espectro FTIR - ATR de muestra BC 650°C

Figura 1. Espectro general

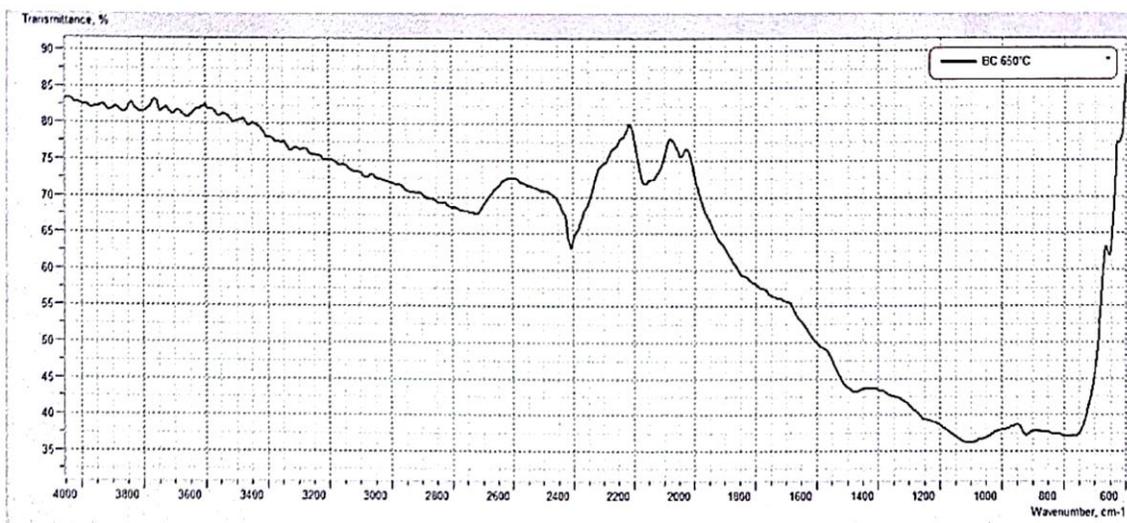
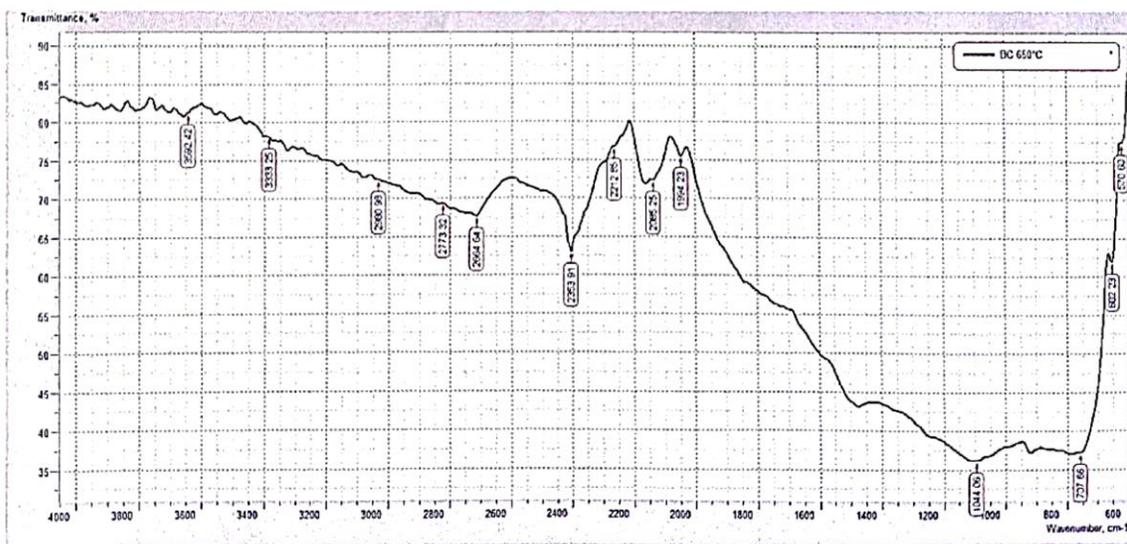


Figura 2. Espectro con picos identificados por el equipo





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

"VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



Cuadro 1. Picos resaltantes del espectro de BC 650°C

Número de onda (cm ⁻¹)	Transmitancia (%)
570.6	77.43683
602.23	62.03674
707.66	37.25553
1044.06	36.22528
1994.23	75.61085
2085.25	72.45549
2212.85	76.80234
2353.91	63.03867
2664.64	67.73527
2773.32	69.36542
2980.98	72.5487
3333.25	78.1425
3592.42	81.30812



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



5. Espectro FTIR – ATR de muestra BC H2O

Figura 3. Espectro general

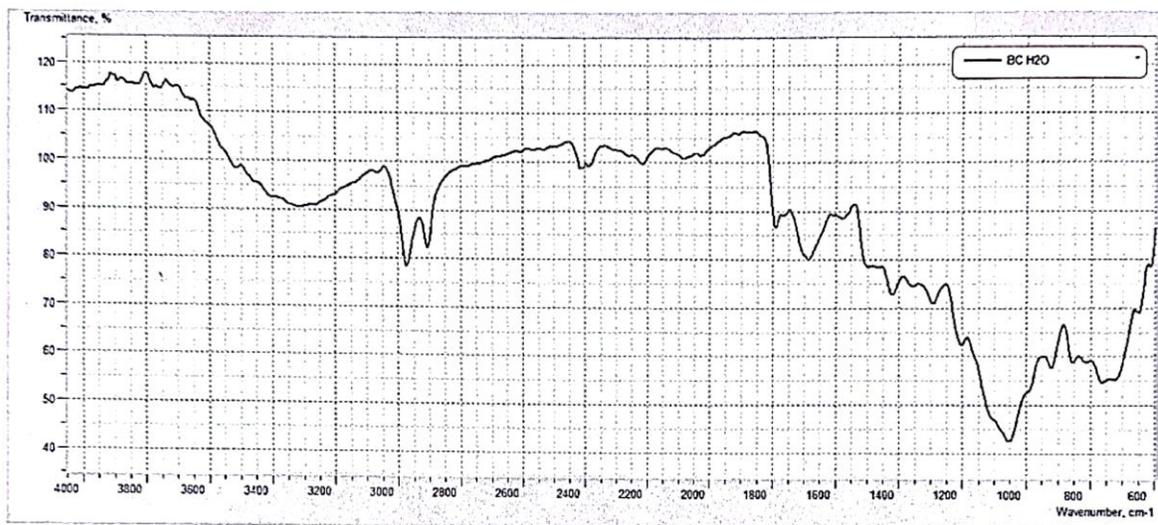
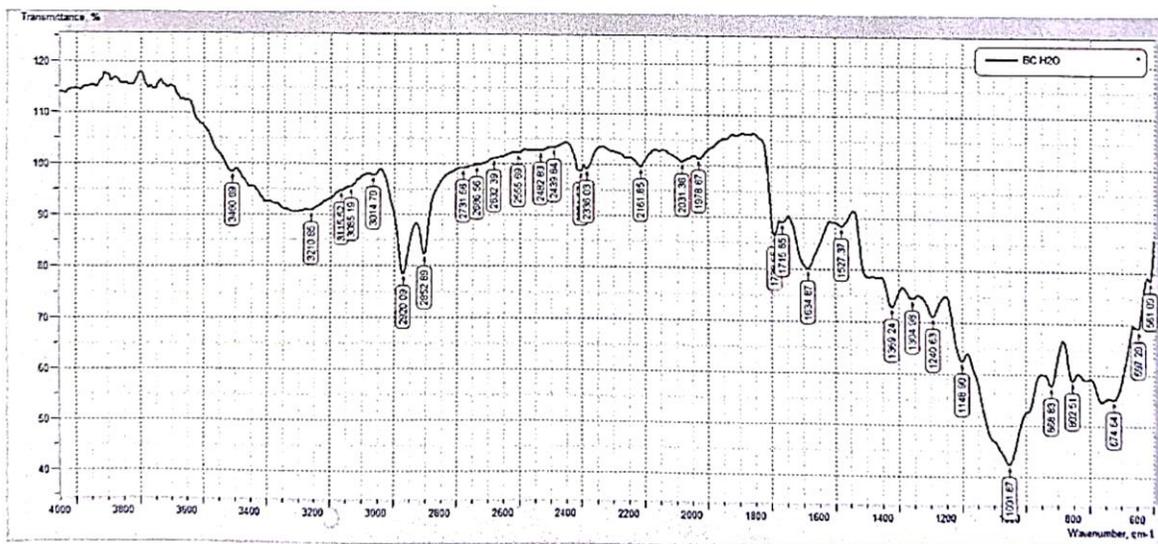


Figura 4. Espectro con picos identificados por el equipo




UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN


Cuadro 2. Picos resaltantes del espectro de BC H₂O

Número de onda (cm ⁻¹)	Transmitancia (%)
561.09	78.49346
597.29	69.11295
674.64	55.35281
802.51	58.93308
868.83	57.86834
1001.87	42.53359
1148.9	62.57642
1240.63	71.13554
1304.98	74.62746
1369.24	73.03895
1527.37	88.59997
1634.87	80.25723
1715.65	89.25497
1738.65	86.74538
1978.67	101.50306
2031.36	100.81451
2161.85	99.75829
2336.03	99.19395
2354.57	98.80867
2439.84	103.29095
2482.83	102.73136
2555.69	102.21036
2632.39	101.15897
2686.56	99.87946
2731.56	99.19178
2852.89	82.39538
2920.09	78.54342
3014.79	97.86809
3085.19	95.58875
3115.52	94.82897
3210.85	90.97672
3460.69	98.52332



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

"VICERECTORADO DE INVESTIGACIÓN"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



6. Espectro FTIR – ATR de muestra BC HNO3

Figura 5. Espectro general

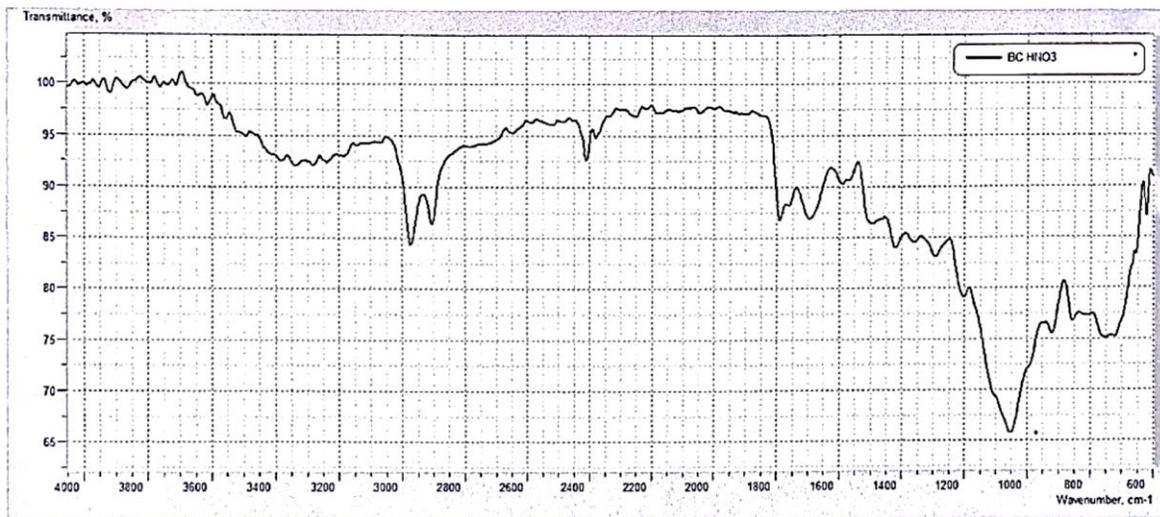
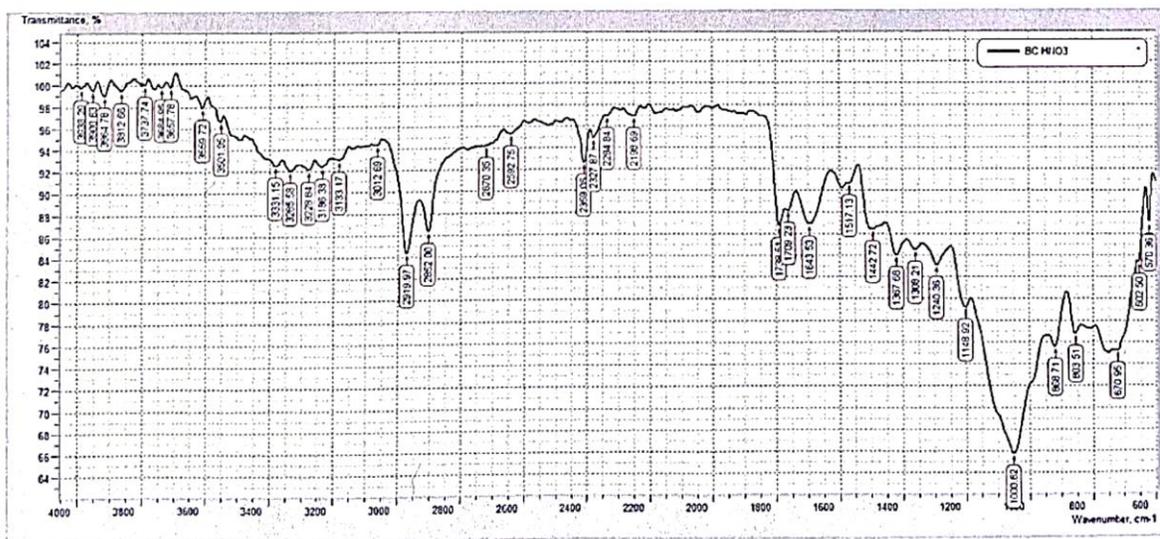


Figura 6. Espectro con picos identificados por el equipo




UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN


Cuadro 3. Picos resaltantes del espectro de **BC HNO₃**

Número de onda (cm ⁻¹)	Transmitancia (%)
570.36	87.06659
602.5	83.41322
670.95	75.25773
803.51	76.86627
868.71	75.62941
1000.62	65.82196
1148.92	79.22132
1240.36	83.15388
1308.21	84.55736
1367.66	84.08016
1442.72	86.45427
1517.13	90.70797
1643.53	86.94097
1709.23	88.20161
1738.51	86.80011
2198.69	96.93842
2284.84	96.97964
2327.87	94.90895
2359.06	92.65326
2592.75	95.34028
2670.35	94.26524
2852	86.40533
2919.97	84.42372
3012.69	94.39282
3133.17	93.06354
3186.38	92.45913
3228.84	92.18833
3285.58	92.09518
3331.15	92.57874
3501.95	96.68306
3559.72	97.94397
3657.78	99.87445
3684.95	99.85833
3737.74	100.05665
3812.66	99.54904
3864.78	99.11323
3900.63	99.613
3938.29	99.80302



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



7. Espectro FTIR – ATR de muestra BC NaOH

Figura 7. Espectro general

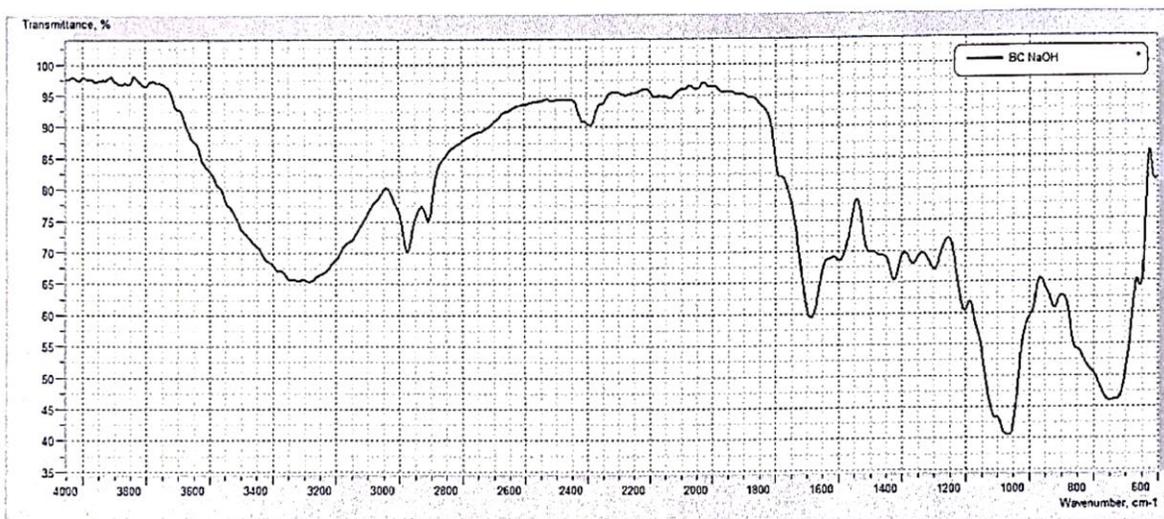
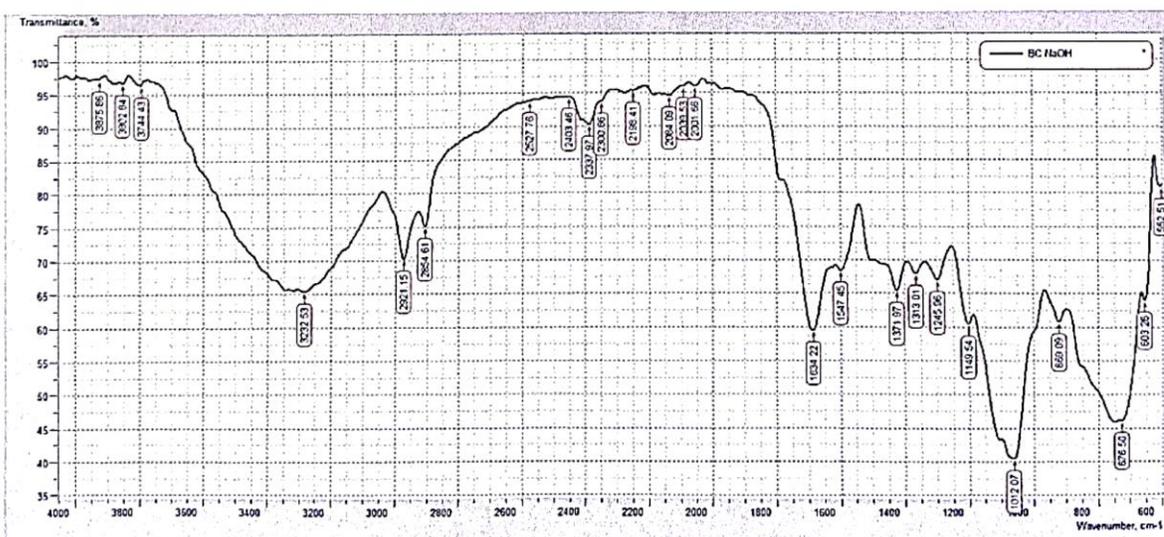


Figura 8. Espectro con picos identificados por el equipo





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

"VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



Cuadro 4. Picos resaltantes del espectro de **BC NaOH**

Número de onda (cm ⁻¹)	Transmitancia (%)
552.51	81.10964
603.26	64.15945
676.5	46.2439
869.09	60.90249
1012.07	40.52816
1149.54	60.53529
1245.96	67.13616
1313.01	68.00937
1371.97	65.46522
1547.45	68.5502
1634.22	59.59133
2001.66	96.0857
2039.53	96.02939
2084.09	94.65139
2198.41	95.44058
2300.66	93.77451
2337.97	90.2939
2403.46	94.47898
2527.76	93.92376
2854.61	75.21688
2921.15	70.30374
3232.53	65.47038
3744.43	96.59247
3802.84	96.88061
3875.86	97.5095



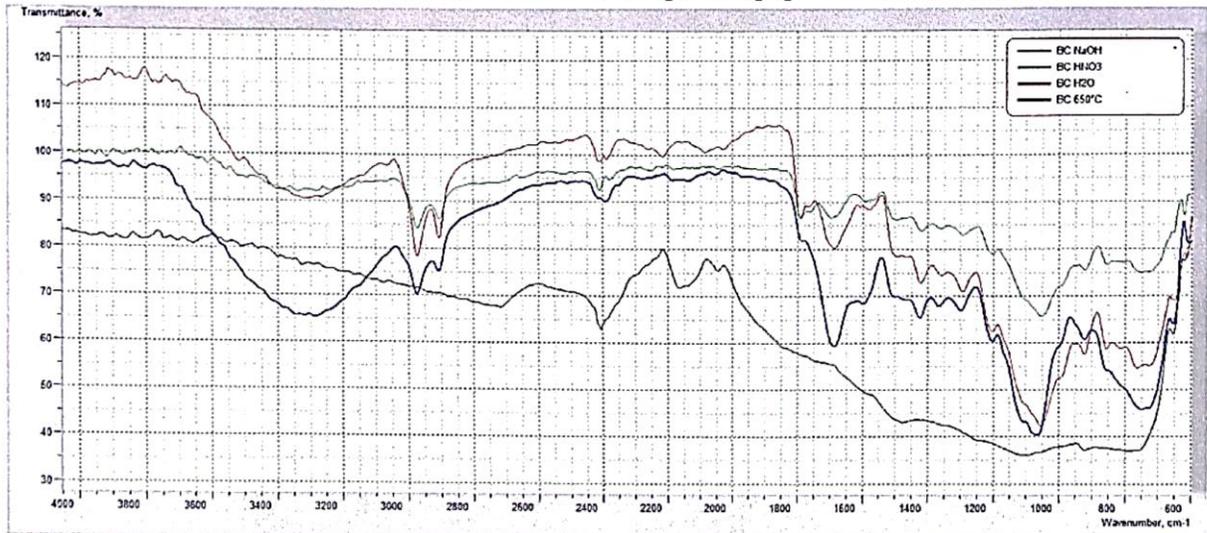
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



8. Espectro FTIR – ATR de las 4 muestras

Figura 9. Espectro con picos identificados por el equipo de ambas muestras



Ing. Christopher A. Del Águila Meléndez
Especialista Espectroscopía
FTIR/RAMAN - LCI

Dr. Melchor Soria Iturri
Director Laboratorio Central de
Investigación - UNAS

Tabla 27. Espectro FTIR de la borra de café después del proceso de adsorción.

	UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA "VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN" LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN	
REPORTE N° 23-11-006		
RESULTADOS DE ESPECTROMETRÍA INFRARROJA POR TRANSFORMADA DE FOURIER CON REFLECTANCIA TOTAL ATENUADA (FTIR - ATR)		
1. Interesado		
Nombre	Rubio Zarate Filena Amelia	
Condición	Egresada UNAS	
Referencia	Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental	
N° de Recibo	19688/29010	
2. Muestra		
Fecha de recepción	10/11/2023	
Hora:	1:00 am	
Tipo de muestra	Tratamientos de Borra de café	
Número de muestras	4	
Humedad referencial	No especificada	
3. Programación del análisis		
Aparato (Marca)	Espectrómetro Infrarrojo - Transformada Fourier (LUMEX)	
Modelo (País)	InfraLUM FT-08 (Canadá)	
Modo	ATR	
Rango de Espectro (cm⁻¹)	550 - 4000	
Resolución (cm⁻¹)	4	
N° Barridos	256	



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



4. Espectro FTIR – ATR de muestra BC 650°C final

Figura 1. Espectro general

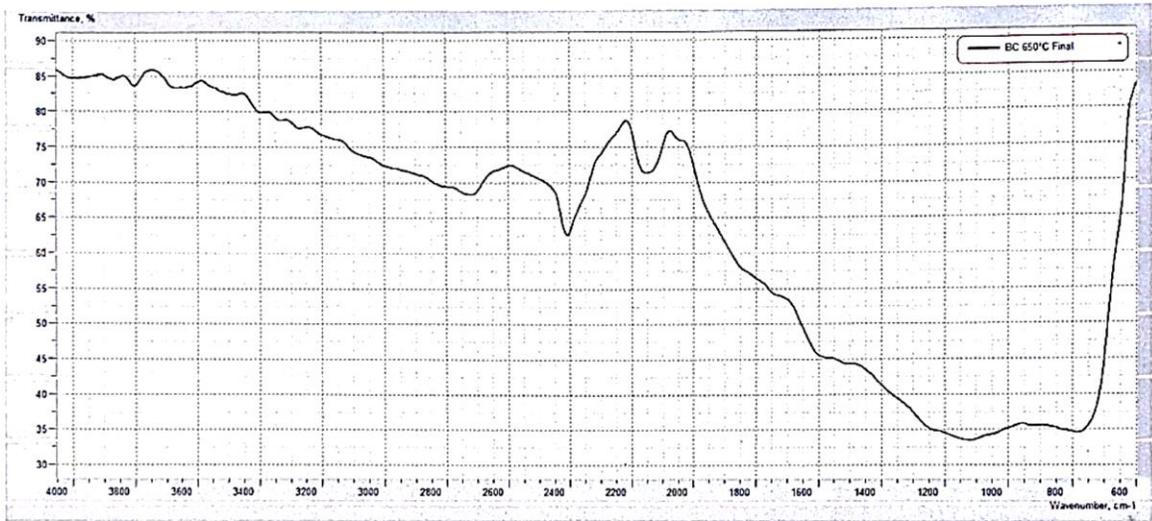
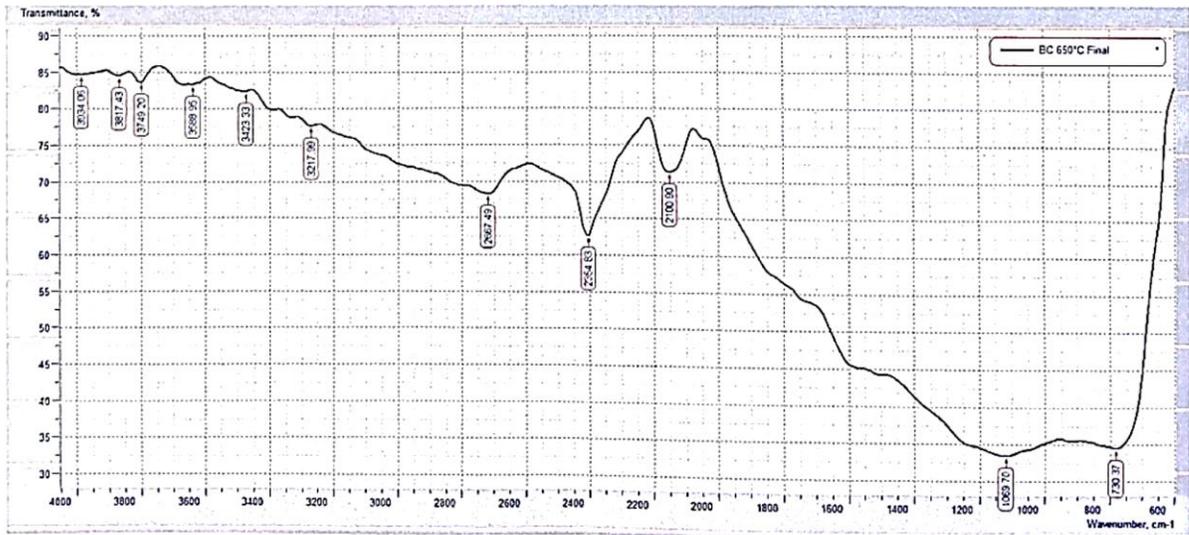


Figura 2. Espectro con picos identificados por el equipo





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

"VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



Cuadro 1. Picos resaltantes del espectro de BC 650°C Final

Nº	Wavenumber, cm-1	Transmittance, %
1	730.37	34.64069
2	1069.70	33.52268
3	2100.90	71.43355
4	2354.83	62.70708
5	2667.49	68.38387
6	3217.99	77.72047
7	3423.33	82.40749
8	3588.95	83.40287
9	3749.20	83.71806
10	3817.43	84.58265
11	3934.06	84.74564



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

"VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



5. Espectro FTIR - ATR de muestra BC H2O Final

Figura 3. Espectro general

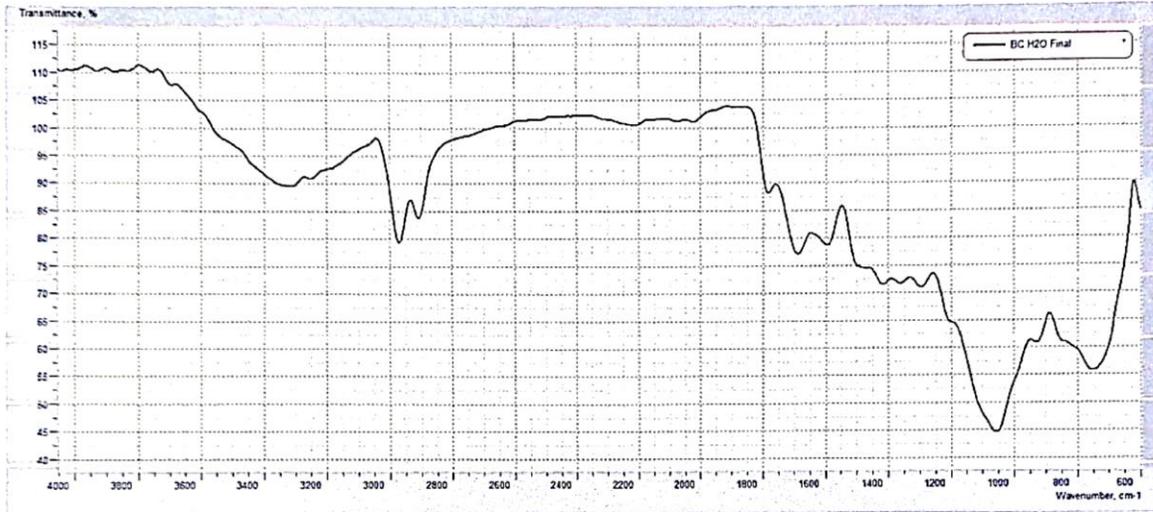
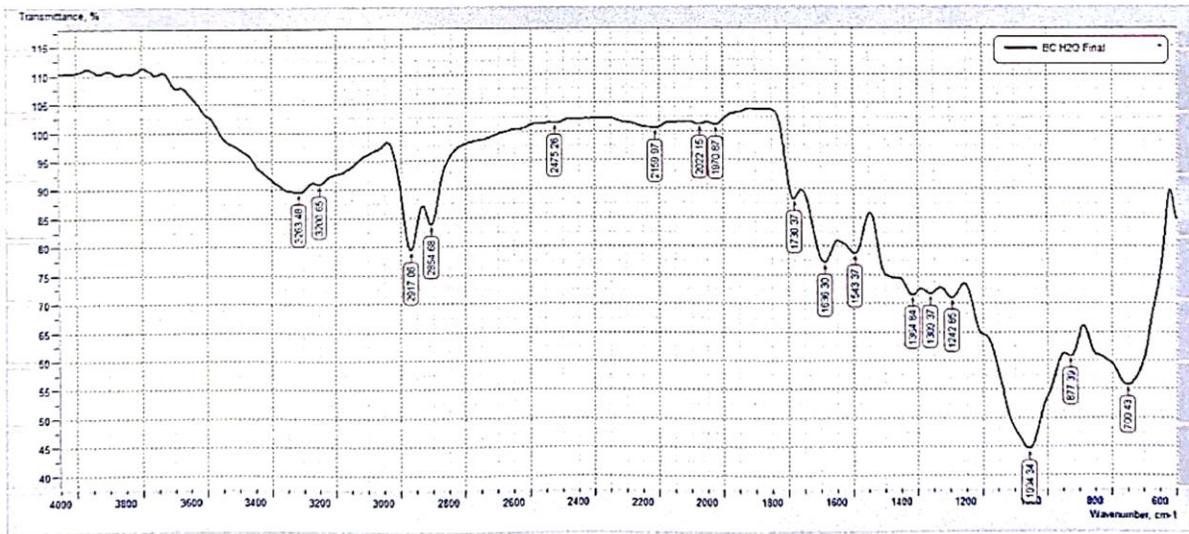


Figura 4. Espectro con picos identificados por el equipo





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



Cuadro 2. Picos resaltantes del espectro de BC H₂O Final

Nº	Wavenumber, cm-1	Transmittance, %
1	700.43	55.82163
2	877.39	60.91378
3	1004.34	44.70184
4	1242.85	71.07752
5	1309.37	71.78258
6	1364.84	71.56956
7	1543.37	78.78163
8	1636.30	77.28730
9	1730.37	88.30052
10	1970.87	101.17907
11	2022.15	101.26298
12	2159.97	100.55446
13	2475.26	101.48344
14	2854.68	83.88326
15	2917.06	79.40611
16	3200.65	91.02322
17	3263.48	89.61359



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



6. Espectro FTIR – ATR de muestra BC HNO3 Final

Figura 5. Espectro general

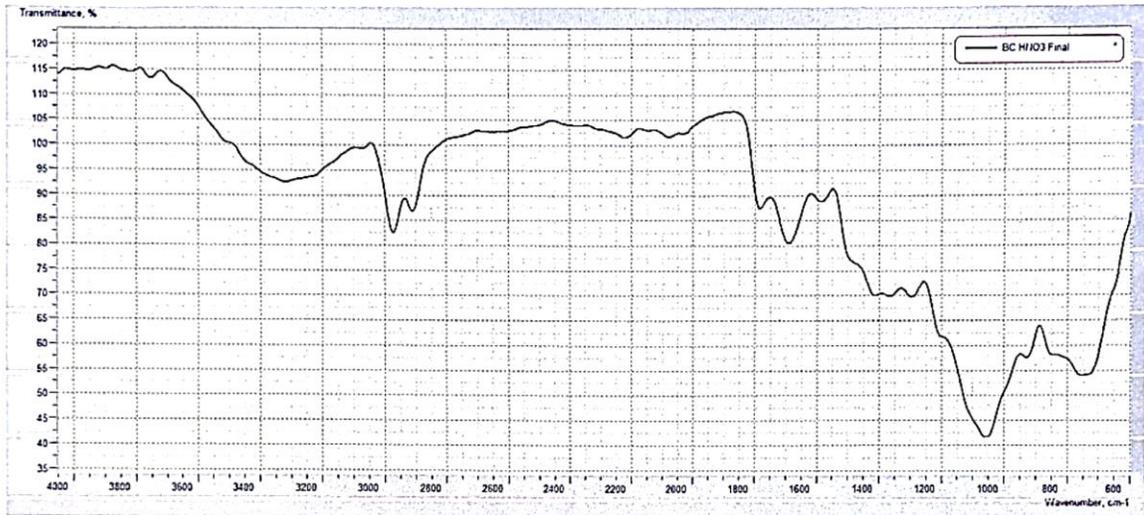
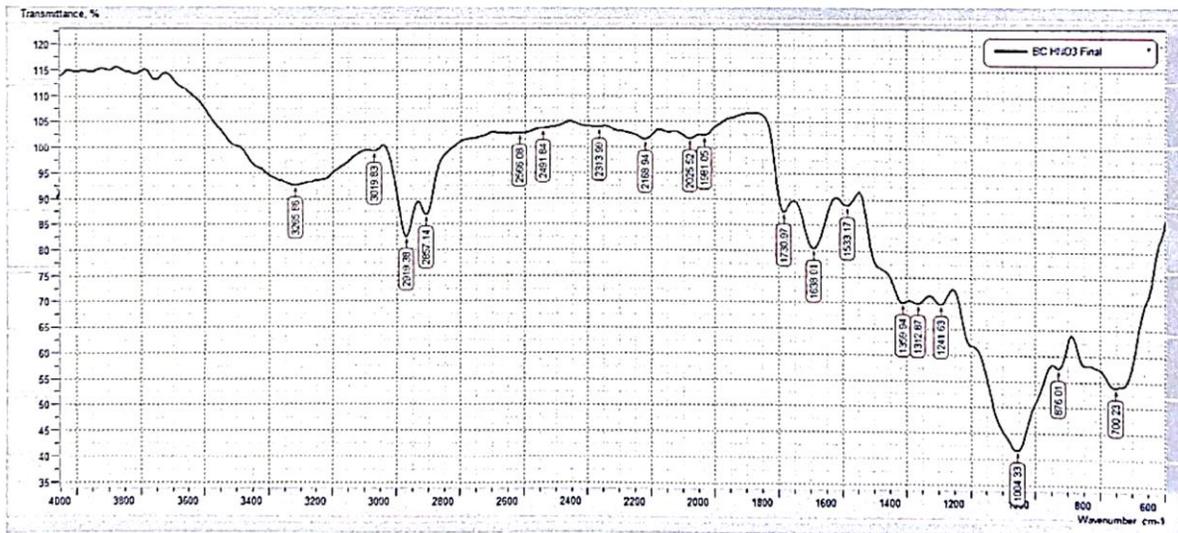


Figura 6. Espectro con picos identificados por el equipo





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



Cuadro 3. Picos resaltantes del espectro de **BC HNO₃ Final**

Nº	Wavenumber, cm-1	Transmittance, %
1	700.23	54.08527
2	876.01	57.67536
3	1004.33	41.67799
4	1241.63	69.85346
5	1312.87	70.03623
6	1359.94	70.16672
7	1533.17	88.91802
8	1638.01	80.59342
9	1730.97	87.55722
10	1981.05	102.40020
11	2025.52	101.74967
12	2168.94	101.60264
13	2313.99	103.94361
14	2491.84	103.77154
15	2566.08	102.75693
16	2857.14	86.96982
17	2919.38	82.70084
18	3019.83	99.42624
19	3265.86	92.67818



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



7. Espectro FTIR - ATR de muestra BC NaOH Final

Figura 7. Espectro general

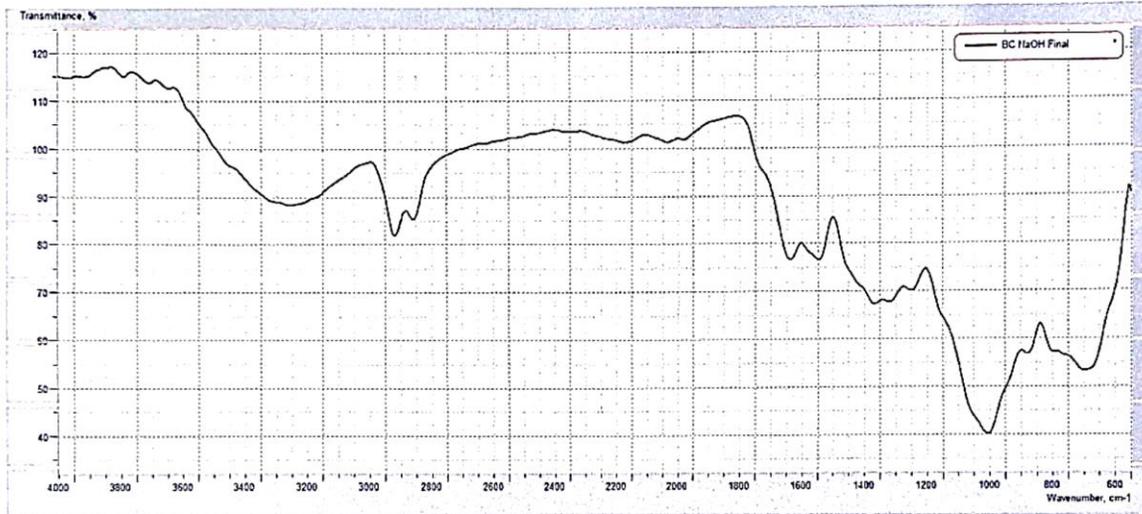
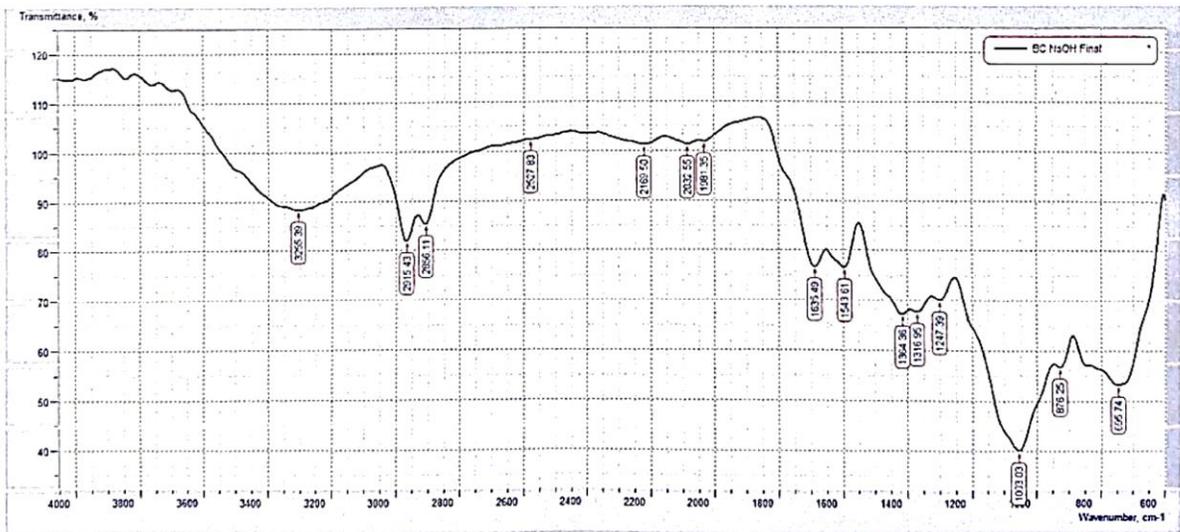


Figura 8. Espectro con picos identificados por el equipo





UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

"VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN"
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



Cuadro 4. Picos resaltantes del espectro de BC NaOH

Nº	Wavenumber, cm-1	Transmittance, %
1	695.74	53.39608
2	876.25	56.87714
3	1003.03	40.21138
4	1247.39	70.17834
5	1316.95	67.87362
6	1364.36	67.39875
7	1543.61	76.74930
8	1635.49	76.80193
9	1981.35	101.95087
10	2032.55	101.39115
11	2169.50	101.35195
12	2527.83	102.43048
13	2856.11	85.45734
14	2915.43	82.02480
15	3255.39	88.33829



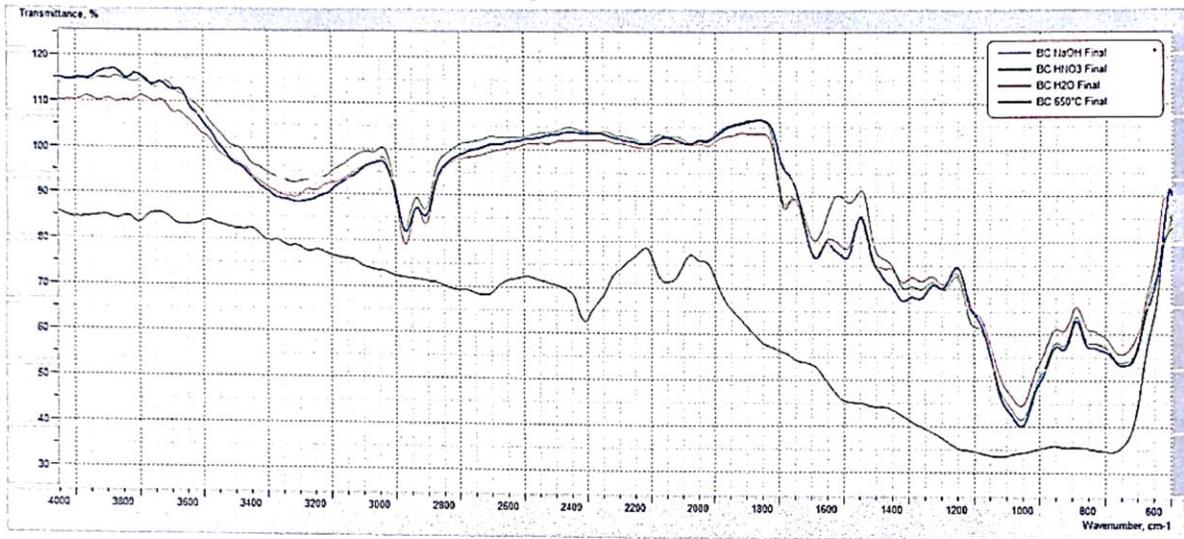
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



8. Espectro FTIR - ATR de las 4 muestras

Figura 9. Espectro de las 4 muestras



Ing. Christopher A. Del Águila Meléndez
Especialista Espectroscopía
FTIR/RAMAN - LCI

Ing. Melchor Soria Iturri
CIP/246731
Director del LCI-UNAS
Dr. Melchor Soria Iturri
Director Laboratorio Central de
Investigación - UNAS

Apéndice 2. Resultados de análisis de microscopía electrónica de barrido.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Vicerrectorado de Investigación
Laboratorio Central de Investigación
Área Microscopía Electrónica de Barrido



RESULTADOS DE ANÁLISIS

Fecha: 09 de agosto de 2023

Nombre del cliente: Rubio Zarate Filena Amelia
Institución: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Dirección Email: filenarubio@outlook.es
Muestra analizada: Borra de café pasado H₂O
Análisis solicitado: Microfotografías por microscopía electrónica de barrido y análisis elemental

Las microfotografías se obtuvieron a partir de información obtenida de un microscopio electrónico de barrido de escritorio modelo Phenom ProX con un porta muestras de reducción de carga en modo puntual y una intensidad de 15 KV. El análisis elemental se obtuvo a partir del análisis de microfotografías con el software Phenom Pro Suite en un total de 3 imágenes (Un punto una línea y un mapeo).

MICROFOTOGRAFÍAS

Muestra: Borra de Café pasado H₂O

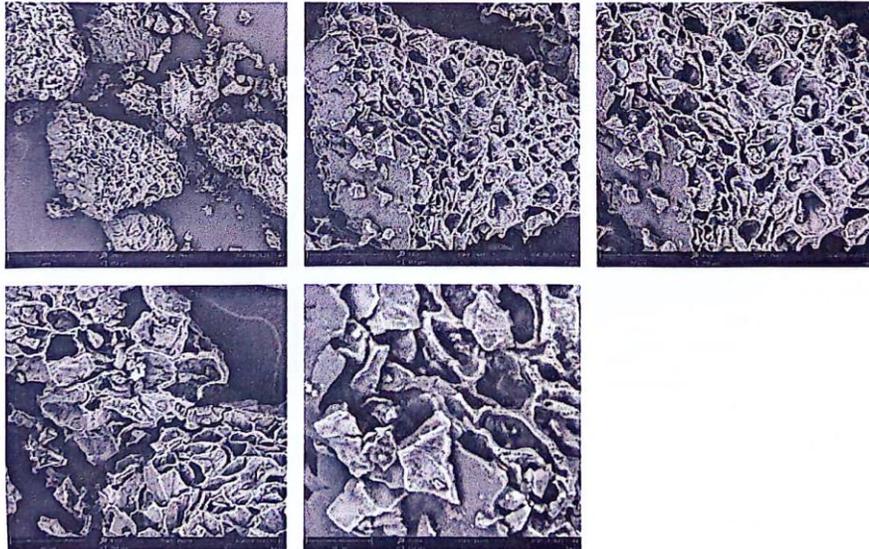


Figura 27. Microfotografías de la borra de café con lavado neutral.



Universidad Nacional Agraria de la Selva
Vicerrectorado de Investigación
Laboratorio Central de Investigación
Área Microscopía Electrónica de Barrido



RESULTADOS DE ANÁLISIS

Fecha: 11 de agosto de 2023

Nombre del cliente: Rubio Zarate Filena Amelia
Institución: Universidad Nacional Agraria de la Selva
Dirección Email: filenarubio@outlook.es
Muestra analizada: Borra de café pasado
Análisis solicitado: Microfotografías por microscopía electrónica de barrido

Las microfotografías se obtuvieron a partir de información obtenida de un microscopio electrónico de barrido de escritorio modelo Phenom ProX con un porta muestras de reducción de carga en modo puntual y una intensidad de 15 KV.

MICROFOTOGRAFÍAS

Muestra: Borra de Café pasado HNO_3

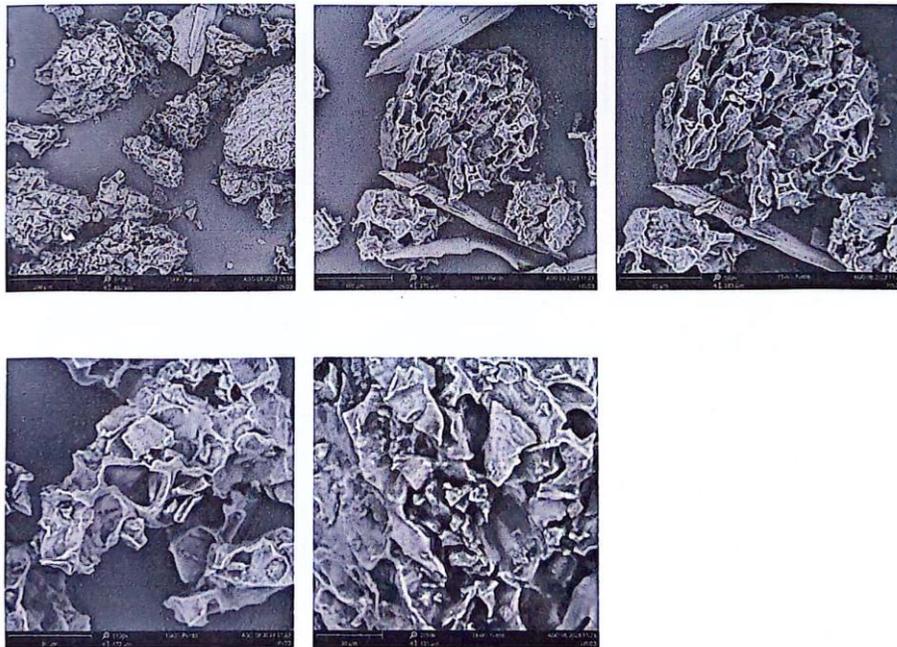
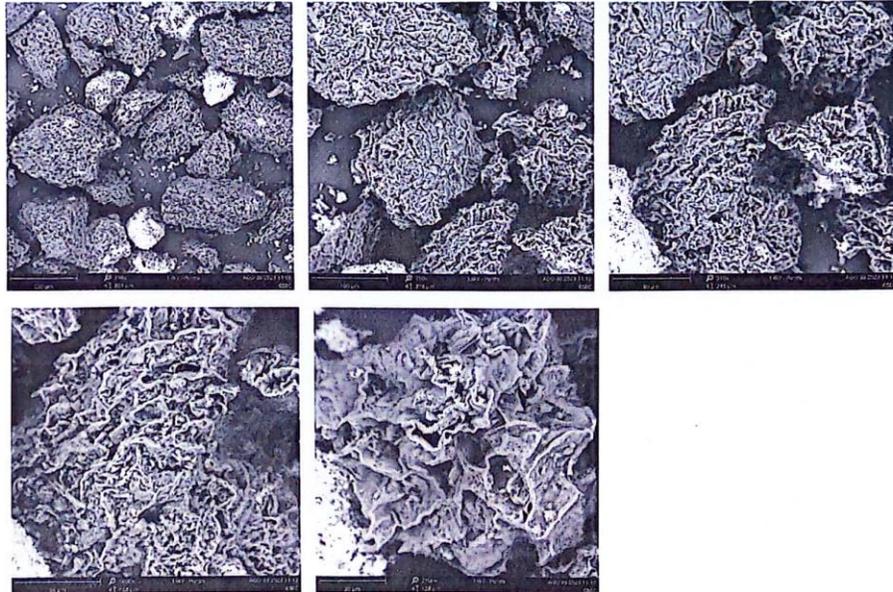


Figura 28. Microfotografías de la borra de café con lavado ácido.



Muestra: Borra de Café pasado 650°C



Muestra: Borra de Café pasado NaOH

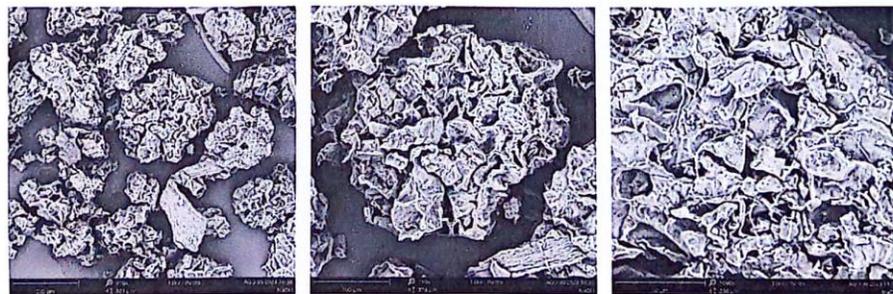
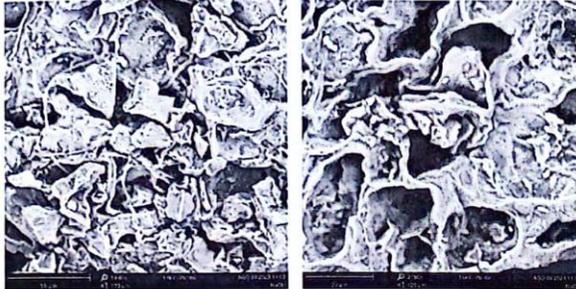


Figura 29. Microfotografías de la borra de café con proceso térmico.



Universidad Nacional Agraria de la Selva

Vicerrectorado de Investigación
Laboratorio Central de Investigación
Área Microscopía Electrónica de Barrido



Las microfotografías se envían paralelamente al correo del cliente en formato JPG.



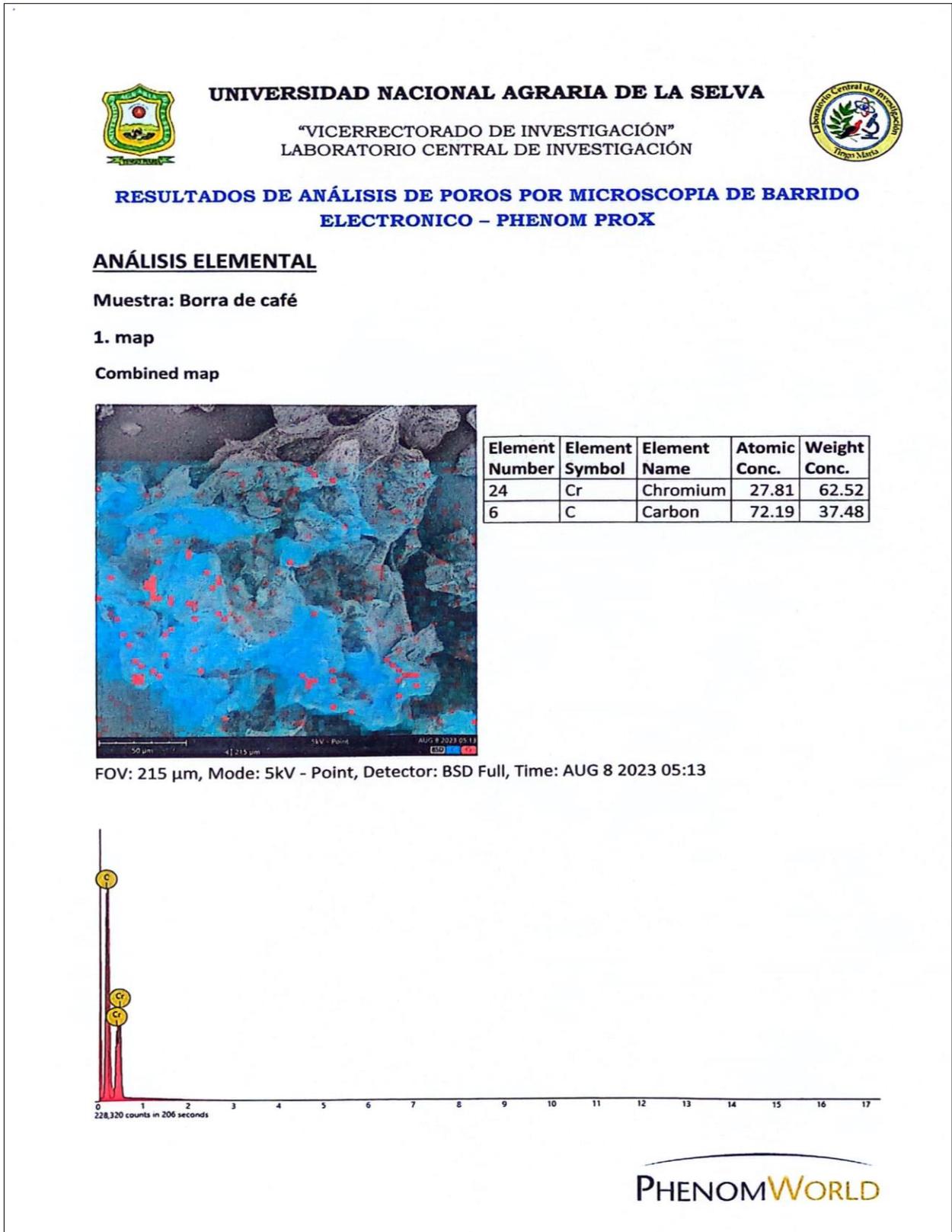

Dr. Melchor Soñá Iturri
Director Laboratorio Central de Investigación



Ing. Darlym Reátegui Díaz
Responsable del análisis

Figura 30. Microfotografías de la borra de café con lavado básico.

Tabla 28. Resultados del análisis elemental en la borra de café sin modificación.





Universidad Nacional Agraria de la Selva
 Vicerrectorado de Investigación
 Laboratorio Central de Investigación
 Área Microscopía Electrónica de Barrido



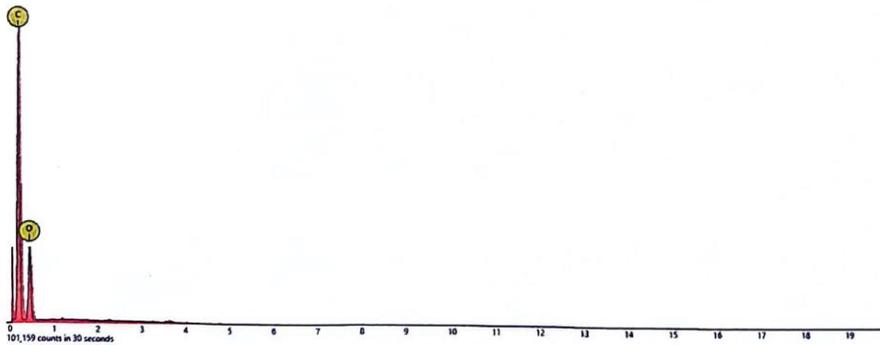
ANÁLISIS ELEMENTAL:

1. Imagen 1 (Puntual)



Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	70.88	64.63
8	O	Oxygen	29.12	35.37

FOV: 295 µm, Mode: 15kV - Point, Detector: BSD Full, Time: AUG 8 2023 05:24

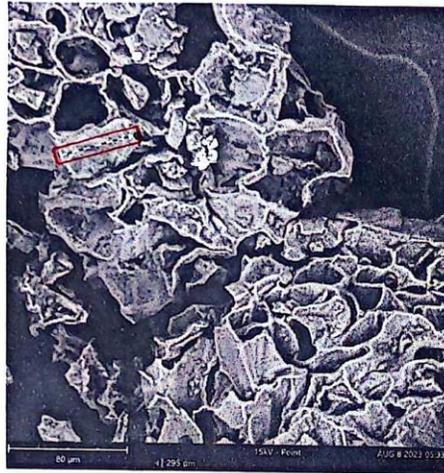




Universidad Nacional Agraria de la Selva
 Vicerrectorado de Investigación
 Laboratorio Central de Investigación
 Área Microscopía Electrónica de Barrido

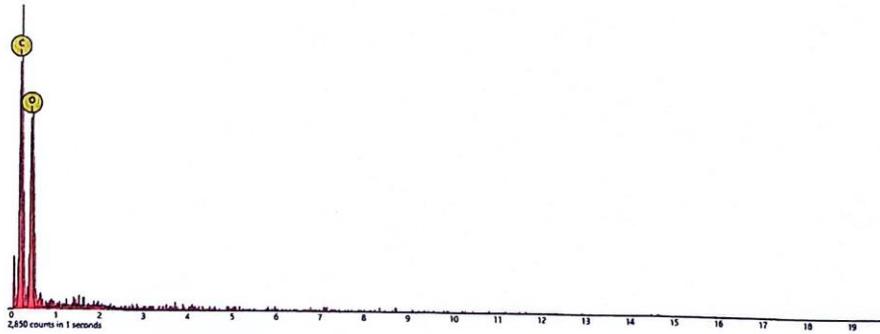


2. Imagen 2 (Línea)



Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
8	O	Oxygen	44.25	51.39
6	C	Carbon	55.75	48.61

FOV: 295 µm, Mode: 15kV - Point, Detector: BSD Full, Time: AUG 8 2023 05:33





Universidad Nacional Agraria de la Selva
 Vicerrectorado de Investigación
 Laboratorio Central de Investigación
 Área Microscopía Electrónica de Barrido



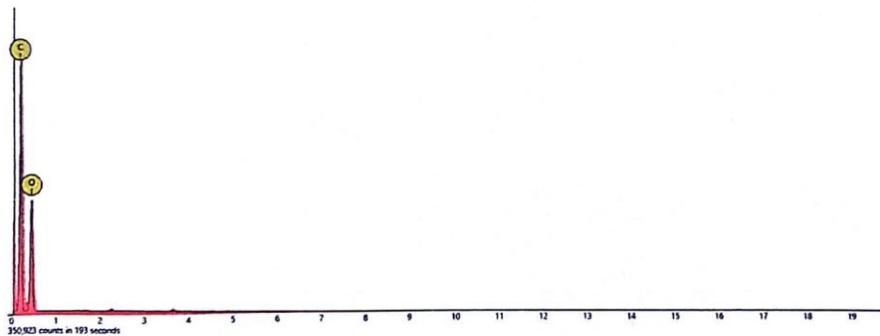
3. Imagen 3 (Mapeo)

Combined map



Element Number	Element Symbol	Element Name	Atomic Conc.	Weight Conc.
6	C	Carbon	63.25	56.37
8	O	Oxygen	36.75	43.63

FOV: 295 µm, Mode: 15kV - Point, Detector: BSD Full, Time: AUG 8 2023 05:35



Las microfotografías se envían paralelamente al correo del cliente en formato JPG.



[Signature]
Dr. Melchor Soria Iturri
 Director Laboratorio Central de Investigación

[Signature]

Ing. Darlym Reátegui Díaz
 Responsable del análisis

Tabla 29. Resultados del análisis de poros en la borra de café sin modificación.

UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



Pore properties

1 image with a total of 53 Pores

Average Pore Area Ratio is 58.71%, calculated for 1 image

Property	Median	Average
Circle equivalent diameter	8.21 μm	9.54 μm
Major axis	12.1 μm	13.3 μm
Minor axis	6.13 μm	7.02 μm
Circumference	33.1 μm	41.4 μm
Convex hull	31.6 μm	37.1 μm
Circumscribed circle diameter	13.7 μm	15.2 μm
Area	52.9 μm^2	83.4 μm^2
Volume by area	290 μm^3	742 μm^3
Pixel count	1552	2444
Aspect ratio	0.554	0.551
Circularity	0.601	0.595
Convexity	0.947	0.926
Elongation	0.446	0.449
Grayscale	175	180
Inscribed circle diameter	5.6 μm	6.22 μm



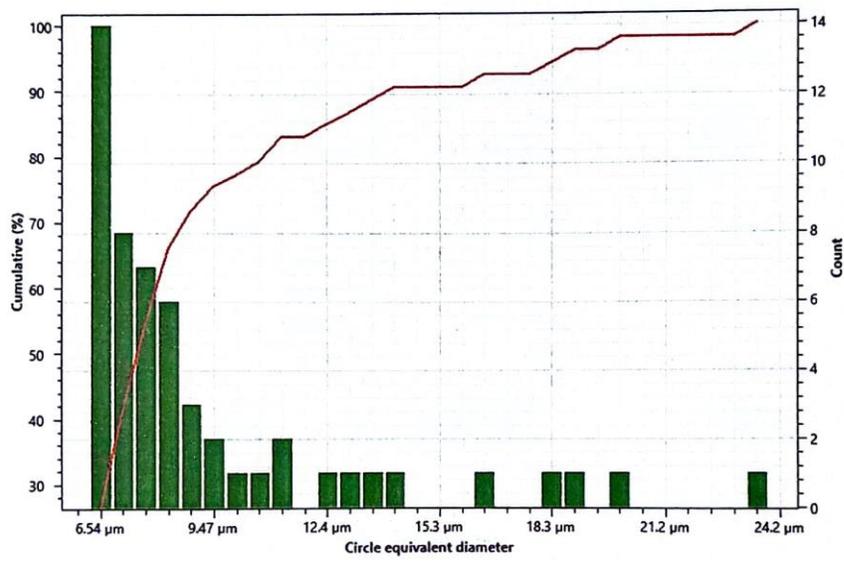
UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

“VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN”
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



Graphs

Graph is not including manual measurements.



Apéndice 4. Mediciones de cobre y plomo en la borra de café



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANÁLISIS

SOLICITANTE RUBIO ZARATE, Filena Amelia

DEPARTAMENTO Huánuco
PROVINCIA : Leoncio Prado
DISTRITO : Rupa Rupa

N°	CODIGO		DATOS DE LA MUESTRA			Pb	Cu
	Cod.	Año	Muestra	Trat.	Cod. Sol.	mg/kg	mg/kg
1	ICP 584	2023	Residuo de café	Digestión	BC-H2O	0.738	5.248
2	ICP 585	2023	Residuo de café	Digestión	BC-H2O-R1	7.995	14.185
3	ICP 586	2023	Residuo de café	Digestión	BC-H2O-R2	6.920	17.055
4	ICP 587	2023	Residuo de café	Digestión	BC-H2O-R3	9.225	15.015
5	ICP 588	2023	Residuo de café	Digestión	BC-H2O-R4	9.295	15.825
6	ICP 589	2023	Residuo de café	Digestión	BC-H2O-R5	9.020	15.890
7	ICP 590	2023	Residuo de café	Digestión	BC-NaOH	1.208	9.725
8	ICP 591	2023	Residuo de café	Digestión	BC-NaOH-R1	10.490	15.375
9	ICP 592	2023	Residuo de café	Digestión	BC-NaOH-R2	10.255	17.190
10	ICP 593	2023	Residuo de café	Digestión	BC-NaOH-R3	11.085	16.495
11	ICP 594	2023	Residuo de café	Digestión	BC-NaOH-R4	11.595	17.665
12	ICP 595	2023	Residuo de café	Digestión	BC-NaOH-R5	13.775	16.995
13	ICP 596	2023	Residuo de café	Digestión	BC-HNO3	1.663	8.750
14	ICP 597	2023	Residuo de café	Digestión	BC-HNO3-R1	9.845	14.450
15	ICP 598	2023	Residuo de café	Digestión	BC-HNO3-R2	8.810	12.010
16	ICP 599	2023	Residuo de café	Digestión	BC-HNO3-R3	9.985	14.905
17	ICP 600	2023	Residuo de café	Digestión	BC-HNO3-R4	10.800	14.845
18	ICP 601	2023	Residuo de café	Digestión	BC-HNO3-R5	11.325	14.995
19	ICP 602	2023	Residuo de café	Digestión	BC-650°C	1.003	85.950
20	ICP 603	2023	Residuo de café	Digestión	BC-650°C-R1	6.485	139.450
21	ICP 604	2023	Residuo de café	Digestión	BC-650°C-R2	8.270	132.150
22	ICP 605	2023	Residuo de café	Digestión	BC-650°C-R3	6.250	134.750
23	ICP 606	2023	Residuo de café	Digestión	BC-650°C-R4	6.855	138.000
24	ICP 607	2023	Residuo de café	Digestión	BC-650°C-R5	9.610	135.950

Metodo: Determinación de elementos por espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICPOES)

Recibo : 24724

Fecha : 16/10/2023

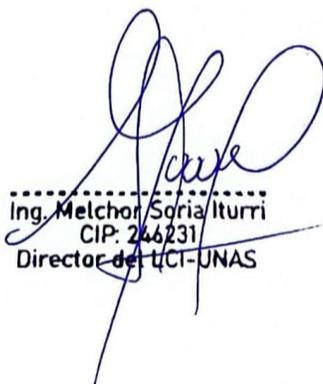

.....
Ing. Melchor Soria Iturri
CIP: 244231
Director del LCI-UNAS

Figura 31. Reporte de las concentraciones de Cu y Pb (mg/kg) en la borra de café.

Apéndice 4. Descriptivos de la borra de café.

Tabla 30. Determinación de humedad en la borra de café.

Peso inicial (g)	Peso seco 105°C (g)	% de humedad
1520,00	1025,36	48,24

Tabla 31. Mediciones del rendimiento de las modificaciones de la borra de café.

Modificaciones	Peso inicial (g)	Peso final (g)	Rendimiento %
BC - H ₂ O	1025,36	875,10	85,35
BC - NaOH	343,01	239,60	69,85
BC - HNO ₃	207,49	152,02	73,27
BC - 650°C	2097,81	71,23	3,40

Tabla 32. Mediciones de las modificaciones de la borra de café en los tamices.

	Granos < 250 µm	Granos 500 -250 µm	Granos 500 - 600 µm	Suma	% Grano < 250 µm	% Granos 500 -250 µm	% Granos 500 - 600 µm
BC - H ₂ O	7,63	65,72	29,78	103,12	7,4	63,7	28,9
BC - NaOH	11,32	97,61	105,87	214,81	5,3	45,4	49,3
BC - HNO ₃	15,34	91,86	49,25	156,45	9,8	58,7	31,5
BC - 650°C	25,87	-	-	25,87	100,0	-	-

Tabla 33. Recuperación de la borra de café después del proceso de adsorción.

Modificaciones	Peso inicial (g)	Peso final	% recuperación
BC H ₂ O - R1	1,00	0,95	94,90
BC H ₂ O - R2	1,00	0,92	92,00
BC H ₂ O - R3	1,00	0,91	90,60
BC H ₂ O - R4	1,00	0,95	95,30
BC H ₂ O - R5	1,00	0,95	95,20
BC NaOH - R1	1,00	0,92	92,30
BC NaOH - R2	1,00	0,98	97,50
BC NaOH - R3	1,00	0,85	84,60
BC NaOH - R4	1,00	0,87	86,60
BC NaOH - R5	1,00	0,84	83,50
BC HNO ₃ - R1	1,00	0,96	96,00
BC HNO ₃ - R2	1,00	0,96	96,00
BC HNO ₃ - R3	1,00	0,99	99,00
BC HNO ₃ - R4	1,00	1,00	100,00
BC HNO ₃ - R5	1,00	1,00	100,00

Continuación de la Tabla 25...

BC 650°C - R1	1,00	0,95	95,00
BC 650°C - R2	1,00	0,95	95,00
BC 650°C - R3	1,00	0,88	88,00
BC 650°C - R4	1,00	0,92	92,00
BC 650°C - R5	1,00	0,96	96,00

Tabla 34. Capacidad de bioadsorción en la borra de café.

Tratamiento	q_e – Pb *	q_e – Cu *
T01	0,02970	0,02058
T02	0,03504	0,0128
T03	0,03358	0,02186
T04	0,02588	0,0197
T05	0,02412	0,02132
Promedio	0,02966	0,01925
T11	0,0454	0,03514
T12	0,04098	0,04052
T13	0,04644	0,03862
T14	0,04708	0,03636
T15	0,04596	0,04012
Promedio	0,04517	0,03815
T21	0,04894	0,03868
T22	0,04790	0,04172
T23	0,04690	0,04058
T24	0,04900	0,03934
T25	0,04938	0,04264
Promedio	0,04842	0,04059
T31	0,04324	0,03912
T32	0,04156	0,0389
T33	0,04382	0,0378
T34	0,04106	0,0352
T35	0,03808	0,0389
Promedio	0,04155	0,03798
T41	0,04862	0,01466
T42	0,05338	0,02064
T43	0,05346	0,01608
T44	0,04784	0,01356
T45	0,04846	0,02096
Promedio	0,05035	0,01718

* expresa miligramos de metal por gramo de borra de café.

Anexo B. Detalles de las mediciones en el lixiviado.

Apéndice 1. Características físicas, químicas y microbiológicas del lixiviado.

Tabla 35. Mediciones de oxígeno disuelto en el lixiviado.

Oxígeno Disuelto (mg/L)		
Repeticiones	Valor	Promedio
R1	0,26	0,29
R2	0,22	
R3	0,4	

Tabla 36. Mediciones de nitrógeno total en el lixiviado.

Nitrógeno Total Kjeldahl (mg/L)		
Repeticiones	Valor	Promedio
R1	463,85	478,02
R2	471,58	
R3	498,64	

Tabla 37. Mediciones de la DBO5 en el lixiviado.

Repeticiones	OD inicial	OD inicial-AD	OD residual	OD residual-AD	DBO₅
R1	5,89	5,50	4,20	4,76	95,95
R2	6,58	5,50	3,90	5,03	223,21
R3	5,97	5,50	4,10	4,94	132,31
Promedio					150,49

Tabla 38. Mediciones de la DQO en el lixiviado.

Demanda Química de Oxígeno (mg/L)		
Repeticiones	Valor	Promedio
R1	1147	1146
R2	1136	
R3	1155	

Tabla 39. Mediciones de turbidez en el lixiviado.

Turbidez (NTU)		
Repeticiones	Valor	Promedio
R1	101	103,67
R2	103	
R3	107	

Apéndice 2. Resultados de los análisis de cobre y plomo en el lixiviado.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA

TINGO MARIA
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN
LABORATORIO CENTRAL DE INVESTIGACIÓN



ANÁLISIS

SOLICITANTE RUBIO ZARATE, Filena Amelia

DEPARTAMENTO Huánuco
PROVINCIA : Leoncio Prado
DISTRITO : Rupa Rupa

N°	CODIGO		DATOS DE LA MUESTRA			Pb	Cu
	Cod.	Año	Muestra	Trat.	Cod. Soll.	mg/kg	mg/kg
1	ICP 558	2023	Lixiviado	Digestión	L(I)-F	0.283	0.341
2	ICP 559	2023	Lixiviado	Digestión	T01	0.134	0.238
3	ICP 560	2023	Lixiviado	Digestión	T02	0.107	0.277
4	ICP 561	2023	Lixiviado	Digestión	T03	0.115	0.232
5	ICP 562	2023	Lixiviado	Digestión	T04	0.153	0.243
6	ICP 563	2023	Lixiviado	Digestión	T05	0.162	0.235
7	ICP 564	2023	Lixiviado	Digestión	T11	0.056	0.166
8	ICP 565	2023	Lixiviado	Digestión	T12	0.078	0.139
9	ICP 566	2023	Lixiviado	Digestión	T13	0.050	0.148
10	ICP 567	2023	Lixiviado	Digestión	T14	0.047	0.159
11	ICP 568	2023	Lixiviado	Digestión	T15	0.053	0.141
12	ICP 569	2023	Lixiviado	Digestión	T21	0.038	0.148
13	ICP 570	2023	Lixiviado	Digestión	T22	0.043	0.133
14	ICP 571	2023	Lixiviado	Digestión	T23	0.048	0.197
15	ICP 572	2023	Lixiviado	Digestión	T24	0.038	0.145
16	ICP 573	2023	Lixiviado	Digestión	T25	0.036	0.128
17	ICP 574	2023	Lixiviado	Digestión	T31	0.066	0.146
18	ICP 575	2023	Lixiviado	Digestión	T32	0.074	0.147
19	ICP 576	2023	Lixiviado	Digestión	T33	0.064	0.152
20	ICP 577	2023	Lixiviado	Digestión	T34	0.077	0.165
21	ICP 578	2023	Lixiviado	Digestión	T35	0.092	0.147
22	ICP 579	2023	Lixiviado	Digestión	T41	0.039	0.268
23	ICP 580	2023	Lixiviado	Digestión	T42	0.016	0.238
24	ICP 581	2023	Lixiviado	Digestión	T43	0.015	0.261
25	ICP 582	2023	Lixiviado	Digestión	T44	0.043	0.273
26	ICP 583	2023	Lixiviado	Digestión	T45	0.040	0.236

Metodo: Determinación de elementos por espectrofotómetro de emisión óptica con plasma acoplado inductivamente (ICPOES)

Reclbo : 24724

Fecha : 16/10/2023

.....
Ing. Melchor Soria Iturri
CIP: 246281
Director del LCI-UNAS

Figura 32. Reporte de las concentraciones de Cu y Pb (mg/L) en el lixiviado.

Tabla 42. Eficiencias de remoción de Cu y Pb sin borra de café.

Testigo (solo agitación)	Remoción Pb (%)	Remoción Cu (%)
T01	52,58	30,25
T02	62,14	18,82
T03	59,31	32,00
T04	45,86	28,78
T05	42,68	31,13
Promedio	52,51	28,19

Tabla 43. Eficiencias de remoción de Cu y Pb con BC con lavado neutral.

Adsorción con BC-H₂O	Remoción Pb (%)	Remoción Cu (%)
T11	80,33	51,49
T12	72,51	59,38
T13	82,17	56,59
T14	83,30	53,28
T15	81,32	58,79
Promedio	79,92	55,91

Tabla 44. Eficiencias de remoción de Cu y Pb con BC con lavado básico.

Adsorción con BC-NaOH	Remoción Pb (%)	Remoción Cu (%)
T21	86,59	56,68
T22	84,75	61,14
T23	82,98	59,49
T24	86,69	57,65
T25	87,37	62,49
Promedio	85,68	56,03

Tabla 45. Eficiencias de remoción de Cu y Pb con BC con lavado ácido.

Adsorción con BC-HNO₃	Remoción Pb (%)	Remoción Cu (%)
T31	76,50	57,33
T32	73,53	57,00
T33	77,53	55,39
T34	72,65	51,58
T35	67,37	57,00
Promedio	73,52	55,66

Tabla 46. Eficiencias de remoción de Cu y Pb con BC con proceso térmico.

Adsorción con BC-650°C	Remoción Pb (%)	Remoción Cu (%)
T41	86,02	21,48
T42	94,44	30,25
T43	94,59	23,56
T44	84,64	19,87
T45	85,74	30,72
Promedio	89,09	25,18

Tabla 47. Prueba de normalidad con Shapiro-Wilk.

Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
Cu	25	44,89	15,68	0,78	<0,0001
Pb	25	76,14	14,02	0,87	0,0077

Tabla 48. Prueba de normalidad con Shapiro-Wilk en grupos.

Tratamiento	Variable	n	Media	D.E.	W*	p (Unilateral D)
T0	Cu	5	28,2	5,37	0,76	0,0388
T0	Pb	5	52,51	8,36	0,91	0,5490
T1	Cu	5	55,91	3,44	0,89	0,4238
T1	Pb	5	79,93	4,29	0,80	0,0890
T2	Cu	5	59,49	2,40	0,95	0,7309
T2	Pb	5	85,68	1,79	0,89	0,3765
T3	Cu	5	55,66	2,4	0,77	0,0500
T3	Pb	5	73,52	3,99	0,93	0,6161
T4	Cu	5	25,18	5,02	0,84	0,1830
T4	Pb	5	89,09	4,98	0,74	0,0223

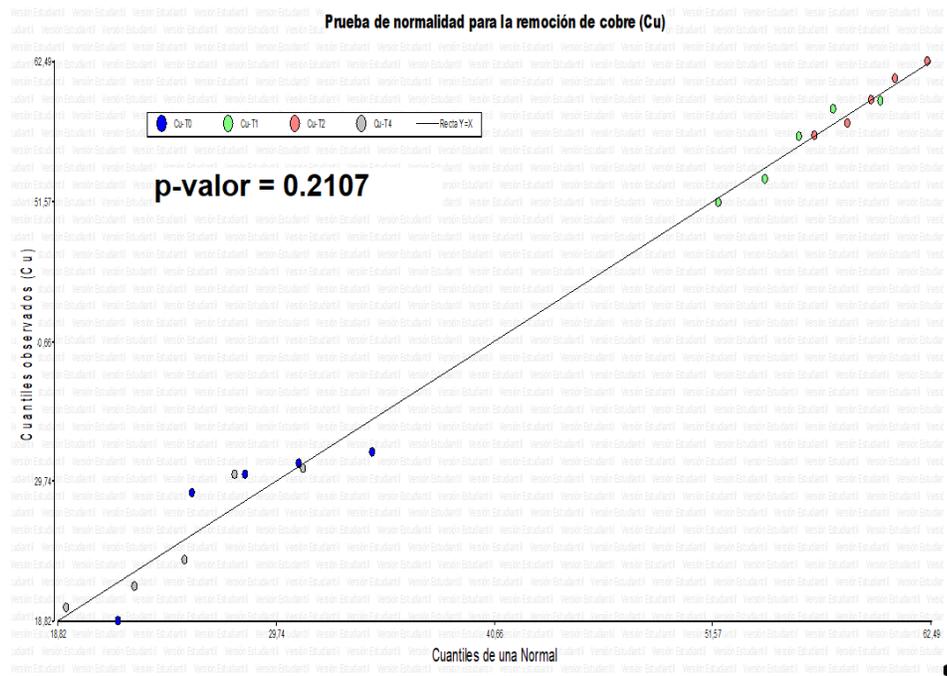


Figura 33. Línea de tendencia para la remoción de cobre.

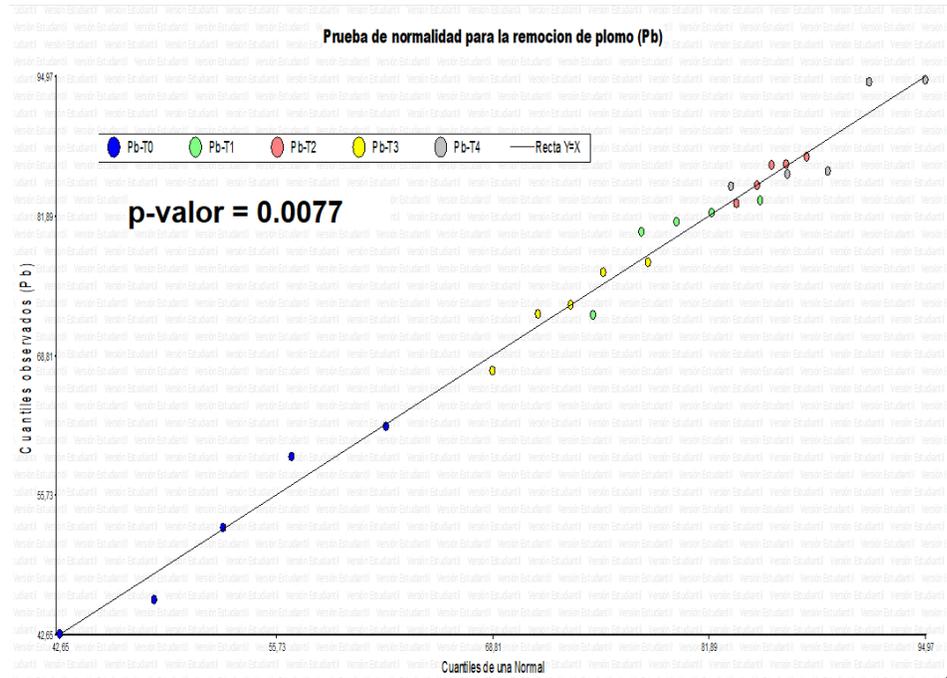


Figura 34. Línea de tendencia para la remoción de plomo.

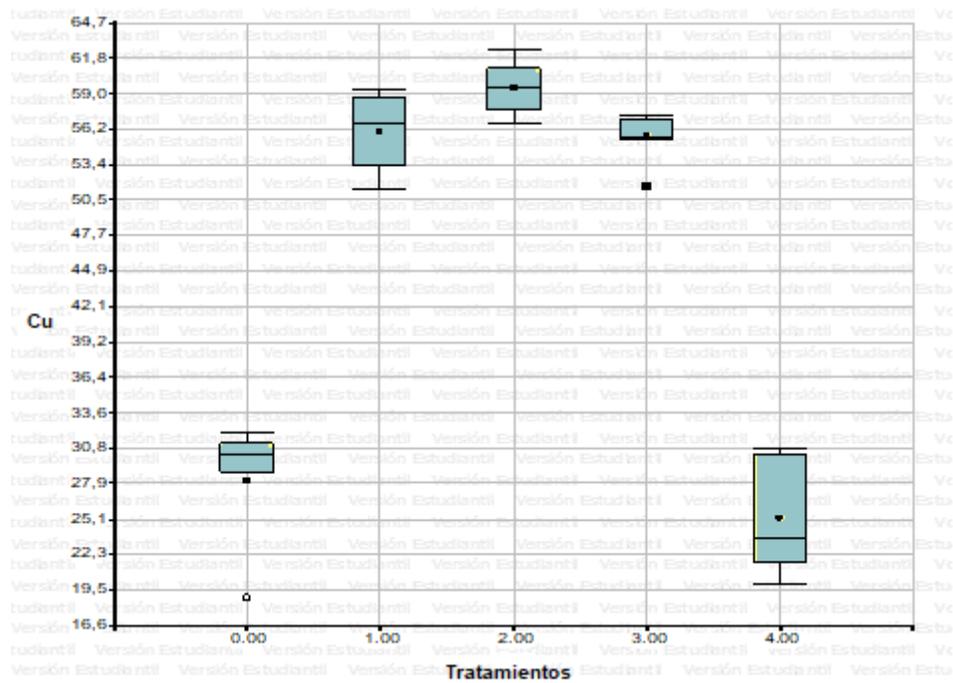


Figura 35. Diagrama de cajas para la remoción de cobre según las pruebas.

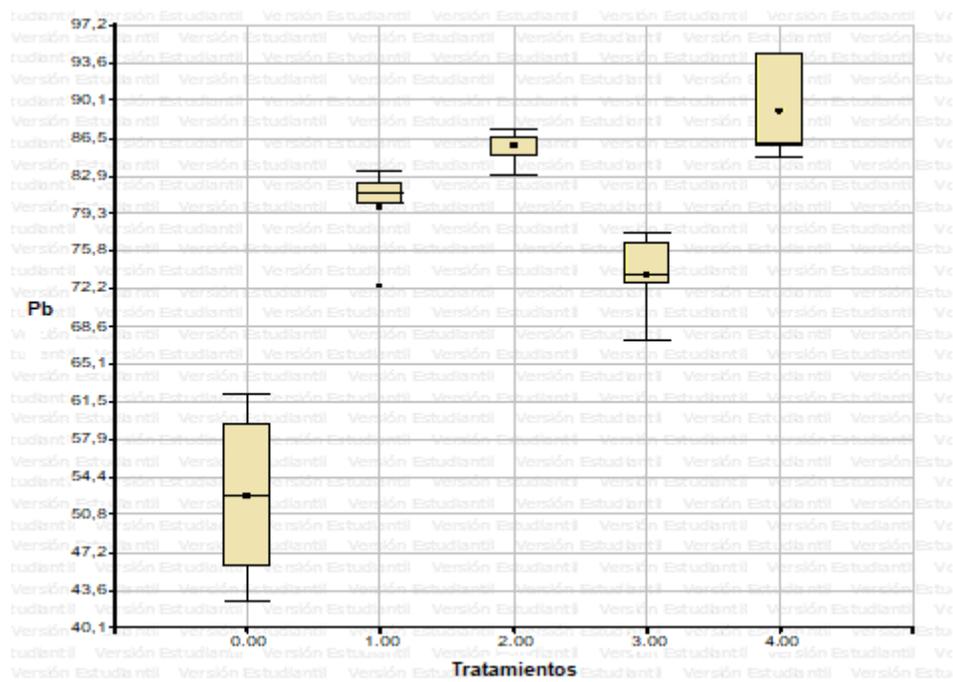


Figura 36. diagrama de cajas para la remoción de plomo según las pruebas.

Apéndice 3. Descriptivos de las características fisicoquímicas del lixiviado**Tabla 49.** Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T0.

Trat	Variable	n	Media	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
0	pH	5	7,26	0,03	1,04	7,17	7,34	7,26	7,19	7,32
0	T	5	22,6	0,11	1,13	22,2	22,9	22,6	22,6	22,7
0	Cond	5	13834	67,28	1,09	13610	14010	13860	13780	13910
0	TDS	5	6900	31,62	1,02	6790	6970	6910	6880	6950
0	Sal	5	0,76	4,90E-03	1,45	0,74	0,77	0,76	0,76	0,76
0	ORP	5	-87,6	2,06	5,27	-94	-81	-88	-88	-87

Tabla 50. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T1.

Trat	Variable	n	Media	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
1	pH	5	7,66	0,07	1,97	7,48	7,86	7,68	7,54	7,72
1	T	5	23,12	0,04	0,36	23	23,2	23,1	23,1	23,2
1	Cond	5	13564	63,77	1,05	13360	13710	13610	13480	13660
1	TDS	5	6780	31,62	1,04	6670	6840	6810	6750	6830
1	Sal	5	0,74	4,90E-03	1,48	0,73	0,75	0,75	0,73	0,75
1	ORP	5	-125	7,43	13,29	-152	-108	-123	-126	-116

Tabla 51. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T2.

Trat	Variable	n	Media	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
2	pH	5	7,29	0,11	3,26	7,08	7,64	7,16	7,15	7,44
2	T	5	22,94	0,05	0,5	22,8	23,1	22,9	22,9	23
2	Cond	5	13542	47,05	0,78	13360	13630	13570	13560	13590
2	TDS	5	6733,2	21,22	0,7	6680	6800	6740	6696	6750
2	Sal	5	0,73	3,20E-03	0,97	0,72	0,74	0,73	0,73	0,73
2	ORP	5	-170,2	4,08	5,36	-180	-158	-172	-177	-164

Tabla 52. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T3.

Trat	Variable	n	Media	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
3	pH	5	5,39	0,41	17,08	4,27	6,43	5,65	4,6	5,99
3	T	5	24,14	0,12	1,12	23,8	24,5	24,1	24	24,3
3	Cond	5	14515	75,93	1,17	14270	14750	14520	14515	14520
3	TDS	5	7277,6	34,84	1,07	7170	7390	7278	7270	7280
3	Sal	5	0,8	4,90E-03	1,37	0,79	0,82	0,8	0,8	0,8
3	ORP	5	-109,4	10,71	21,89	-134	-75	-120	-123	-95

Tabla 53. Características fisicoquímicas después del proceso de adsorción – T4.

Trat	Variable	n	Media	E.E.	CV	Mín	Máx	Mediana	Q1	Q3
4	pH	5	7,64	0,02	0,61	7,58	7,71	7,64	7,63	7,64
4	T	5	22,7	0,05	0,54	22,6	22,9	22,7	22,6	22,7
4	Cond	5	13880	10	0,16	13850	13910	13880	13870	13890
4	TDS	5	6939	5,34	0,17	6925	6955	6940	6930	6945
4	Sal	5	0,76	2,00E-03	0,59	0,76	0,77	0,76	0,76	0,76
4	ORP	5	-88,6	3,78	9,53	-103	-81	-86	-88	-85

Anexo C. Panel fotográfico.



Figura 37. Recolección de la borra de café en la cafetería puro Aroma.



Figura 38. Lavado con agua destilada de la borra de café.



Figura 39. Proceso de escurrido en los lavados.



Figura 40. Lavado de la BC con agua estéril de inyección.



Figura 41. Preparación de las soluciones de NaOH al 0.01M.



Figura 42. Agitación magnética para la impregnación del NaOH en la BC.



Figura 43. Secado de la BC con lavado básico.



Figura 44. Medición del pH en las borras de café con modificaciones.



Figura 45. Agitación magnética para la impregnación del HNO_3 en la BC.



Figura 46. Mediciones en la BC – HNO_3 (temperatura, CE, TDS y ORP).



Figura 47. Mediciones en la BC – NaOH (temperatura, CE, TDS y ORP).



Figura 48. Calcinación de la BC a 650°C (laboratorio de suelos).



Figura 49. Obtención de la BC - 650°C y la eliminación de cenizas.



Figura 50. Mediciones en la BC – 650°C (temperatura, CE, TDS y ORP).



Figura 51. Modificaciones de la borra de café.



Figura 52. Recolección de la muestra de lixiviado.



Figura 53. Última sección del pozo de lixiviados.



Figura 54. Traslado de las muestras de lixiviado.



Figura 55. Medición de Oxígeno Disuelto.



Figura 56. Medición de Demanda Bioquímica de Oxígeno.



Figura 57. Medición de la turbidez.



Figura 58. Medición de Sólidos Totales Volátiles y Sólidos Suspensos Totales.



Figura 59. Medición de nitratos y nitritos.



Figura 60. Medición de fosfatos.



Figura 61. Destilación por el método Kjeldahl.



Figura 62. Titulación con ácido sulfúrico para determinar nitrógeno total.



Figura 63. Medición de la Demanda Química de Oxígeno.

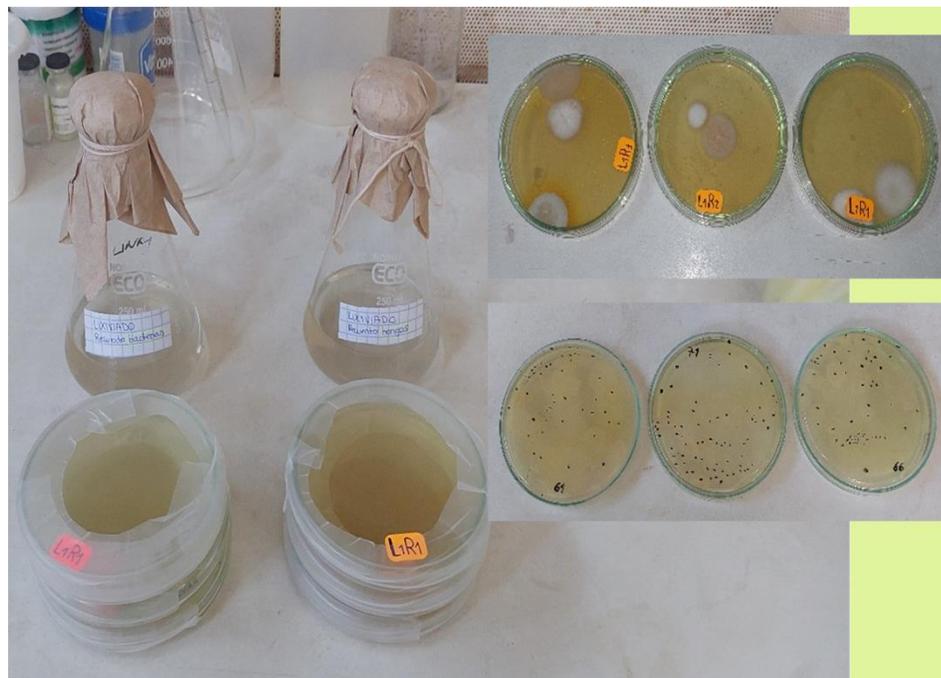


Figura 64. Recuento de hongos y bacterias.



Figura 65. Determinación de coliformes totales y *Escherichia coli*.



Figura 66. Regulación de pH y dosificación de la borra de café.



Figura 67. Regulación de pH y agitación de la prueba 0.



Figura 68. Agitación y filtrado de la prueba 1.



Figura 69. Agitación y filtrado de la prueba 2.



Figura 70. Agitación de la prueba 3.



Figura 71. Agitación y filtrado de la prueba 4.



Figura 72. Supervisión del Presidente de jurados.



Figura 73. Recolección de la borra de café después del proceso de adsorción.



Figura 74. Digestión ácida de los remanentes de lixiviado.

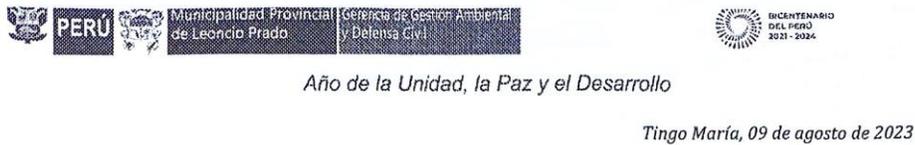


Figura 75. Digestión ácida del bioadsorbente recuperado.



Figura 76. Mediciones de la DQO después del proceso de adsorción.

Anexo D. Permisos y medios probatorios de la investigación.



CARTA N° 032-2023-GGADC/MPLP

Señora:
FILENA AMELIA RUBIO ZARATE

Presente.-

Asunto : REMITO RESPUESTA A LO SOLICITADO

Referencia : 1) Exp. N°202318595

Es sumamente grato dirigirme a usted, con la finalidad de expresarle mi cordial saludo a nombre del alcalde Ing. Marx Enderson Fuentes Reynoso de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado, y en atención al documento de la referencia (1), este despacho **AUTORIZA** el ingreso a la Celda Transitoria para realizar el recojo de muestras (lixiviados).

Asimismo, se hace de conocimiento que para el ingreso a la Celda Transitoria deberá contar de manera **obligatoria** con los Equipos de Protección Personal (EPPS), caso contrario no se permitirá el ingreso.

Para realizar las coordinaciones sírvase comunicarse con el **Ing. ELEUTERIO ADRIAN ADVINCULA** al número de **celular 961903049**, subgerente de Limpieza Pública, Parques, Jardines y Ornato de la Municipalidad Provincial de Leoncio Prado.

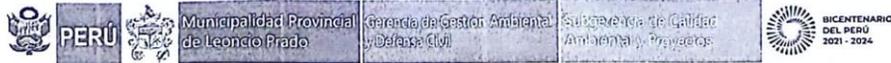
Sin otro particular, hago propicia la oportunidad para renovar las muestras de mi consideración y estima personal.

Atentamente,

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO
TINGO MARÍA
Ing. Rina Garrido García
GERENTE DE GESTIÓN AMBIENTAL Y DEFESA CIVIL

Filena Rubio Zarate
Filena Rubio Zarate
76921109

Figura 77. Autorización de la Gerencia de Gestión Ambiental y Defensa Civil



Año de la Unidad, la Paz y el Desarrollo

Tingo María, 17 de agosto de 2023

CARTA EXTERNA N° 024-2023-SGCAP/MPLP

SEÑORA:

FILENA AMELIA RUBIO ZARATE

Tesista de la Facultad de Recursos Naturales Renovables de la UNAS

PRESENTE.

Asunto : SE OTORGA FACILIDADES DE INGRESO

Referencia : a) Memorándum N°039-2023-GGADC-MPLP

Mediante la presente me dirijo a usted para saludarlo cordialmente y a la vez, manifestarle que esta subgerencia de calidad ambiental y proyectos otorga a usted facilidades de ingreso para el desarrollo de su tesis. Todo esto, basado al Memorándum N°039-2023-GGADC-MPLP de la gerencia de gestión ambiental y defensa civil.

Agradeciendo por anticipado su atención, hago propicia la ocasión para señalar las muestras de mi especial consideración y estima personal.

Atentamente;

MUNICIPALIDAD PROVINCIAL DE LEONCIO PRADO
TINGO MARÍA
Ing. Rina Garrido García
GERENTE DE CALIDAD AMBIENTAL Y PROYECTOS

Figura 78. Carta de respuesta de la Gerencia de Calidad Ambiental y Proyectos.



UNIVERSIDAD NACIONAL AGRARIA DE LA SELVA
 FACULTAD DE RECURSOS NATURALES RENOVABLES
 ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
 LABORATORIO DE MICROBIOLOGÍA GENERAL
 TINGO MARÍA



"AÑO DE LA UNIDAD LA PAZ Y EL DESARROLLO"

Tingo María, 21 de junio de 2023

CARTA N° 007-2023-LMG-EPIA-FRNR-UNAS

Br.
FILENA AMELIA RUBIO ZARATE
 Tesista Esc. Prof. Ing. Ambiental
 Presente.-

ASUNTO : AUTORIZACIÓN DE USO DE LABORATORIO MICROBIOLOGIA

De mi consideración:

Grato es dirigirme a usted para saludarle, y al mismo tiempo manifestarle que ha sido aceptada para que realice su trabajo de tesis de investigación **Capacidad de la borra de café para remover metales pesados del lixiviado generado en la celda transitoria de Rupa Rupa – Tingo María. 2023**, por lo que puede hacer uso de los equipos y de los medios y materiales que existen en el laboratorio de Microbiología General de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental, asimismo indicarle que los reactivos y/o medios que podría necesitar y que no están en existencia en el laboratorio serían adquiridos por usted si el caso lo ameritase.

Sin otro particular, quedo de usted agradeciéndole la deferencia al presente y solicitándole se sirva coordinar su labor con el técnico del laboratorio.

Atentamente,




 Dr. CÉSAR SAMUEL LÓPEZ LÓPEZ
 JEFE
 Laboratorio Microbiología General
 Esc. Prof. Ing. Ambiental – Fac. Rec. Nat. Ren. - UNAS

Figura 79. Autorización de ejecución de tesis en el Laboratorio de microbiología general.

Anexo E. Mapas.

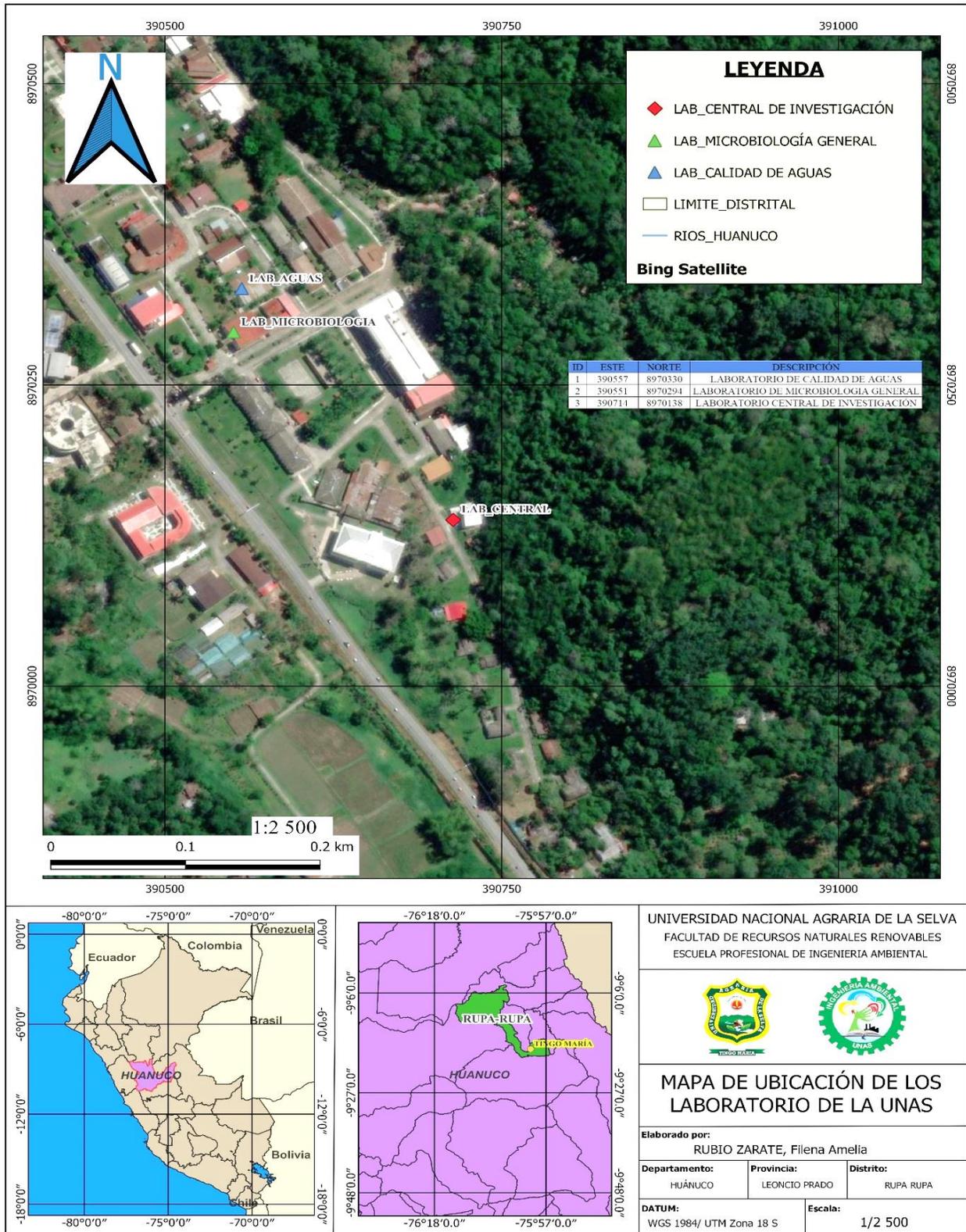


Figura 80. Mapa de ubicación de los laboratorios.

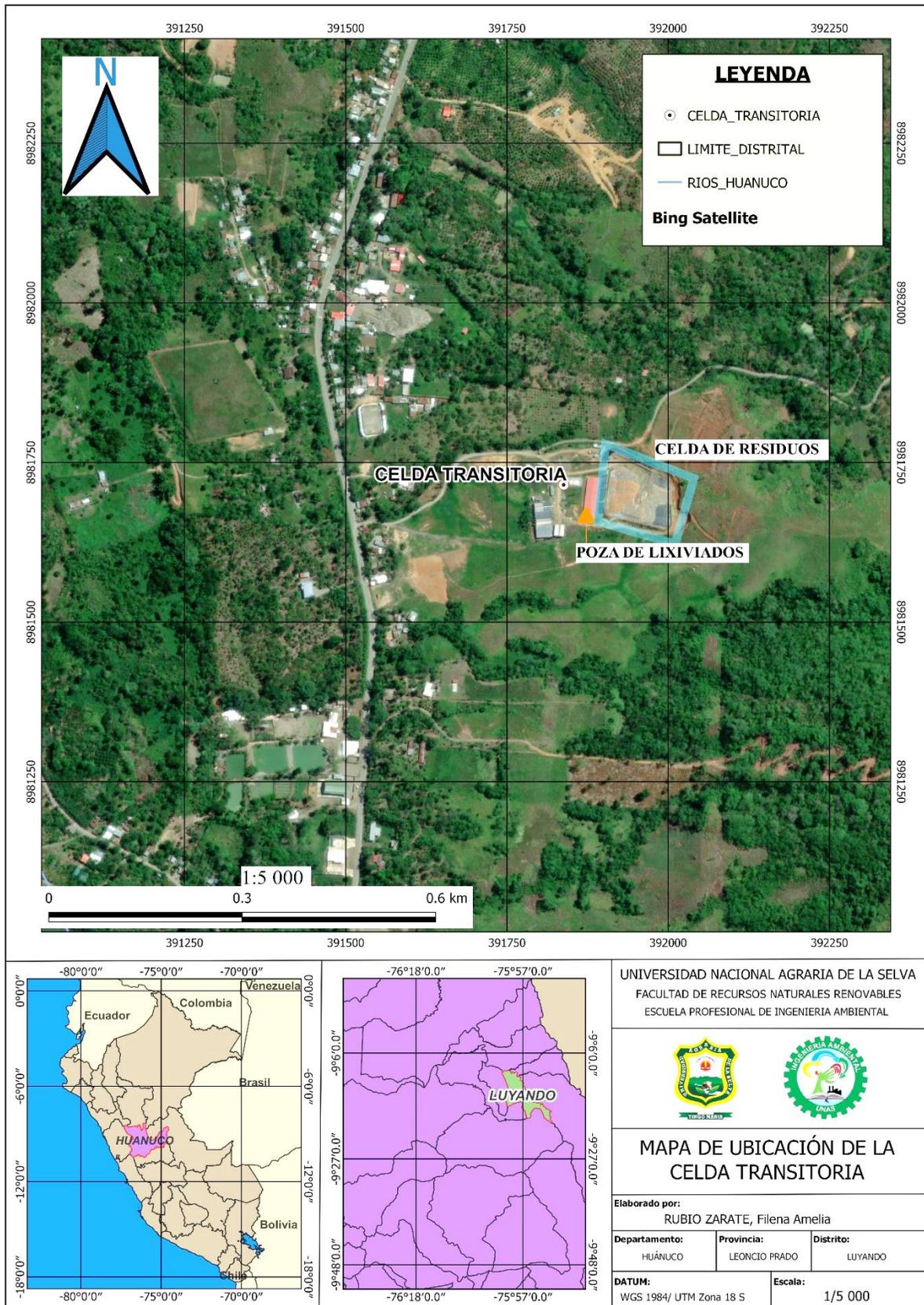


Figura 81. Mapa de ubicación de la Celda Transitoria de Rupa Rupa.