



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

**ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL**



**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE
PLOMO Y CADMIO EN EL AGUA CON CARBÓN ACTIVADO
OBTENIDO DE BIOMASA RESIDUAL DE ESPECIES FORESTALES
LUPUNA (*Chorisia integrifolia* Ulbr) Y TORNILLO (*Cedrelinga
cuteniformis*)”**

Bach. Lisbeth Carina Coaquira Huacani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor: Dr. José Luis Pineda Tapia

Juliaca, 2024

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL
Y FORESTAL



**“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE
PLOMO Y CADMIO EN EL AGUA CON CARBÓN ACTIVADO
OBTENIDO DE BIOMASA RESIDUAL DE ESPECIES FORESTALES
LUPUNA (*Chorisia integrifolia* Ulbr) Y TORNILLO (*Cedrelinga
cateniformis*)”**

Bach. Lisbeth Carina Coaquira Huacani

**TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE
INGENIERO AMBIENTAL Y FORESTAL**

Asesor:
Dr. José Luis Pineda Tapia

Juliaca, 2024.

FICHA CATALOGRÁFICA

Coaquira, L. (2024). Determinación de la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua con carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). (Tesis de pregrado). Universidad Nacional de Juliaca.

AUTOR: Lisbeth Carina Coaquira Huacani

TÍTULO: Determinación de la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua con carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y tornillo (*Cedrelinga cateniformis*).

PUBLICACIÓN: Juliaca, 2024.

DESCRIPCIÓN: Cantidad de Paginas (137 pp.).

NOTA: Tesis - Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal - Universidad Nacional de Juliaca.

CÓDIGO: 01-000038-01/C72

NOTA: Incluye bibliografía.

ASESOR DE TESIS: Dr. José Luis Pineda Tapia

PALABRAS CLAVE: Biomasa residual, cadmio, carbón activado, Lupuna, plomo y tornillo.

FACULTAD DE CIENCIAS DE LA INGENIERÍA

ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERIA AMBIENTAL Y FORESTAL

“DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL AGUA CON CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE BIOMASA RESIDUAL DE ESPECIES FORESTALES LUPUNA (*Chorisia integrifolia* Ulbr) Y TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis*)”

TESIS PARA OPTAR EL TÍTULO DE INGENIERO EN INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL

Presentado por:

Bach. LISBETH CARINA COAQUIRA HUACANI

Sustentada y aprobada ante el siguiente jurado:

Dr. Wile Mamani Navarro

PRESIDENTE DE JURADO

M.Sc. Godofredo Huanca Chambi

JURADO (Secretario)

M.Sc. Yesica Magnolia Mamani Arpasi

JURADO (Vocal)

2° MIEMBRO

3° MIEMBRO

ASESOR DE TESIS

Lisbeth Carina Coaquira Huacani

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL AGUA CON CARBÓN ACTIVADO OBT...

Universidad Nacional de Juliaca

Detalles del documento

Identificador de la entrega

trn:oid::3117:412324431

137 Páginas

Fecha de entrega

3 dic 2024, 5:39 p.m. GMT-5

31,677 Palabras

Fecha de descarga

3 dic 2024, 5:44 p.m. GMT-5

170,920 Caracteres

Nombre de archivo

DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL AGUA CON CARB....pdf

Tamaño de archivo

8.0 MB

9% Similitud general

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




Filtrado desde el informe

- ▶ Bibliografía
- ▶ Texto citado
- ▶ Texto mencionado
- ▶ Coincidencias menores (menos de 10 palabras)

Exclusiones

- ▶ N.º de fuente excluida


Fuentes principales

- 8%  Fuentes de Internet
- 1%  Publicaciones
- 5%  Trabajos entregados (trabajos del estudiante)



Marcas de integridad

N.º de alerta de integridad para revisión

-  **Caracteres reemplazados**
302 caracteres sospechosos en N.º de páginas
Las letras son intercambiadas por caracteres similares de otro alfabeto.

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

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

DEDICATORIA

*Al divino creador y a mi familia,
especialmente a mis amados
padres, quienes son mi apoyo, mi
motor y mi razón de ser.*

*A la memoria de aquellos que ya no
están con nosotros, pero cuya
influencia y amor siguen guiando
nuestros pasos cada día.*

AGRADECIMIENTO

A mis padres y hermano por su apoyo incondicional.

A mi asesor por la guía que me brinda en este camino hacia mi desarrollo profesional.

A mis amigos, cuyo aliento y apoyo fueron fundamentales para alcanzar las metas que me propuse.

A los miembros del jurado por su tiempo, por sus observaciones y recomendaciones durante el proceso de evaluación que han permitido enriquecer este proyecto.

INDICE

DEDICATORIA	v
AGRADECIMIENTO	vi
RESUMEN	xvi
ABSTRACT	xvii
INTRODUCCIÓN	17

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	18
1.1. Situación problemática	18
1.2. Formulación del problema.....	19
1.2.1. Problema general	19
1.2.2. Problemas específicos.....	20
1.3. Objetivos de investigación.....	20
1.3.1. Objetivo general.....	20
1.3.2. Objetivos específicos	20
1.4. Justificación de la investigación	20
1.5. Hipótesis de la investigación	22
1.5.1. Hipótesis general.....	22
1.5.2. Hipótesis específicas.....	22

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA	23
2.1. Antecedentes	23
2.1.1. Antecedentes internacionales	23
2.1.2. Antecedentes nacionales	24
2.1.3. Antecedentes regionales.....	25
2.2. Marco teórico	26
2.2.1. Agua	26
2.2.2. Carbón activado	30

2.2.3. Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr).....	33
2.2.4. Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	34
2.2.5. Adsorción.....	37

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS.....	42
3.1. Ámbito de estudio	42
3.2. Tipo de investigación	42
3.2.1. Variables dependientes e independientes del objetivo general.....	43
3.2.2. Variables dependientes e independientes de los objetivos específicos	43
3.3. Población y muestra	44
3.3.1. Población	44
3.3.2. Muestra	44
3.4. Descripción de métodos.....	45
3.4.1. Equipos, materiales, reactivos e insumos	45
3.4.2. Obtención del carbón activado de biomasa residual de especies forestales	45
3.4.3. Evaluación de la calidad del carbón activado.....	48
3.4.4. Evaluación de la cantidad de remoción de plomo y cadmio	50
3.4.5. Diseño experimental	52
3.4.6. Procesamiento de Datos:	60

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	62
4.1. Obtención del carbón activado de biomasa residual de especies forestales	62
4.2. Evaluación de la calidad del carbón activado variando el tipo de especie, el tamaño de grosor y la relación de impregnación.....	65
4.3. Evaluación de la cantidad de remoción de plomo y cadmio variando tipo de calidad de carbón activado y la concentración inicial de plomo y cadmio.	70

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	85
4.4. Conclusiones	85

4.5. Recomendaciones.....	87
REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	88
CAPÍTULO VI	
ANEXOS.....	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Límites permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA).....	28
Tabla 2. Modelos de isotermas de adsorción.....	41
Tabla 3. Condiciones establecidas para la elaboración del carbón activado	47
Tabla 4. Variables establecidas para elaborar el carbón activado para la investigación	53
Tabla 5. Datos para un diseño de 2 ³ para elaborar los carbones activados	53
Tabla 6. 53	
Tabla 7. Variables escogidas para la remoción de metales pesados de la investigación	54
Tabla 8. Matriz para un diseño factorial para la adsorción de plomo	54
Tabla 9. Matriz para un diseño factorial para la adsorción de cadmio	57
Tabla 10. Rendimiento en masa durante la elaboración de carbón activado de biomasa residual de especies forestales.....	63
Tabla 11. Volúmenes de madera que ingresaron al departamento de Puno y cuyo destino final para comercialización fue la ciudad de Juliaca	64
Tabla 12. Porcentaje del volumen de las especies forestales respecto del volumen total de madera que ingresaron al departamento de Puno y cuyo destino final para comercialización fue la ciudad de Juliaca.....	64
Tabla 13. Resultado del Índice de Yodo.....	66
Tabla 14. Tamaño de los poros de los tipos de carbón activado medidos por microscopio electrónico de barrido (SEM)	70
Tabla 15. Concentración final de plomo en el agua después de la adsorción	71
Tabla 16. Concentración final de cadmio en el agua después de la adsorción.....	72
Tabla 17. Capacidad de adsorción de plomo	74
Tabla 18. Capacidad de adsorción de cadmio.....	76
Tabla 19. Eficiencia de remoción de plomo	78
Tabla 20. Eficiencia de remoción de cadmio.....	79
Tabla 21. Parámetros de las isotermas para la adsorción de plomo con los carbones activados	82
Tabla 22. Parámetros de las isotermas para la adsorción de cadmio con los carbones activados.....	83

Tabla 23. Matriz de Consistencia del proyecto.....	100
Tabla 24. Operacionalización de variables por objetivos del proyecto.....	102
Tabla 25. Datos experimentales para el ajuste de las isothermas para plomo	104
Tabla 26. Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isothermas de adsorción de plomo	105
Tabla 27. Datos experimentales para el ajuste de las isothermas para cadmio	107
Tabla 28. Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isothermas de adsorción de cadmio	108

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Modelo esquemático de carbón activado.	31
Figura 2. Esquema de experimento y variables.	43
Figura 3. Flujograma del proceso de elaboración de carbón activado.	48
Figura 4. Curva de calibración para el análisis de Pb.	51
Figura 5. Curva de calibración para el análisis de Cd.	51
Figura 6. Esquema del procedimiento para la remoción de plomo y cadmio.	52
Figura 7. Rendimiento en la Elaboración de Carbón Activado.	63
Figura 8. Resultados del Índice de Iodo.	66
Figura 9. Morfología del carbón activado de Lupuna, tamaño granular con impregnación 1:1, donde: a) está a 150x y b) está a 500x.	67
Figura 10. Morfología del carbón activado de Tornillo, tamaño granular con impregnación 1:1, donde: c) está a 150x y d) está a 500x.	67
Figura 11. Morfología de la Lupuna, tamaño polvo con impregnación 1:1, donde: e) está a 150x y f) está a 500x.	67
Figura 12. Morfología del Tornillo, tamaño polvo con impregnación 1:1, donde: g) está a 150x y h) está a 500x.	68
Figura 13. Morfología de la Lupuna, tamaño granular con impregnación 1:5, donde: i) está a 150x y j) está a 500x.	68
Figura 14. Morfología del Tornillo, tamaño granular con impregnación 1:5, donde: k) está a 150x y l) está a 500x.	68
Figura 15. Morfología de la Lupuna, tamaño polvo con impregnación 1:5, donde: m) está a 150x y n) está a 500x.	69
Figura 16. Morfología del Tornillo polvo con impregnación 1:5, donde: o) está a 150x y p) está a 500x.	69
Figura 17. Morfología del carbón activado industrial, donde: q) está a 150x y r) está a 500x.	69
Figura 18. Capacidad de adsorción de plomo.	75
Figura 19. Capacidad de adsorción de cadmio.	76
Figura 20. Eficiencia de remoción de plomo.	78
Figura 21. Eficiencia de remoción de cadmio.	80

Figura 22. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LG1(Especie: Lupuna; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1).....	110
Figura 23. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TG1 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1).	111
Figura 24. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LP1 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1)	111
Figura 25. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TP1 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1).....	112
Figura 26. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LG2 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1.5).....	112
Figura 27. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TG2 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1.5).....	113
Figura 28. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LP2 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1.5).	113
Figura 29. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TP2 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1.5).....	114
Figura 30. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado comercial CAI.....	114
Figura 31. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LG1(Especie: Lupuna; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1).....	115
Figura 32. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TG1 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1).	116
Figura 33. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LP1 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1).	116
Figura 34. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TP1 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1).....	117
Figura 35. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LG2 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1.5).....	117
Figura 36 . Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TG2 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1.5).....	118
Figura 37. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LP2 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1.5).	118

Figura 38. Isoterma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TP2 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1.5).....	119
Figura 39. Isoterma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado comercial CAI.	119
Figura 40. Limpieza de los equipos antes de obtener la materia prima.	122
Figura 41. Obtención de la materia prima.	122
Figura 42. Clasificación del tamaño de partícula granular.	123
Figura 43. Clasificación del tamaño de partícula polvo.....	123
Figura 44. Limpieza de la materia prima.....	123
Figura 45. Deshidratación de materia prima.....	124
Figura 46. Impregnación de la materia prima.....	124
Figura 47. Carbón activado Comercial.....	125
Figura 48. Calcinación de la materia prima.....	125
Figura 49. Preparación del agua sintética de plomo y cadmio.....	126
Figura 50. Pesado del adsorbente (tipos de carbón activado).	126
Figura 51. Agitación de las muestras.....	127
Figura 52. Filtrado de las muestras.....	127
Figura 53. Análisis por Espectrometría de Adsorción Atómica.....	128

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.	100
Anexo 2. Operacionalización de variables por objetivos.....	102
Anexo 3. Datos experimentales para el ajuste de las isothermas para plomo	104
Anexo 4. Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isothermas de adsorción de plomo	105
Anexo 5. Datos experimentales para el ajuste de las isothermas para cadmio.....	107
Anexo 6. Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isothermas de adsorción de cadmio	108
Anexo 7. Isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir para plomo.....	110
Anexo 8. Isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir para Cadmio	115
Anexo 9. Constancias de laboratorio	120
Anexo 10. Panel fotográfico.....	122
Anexo 11. Informe N° D000037-2024-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-PUNO-FCV	129

RESUMEN

La contaminación de las masas de agua es considerada como una problemática de gran relevancia que impacta a la sociedad, frente a esta situación, el objetivo de esta investigación fue determinar de la eficiencia de remoción de plomo (Pb) y cadmio (Cd) en el agua mediante el uso de carbón activado obtenido de biomasa residual de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). Se elaboraron 8 tipos de carbón activado en laboratorio, variando el tipo de especie forestal, el tamaño de partícula y la relación de impregnación a 500°C. Los carbones activados obtenidos y un carbón activado comercial fueron caracterizados mediante el índice de yodo y análisis por microscopía electrónica de barrido. Para determinar la eficiencia de eliminación de Pb y Cd en agua contaminada artificialmente usando carbón activado, se realizó por el proceso de adsorción de sistema batch, utilizando concentraciones iniciales de 100 mg/l, 50 mg/l, 10 mg/l y 5 mg/l para ambos metales. Los resultados mostraron que los carbones activados elaborados en laboratorio presentaron un rendimiento de masa de entre 36.86% a 48.87%, que el índice de yodo no superó los 500 mg I₂/g, y que el tamaño de los poros osciló entre 3.9 µm a 99 µm. Después de la adsorción se obtuvieron concentraciones finales de plomo de 88.39 mg/l, 36.08 mg/l, 0.74 mg/l, y 0 mg/l, mientras que las concentraciones finales de cadmio fueron de 88.71 mg/l, 46.10 mg/l, 7.68 mg/l, y 2.59 mg/l. Se alcanzó una máxima eficiencia de remoción de 100% para plomo y 79.76% para cadmio, a partir de las concentraciones iniciales de 5 mg/l, los resultados se adecuaron a la isoterma de Langmuir. Se concluye que, se puede obtener carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) a 500°C, y que el rendimiento de masa es mayor mientras más densa sea la materia prima. Además, que los poros de los carbones activados obtenidos son de tipo macroporo, y que la eficiencia de remoción se ve influenciada por la naturaleza del adsorbente y del adsorbato, la relación de impregnación, el tamaño de partícula y la concentración inicial.

Palabras clave: Biomasa residual, cadmio, carbón activado, Lupuna, plomo y tornillo.

ABSTRACT

Water body contamination is considered a significant issue that impacts society. In response to this situation, the objective of this research was to determine the efficiency of lead (Pb) and cadmium (Cd) removal in water using activated carbon derived from the residual biomass of Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr) and Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*). Eight types of activated carbon were prepared in the laboratory, varying the tree species, particle size, and impregnation ratio at 500°C. The obtained activated carbons and a commercial activated carbon were characterized using the iodine number and scanning electron microscopy analysis. To determine the removal efficiency of Pb and Cd in artificially contaminated water using activated carbon, a batch adsorption process was performed, using initial concentrations of 100 mg/l, 50 mg/l, 10 mg/l, and 5 mg/l for both metals. The results showed that the laboratory-prepared activated carbons had a mass yield ranging from 36.86% to 48.87%, that the iodine number did not exceed 500 mg I₂/g, and that the pore size ranged from 3.9 μm to 99 μm. After adsorption, the final lead concentrations were 88.39 mg/l, 36.08 mg/l, 0.74 mg/l, and 0 mg/l, while the final cadmium concentrations were 88.71 mg/l, 46.10 mg/l, 7.68 mg/l, and 2.59 mg/l. A maximum removal efficiency of 100% for lead and 79.76% for cadmium was achieved from the initial concentrations of 5 mg/l, and the results fit the Langmuir isotherm. It was concluded that activated carbon can be obtained from Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr) and Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) at 500°C, with the mass yield being higher when the raw material is denser. Additionally, the pores of the obtained activated carbons are macropores, and the removal efficiency is influenced by the nature of the adsorbent and adsorbate, the impregnation ratio, particle size, and initial concentration.

Keywords: Residual biomass, cadmium, activated carbón, Lupuna, lead and screw.

INTRODUCCIÓN

El agua tiene una relevancia significativa para el desarrollo y el sostén de la vida (Peón, 2007), sin embargo, a nivel mundial solo se tiene un 2.5% de agua dulce, que están distribuidos en un 80% en glaciares, nieve y hielo de los cascos polares, el 19% en agua subterránea y 1% en agua superficial en lagos y humedales (Fernández, 2012; FAO, 2023), por lo que se considera un recurso renovable pero finito, para ello asegurar su calidad es de vital importancia (Buelta Serrano y Martínez, 2016).

El deterioro de la calidad del agua es un motivo de preocupación a nivel mundial (ONU-DAES, 2014), por lo que actualmente es considerado como uno de los principales problemas ambientales, teniendo como causas primordiales los vertidos de las actividades antropogénicas, muchas veces sin tratamiento (FAO, 2023), y como consecuencias se tienen efectos adversos en la salud de los seres vivos que hacen uso de este recurso (Dipak, 2017), ante ello es importante realizar monitoreos para detectar la presencia de contaminantes en el agua (Reyes et al., 2016).

La contaminación por metales pesados como el plomo y cadmio en los recursos hídricos es una de las más severas problemáticas que comprometen la seguridad alimentaria y salud pública a nivel global y local (Reyes et al., 2016), y en el Perú la contaminación de sus ríos y mares es una problemática que viene desde la antigüedad (ONERN, 1985), ante ello, el estudio de la calidad del agua y las metodologías de tratamiento y recuperación, resulta imprescindible para conservar o recuperar su buen estado, para garantizar su buena calidad. Por lo expuesto anteriormente, esta investigación tiene como objetivo general, determinar la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua con carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con esto se busca contribuir a la mejora de la calidad de los cuerpos de agua afectados por la contaminación de metales tóxicos, así como asegurar la protección de los ecosistemas acuáticos y el bienestar de las comunidades, así como, darle un uso alternativo a los residuos forestales generadas por las industrias madereras de la ciudad Juliaca, dándoles un valor agregado mediante la elaboración de carbón activado.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. Situación problemática

Los recursos hídricos son un componente clave para apoyar y fortalecer el desarrollo sostenible (Wheelock et al., 2019), el agua siendo esencial para la vida (DAR, 2017) requiere la máxima atención (Castro et al., 2014). El deterioro de la calidad del agua ha pasado por un proceso de cambio paralelo a las modificaciones de las actividades humanas (Wheelock et al., 2019) y han ido incrementado los contaminantes tóxicos proveniente de efluentes (Lara et al., 2006). La presencia de plomo y cadmio en los cuerpos acuáticos generan preocupación por su alta toxicidad, debido a que estos han tenido efectos adversos con alteraciones en el crecimiento, reproducción, comportamiento, metabolismo y sobrevivencia de las especies acuáticas (Gutiérrez y Gagnetten, 2011; Dipak, 2017), y daños a la salud por su exposición como menciona, la Amnistía Internacional (2021), caso de ello cabe mencionar a las comunidades indígenas del Pueblo K'ana de la provincia de Espinar tienen altos niveles de metales y sustancias tóxicas en su cuerpo, donde más del 4% presentaron niveles elevados de plomo en su organismo y más del 12% presentaron niveles elevados de cadmio en su organismo y sistemas, derivando estas en enfermedades crónicas, así mismo, la OMS (2019) mediante el Instituto de Sanimetría y Evaluación Sanitaria estimó que hubieron 1,06 millones de defunciones por la exposición al plomo.

Para el año 2040 se estima que el Perú estaría ubicado dentro del rango de estrés hídrico alto (World Resources Institute, 2015), y que según estima el Instituto Nacional de Estadística e Informática (2019), que hacia el año 2050 la población llegará a aproximadamente a los 39.4 millones, lo que conllevará a una mayor demanda de agua y a un creciente de aporte de contaminantes a los cuerpos de agua (Bernex et al., 2019). La contaminación de las aguas en el Perú es tan antigua, debido a que los ríos y los mares han servido y siguen sirviendo como puntos de deposición final de las aguas negras (ONERN, 1985) con presencia de metales pesados tales como el plomo y cadmio (Corzo y Velázquez, 2014). Se identificaron 41 cuencas hidrográficas cuyos parámetros exceden los ECA-Agua (DAR, 2017) y que según Wheelock et al. (2019), la calidad de los recursos hídricos con fines poblacionales y de riego en el período 2000-2012 muestran niveles de afectación, dentro de los cuales aparecen los parámetros plomo y cadmio.

La contaminación ambiental por metales pesados en el agua ha generado conflictos socioambientales. La población expuesta reclama un medio ambiente libre de contaminación y que no altere su estado de salud (Wheelock et al., 2019). Según la Unidad de Prevención y Gestión de Conflictos de la ANA en agosto de 2017, identificó que más del 50% de los conflictos hídricos están relacionados con la de calidad del agua seguidos de casos vinculados a la calidad y cantidad del agua. En cuanto a la ubicación geográfica, las regiones de Puno y Apurímac concentran más de 30% de conflictos sociales (Wheelock et al., 2019).

Por otro parte, el incremento de la generación de residuos sólidos por el desarrollo de las actividades antropogénicas y el consumismo, así como, su inadecuada gestión y manejo (Chavez y Porras, 2004; Chavez y Rodriguez, 2016; Asprilla, 2014), vienen siendo una problemática de primer orden que involucra lo social, ambiental y económico, requiriendo atención y medidas de manera inmediata (CEPAL, 2016), en el caso del sector productivo de las industrias madereras, sus residuos que son en variadas formas y tamaños (Tancredi, Amaya y Medero, 2005), las que son provenientes en su mayoría de aserraderos y procesos de fabricación de muebles, son una carga ambiental considerable (Chen & Huang, 2020), puesto que según Lopez et al., 2019, indican que la cantidad de residuo generado variará dependiendo del tamaño de la empresa y de la eficiencia de esta, pero que por lo general se estima un desperdicio de entre el 45% y el 65% en promedio, en el Perú. Quío (2016), menciona que “la industria maderera consume diez millones de metro cubico por año, de los cuales un millón es destinado a la industria del aserrío, y la transformación de este volumen en madera aserrada produce un desperdicio que llega al 40% del total del volumen en troza”, siendo una necesidad, evaluar la capacidad de aprovechamiento de estos residuos en diversas aplicaciones, buscando darle un valor agregado (Lopez, 2019), y que permita reducir su impacto negativo en el medio ambiente y en la salud pública (Jiang et al., 2021).

1.2. Formulación del problema

1.2.1. Problema general

- ¿Cuál es la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua con carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*)?

1.2.2. Problemas específicos

- ¿Se obtendrá el Carbón Activado a partir de Biomasa Residual de especies forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) a una temperatura de 500°C.?
- ¿Cuál será la calidad del carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) variando el tamaño de partícula y la relación de impregnación de activación, en comparación a la calidad de un carbón activado comercial?
- ¿Cuál es la cantidad de remoción de plomo y cadmio variando el tipo de calidad de carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), y la concentración inicial de plomo y cadmio?

1.3. Objetivos de investigación

1.3.1. Objetivo general

- Determinar la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*).

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener carbón activado a partir de biomasa residual de especies forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) a una temperatura de 500°C.
- Evaluar la calidad del carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) variando el tamaño de partícula y la relación de impregnación de activación, y comparar la calidad con un carbón activado comercial.
- Evaluar la cantidad de remoción de plomo y cadmio variando tipo de calidad de carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), y la concentración inicial de plomo y cadmio.

1.4. Justificación de la investigación

El deterioro de los recursos hídricos por metales pesados como el plomo y cadmio es preocupante, que supone un riesgo para la vitalidad de los seres vivos, ante ello el estudio de la calidad del agua y las metodologías de tratamiento y recuperación, resulta

imprescindible para su buen estado y para garantizar su buena calidad, por ello el presente estudio está orientada a garantizar la calidad de los recursos hídricos, la seguridad de los ecosistemas acuáticos y el bienestar de la población, así como, darle un uso alternativo a los residuos forestales a fin de reducir la cantidad generada de estos por las industrias madereras de la ciudad de Juliaca a través del aprovechamiento de estos residuos mediante la producción de carbón activado para uso en el tratamiento de agua.

Así mismo, con esta investigación se pretende proponer una forma de aplicar métodos que reduzcan la concentración de plomo y cadmio en el agua y con esto disminuir la carga contaminante de metales tóxicos en el agua, mediante la tecnología de bioadsorción (Platt, 2001), usando carbón activado, que según Reyes et al. (2006) es más efectivo y de bajo costo de operación, siendo una prometedora alternativa para reducir los niveles de metales pesados, que a diferencia de los métodos convencionales, que poseen altos costos, alta producción de lodos y remoción incompleta resultando inefectivos y desfavorables (Tejada et al., 2013). Esta investigación está en concordancia con la Estrategia Nacional para el Mejoramiento de la Calidad de los Recursos Hídricos y la Política Nacional de Saneamiento, quienes plantean como acción la recuperación de la calidad de los recursos hídricos y promover el uso de tecnologías para el tratamiento de aguas residuales con el fin de cumplir con los LMP y ECA de agua.

La relevancia social radica en que esta tecnología con los datos obtenidos, será tomada en cuenta por las entidades públicas y/o privadas las cuales serán directamente beneficiadas en el tratamiento de agua potable y agua residual, aparte, de que la población que haga uso de estas aguas tratadas con esta metodología también obtendrá beneficios. Por otro lado, la investigación supone la generación de data base y el desarrollo de nuevas líneas de investigación.

Así mismo, podemos mencionar que una de las poblaciones beneficiarias serán, los que hacen uso de las aguas del río Coata, que es la fuente agua primordial de donde se capta y trata para abastecer a la población de Juliaca (Callasaca, 2018), teniendo 77.01% de cobertura de servicio de agua potable que es equivalente a 229 592 habitantes hasta 2018 (SEDA JULIACA, 2018), estudios han demostrado que existe presencia de metales tóxicos como el plomo y cadmio en ese río (Callasaca et. al, 2022), así como, en los sedimentos superficiales (Quispe et. al, 2019), esto producto de los vertimientos municipales, industriales, botaderos de residuos sólidos, pasivos

ambientales mineros y descargas in situ (ANA, 2019), lo que implica que es una necesidad contar con metodologías de tratamiento y recuperación, ya que resulta imprescindible para su buen estado y para garantizar la buena calidad de este recurso hídrico, ante ello, con los resultados la investigación realizada, se podría mejorar las tecnologías usadas para recuperar la calidad del río Coata con la finalidad de preservar la vida y salud de los pobladores que hacen uso de estas aguas.

Por otra parte, con esta investigación se pretende minimizar la contaminación por residuos forestales generados por las industrias madereras mediante un uso alternativo, ya que estos residuos forestales no son aprovechados de forma eficaz (Fernández, 2012) y son de fácil acceso. En ese sentido, una posibilidad es aprovechar la estructura lignocelulósica de la madera y su alto contenido en carbono para preparar adsorbentes carbonosos que puedan utilizarse en procesos industriales o domésticos de purificación del agua (Tancredi et al., 2005), dándole de esa manera una justificación técnica a la presente investigación. Así, el potencial de contaminación del residuo se reduce y el producto obtenido a su vez se utiliza en la protección ambiental (Tancredi et al., 2005).

1.5. Hipótesis de la investigación

1.5.1. Hipótesis general

- La eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) es mayor de 95%

1.5.2. Hipótesis específicas

- Se obtiene carbón activado a partir de biomasa residual de especies forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) a una temperatura de 500°C.
- La calidad del carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) varía según el tamaño de partícula y la relación de impregnación de activación y serán diferentes a la calidad de un carbón activado comercial.
- La cantidad de remoción varía según el tipo de calidad de carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), y la concentración inicial de plomo y cadmio.

CAPITULO II

REVISIÓN DE LITERATURA

2.1. Antecedentes

2.1.1. Antecedentes internacionales

Radenković et al. (2024), prepararon y usaron carbón activado de residuos de agrícolas de girasol para eliminar metales pesados de Pb (II) y Cu (II) en un medio acuoso, donde encontraron una mayor eficiencia de remoción con 5 de pH, a 180 minutos, concentración inicial de 50 mg/l para Pb (II) y dosis de adsorbente de 124 mg y 150 mg/l para Cu (II), con dosis de adsorbente de 200 mg, teniendo para Pb (II) capacidad de adsorción de 91.8 mg/g y 20.5 mg/g para Cu (II) y teniendo mayor afinidad al modelo isotérmico de Freundlich, teniendo potencial para disminuir la cantidad de metales de Cu (II) de las aguas residuales.

Getasew et al. (2024), determinaron y optimizaron la eficiencia de eliminación de plomo (II) en soluciones acuosas, para ello usaron carbón activado a base de tallo de Noug (*Guizotia abyssinica Cass.*), obteniendo la condiciones optima de adsorción a un pH de 4.87, con concentración inicial de Pb (II) de 84.66 mg/l, con dosis de adsorbente de 18,43 g/l, a tiempo de contacto de 2.04 H, teniendo como resultado un 98.77% de remoción del metal, la investigación se ajustó al modelo isotérmico de adsorción de Langmuir.

Aqilah et al. (2023), prepararon carbón activado de residuos de té (*Camellia sinensis*), donde usaron como agente activador ácido sulfúrico en diferentes concentraciones, siendo la activación al 30% la que mejor adsorción tuvo, obteniendo 593.41 mg/g de valor de yodo, así mismo, realizaron ensayos de eliminación de azul de metileno y cadmio (II) en soluciones acuosas, con concentraciones iniciales de 100 mg/l en azul de metileno teniendo una remoción de 89.2% y 97.6% y con concentraciones iniciales de 0.5 mg/l y 1.0 mg/l de iones de cadmio logrando el 100% de eliminación del metal, también usaron carbón activado comercial con remoción de 88.9% a 46.2%.

Castellar Ortega, G. (2019), evaluaron la remoción del colorante azul directo 86 usando carbón activado de cáscara de yuca (*Manihot esculenta*), este último fue elaborado con ácido fosfórico a 530°C, el que mostró tener una química de superficie heterogénea, así mismo, para la remoción variaron la temperatura, el pH y la

concentración inicial del colorante, teniendo como capacidad máxima de adsorción de 6.1 mg/g para el carbón activado de cascara de yuca y de 3.7 mg/g para el carbón activado comercial, donde concluyeron que el carbón activado elaborado a base de cascara de yuca es eficiente en la eliminación de colorantes.

Asimbaya et al. (2015), elaboraron carbón activado de aserrín de laurel, canelo y eucalipto, lo que activaron con ácido fosfórico al 40% en relación de 1:1, con clasificación de tamaño de partícula, carbonizados a 500 °C por 2 h, siendo el de mejor rendimiento con 29.3% el carbón activado de laurel (granular), así mismo, el de mayor capacidad de adsorción el carbón activado de canelo (polvo). Concluyeron que, para una misma variedad de madera, a menor tamaño de partícula, aumenta la capacidad de adsorción.

2.1.2. Antecedentes nacionales

Castañeda-Olivera et al. (2023), investigaron la eficiencia de eliminación de arsénico y plomo en aguas del río Mala (Calango- Cañete) usando carbón activado de residuos de durazno (*Prunus pérsica*) y palta (*Persea americana*), para ello, los carbones fueron activados con ácido fosfórico, que posteriormente fueron caracterizados física y químicamente, en los ensayos de adsorción variaron las dosis del carbón activado, los tiempos de contacto y velocidad, teniendo remociones desde 95 a 97%, así como, la reducción significativa de parámetros físico-químicos (conductividad eléctrica, turbidez, DBO5, DQO, SST, aceites y grasas), por lo que concluyeron que ambos carbones activados tienen potencial para la eliminación de arsénico y plomo, los que pueden ser usados en el tratamiento aguas deterioradas con estos metales.

Sun et al. (2014), determinaron la adsorción de metales pesados como el plomo, cromo y cadmio empleando carbones activados de semillas de aguaje, para ello, los carbones fueron activados con ácido fosfórico a diferente pesos iniciales de la semillas y para el proceso de adsorción se variaron las concentraciones iniciales de cada metal, el pH y el tiempo de contacto del absorbente con el adsorbato, dando como máxima capacidad de adsorción al carbón activado con impregnación de 0.75g H_3PO_4 /g con un pH mayor a 4; llegando a la conclusión que los factores que influyen en el proceso de adsorción en esta investigación fueron el pH de la solución, la estructura porosa y la acidez superficial del carbón activado.

Lavado, Sun, y Bendezú (2010), realizaron el análisis de adsorción de plomo para efluentes industriales usando carbones activados de astillas de eucalipto (*Eucalyptus*

Globulus Labill), para ello, activaron el carbón con ácido fosfórico, variando la razón de impregnación y temperatura de carbonización y para la adsorción de plomo, usaron un sistema batch, donde variaron la concentración inicial del metal, logrando obtener capacidades de adsorción de hasta 142.1 mg Pb/g, removiendo hasta el 99.9% del plomo contenido en un efluente industrial.

2.1.3. Antecedentes regionales

Lama (2022), investigó la remoción de cobre con carbón activado de eucalipto en las aguas residuales del río Putina-Puno, las muestras de agua fueron analizadas físicoquímico, dando como resultado en el parámetro de cobre un valor inicial de 0.217 mg/l, luego de ello desarrolló el proceso experimental, variando las velocidades, el pH y el tiempo de contacto, donde usó 150 ml de muestra de agua y 50 mg del carbón activado, los resultados mostraron una remoción de 76.6 %, la investigadora indica que el carbón activado de eucalipto es óptimo en el proceso de adsorción.

Mamani et al. (2019), estudiaron la remoción de 09 metales pesados (Cu, Fe, Hg, As, Ni, Cr, Cd, Pb y Zn) presentes en las aguas residuales provenientes de la mina Lunar de Oro usando carbón activado de Lenteja de agua (*Lemna gibba L.*), realizaron la activación del carbón con ácido fosfórico a una relación de 1:1 por 24 horas, variando la temperatura de carbonización. Para la adsorción hicieron pruebas analíticas con columnas de adsorción y remoción por agitación magnética, dando resultados superiores al 79.29% de adsorción de metales.

Aguirre (2017), analizó la adsorción del Pb y As del agua de la bahía del lago Titicaca con carbón activado de semillas de eucalipto, para lo cual elaboró el activo el carbón con H_3PO_4 y $FeCl_3$ a una temperatura de carbonización de 500°C por 60 minutos, para los ensayos de adsorción utilizó 2 g de carbón activado el que se puso en contacto con 500 ml de solución acuosa de plomo y arsénico por un tiempo de agitación de 2 horas a 300rpm de velocidad, los resultados mostraron una remoción del 98.7 % para Pb(II) y el 70.3% para As(V), en un tiempo de agitación de 75 a 120 minutos y a un pH tendiente a ácido de 4.97 y 5.6., concluyendo así que los carbones activados presentan una alta efectividad en la adsorción de metales pesados en soluciones acuosas.

2.2. Marco teórico

2.2.1. Agua

La vida y el desarrollo de las sociedades dependen del agua. Tiene una importancia vital para el ser humano, así como para el resto de la flora y fauna que nos acompañan en el planeta (Quintanilla, 2023), fuente y el sustento de la vida, contribuye a regular el clima del mundo y con su fuerza formidable modela la Tierra (Fernández Cirelli, 2012), cabe mencionar que el 70% de la superficie terrestre está cubierta por el líquido (Peón, 2007), se la encuentra en océanos, lagos, ríos; en el aire, en el suelo, teniendo en los océanos el 97,5% del agua del planeta y solo un 2,5% agua dulce, distribuyéndose en los glaciares, la nieve y el hielo de los cascos polares lo que representan casi el 80% del agua dulce, el agua subterránea 19% y el agua de superficie accesible rápidamente sólo el 1%. Esta baja cantidad de agua de superficie fácilmente accesible, se encuentra principalmente en lagos (52%) y humedales (38%) teniendo como sobrenombre el disolvente universal, por su capacidad de disolver otras sustancias, teniendo una capacidad de para disolver otras sustancias (Fernández Cirelli, 2012).

La definición de calidad de agua puede referirse como al conjunto de características físicas, químicas y biológicas, que determinan su idoneidad para sus diversos fines, y cada uno demanda una calidad específica, como, por ejemplo: el consumo humano, la irrigación, la recreación y otras actividades. La evaluación de la calidad del agua se basa en parámetros establecidos por organismos reguladores y normativas internacionales (Fernández Cirelli, 2012).

El deterioro de la calidad del agua es un problema con mucha importancia que está en aumento, y está considerado como uno de los principales problemas ambientales (Salgot et al., 1999). Sus principales causas son los vertidos incontrolados de las aguas residuales de las diversas actividades antropicas, que en la mayoría de veces están sin tratamiento, así mismo, contribuyen a su deterioro la contaminación atmosférica, la acumulación de sustancias químicas en los suelos y sedimentos, el desmesurado bombeo de las aguas subterráneas y otros.

En los sistemas acuáticos los contaminantes se pueden descargar desde dos fuentes: la primera las fuentes puntuales, son las que tendrían ubicaciones estacionarias, por ejemplo: tubería de efluentes) y las segundas las fuentes no puntuales (conocidos

también como difusas) serían como el escurrimiento de la tierra y la atmósfera. (Mihelcic y Zimmerman, 2011)

Los principales efectos que produce el agua contaminada en el medio ambiente son: la transmisión hídrica de enfermedades; riesgo de infecciones crónicas, pérdida de los ecosistemas acuáticos; pérdida de la capacidad productiva en suelos regados, pérdida de la reserva de proteínas de los peces y otros (Escobar y Schafer, 2010).

a. Contaminación por metales pesados

Los metales son conocidos por su alta conductividad eléctrica y térmica, por su brillo y lustre metálico, fuerza y ductilidad, así mismo, desprenderá uno o más electrones para formar un catión en una solución acuosa, aunque muchas veces estas características no abarcan a todos los elementos y estos son conocidos como metaloides (Maesters y Ela, 2008).

Los metales pesados se pueden encontrar en varias formas, incluidos vapores, iones disueltos en agua, sales/minerales en rocas, suelo y arena (Molina et al., 2013). Estas sustancias tóxicas tienden a persistir indefinidamente en el medio ambiente (Tejada, Villabona y Garces, 2014) y no pueden ser creados o degradados (Martorell, 2010), comprometiendo el bienestar y equilibrio de la fauna y la flora existentes en dichos ecosistemas y también de la salud de las personas residentes en las comunidades aledañas, mediante su acumulación e ingreso a la cadena trófica (Tejada et al., 2014). Si bien los efectos de los contaminantes químicos en la salud no son inmediatos sí pueden ser crónicos e incluso irreversibles (Maesters y Ela, 2008; Londoño, Londoño y Muñoz, 2016).

Actualmente, el deterioro del agua por metales pesados es uno de los problemas ambientales que más aqueja a la sociedad debido a que no son biodegradables y pueden acumularse en la cadena alimenticia, así mismo, estos ingresan al ambiente a través de las actividades antropogénicas, como las mineras y los procesos industriales, lo que representa una amenaza para el medio ambiente y la salud humana.

La exposición a ellos, incluso en pequeñas cantidades, ocasiona problemas en la salud de los seres vivos (Perez et al., 2018). Los metales pesados como mercurio (Hg), arsénico (As), cadmio (Cd) y plomo (Pb) son altamente tóxicos y cancerígenos incluso a nivel de traza, teniendo gran importancia por sus impactos ambientales (Maesters y Ela, 2008). Pueden afectar al sistema nervioso; riñones, hígado; piel,

huesos y ocasionar enfermedades como, cáncer y problemas cardiovasculares (Perez et al., 2018), por ejemplo, los riñones se pueden ver afectados por el cadmio, el plomo y el mercurio ya que son metales nefrotóxicos (Maesters y Ela, 2008).

Debido a los daños causados por los metales en el agua, diversas entidades se han encargado de realizar estudios y establecer límites permisibles para el agua potable (Perez et al., 2018). En la Tabla 1, se muestran estos límites establecidos para algunos metales pesados, basados en su toxicidad y otros estudios.

Tabla 1.

Límites permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud (OMS) y la Agencia de Protección Ambiental (EPA)

Metal	OMS mg/l	EPA mg/l
Ni	7×10^{-2}	4×10^{-2}
Cu	2	1.3
Zn	3	5
Cd	3×10^{-3}	5×10^{-3}
Hg	1×10^{-3}	2×10^{-3}
Pb	1×10^{-2}	1.5×10^{-2}
As	1×10^{-2}	1×10^{-2}

Fuente: Mihelcic y Zimmermann, 2011.

b. Plomo en el agua

El plomo en el agua es un contaminante importante que puede tener graves implicaciones para la salud humana, especialmente en dosis elevadas (Edwards, 2007). Si bien el plomo esta de forma natural en la corteza terrestre (OMS, 2019), pequeñas cantidades (0.002%) Perez et al., 2018), sin embargo, su presencia en niveles elevados está en todo el entorno proveniente de las actividades humanas (ATSDR, 2007). Su uso generalizado en el mundo ha logrado una importante contaminación del medio ambiente, teniendo un nivel de exposición humana alta y graves problemas de salud pública, incluyéndolo dentro de la lista de los diez productos químicos causantes de graves problemas de salud pública (OMS, 2019).

El comportamiento del plomo en el agua depende de diversos elementos, como la calidad del agua, pH, temperatura, la presencia de diferentes elementos químicos y otros. El plomo puede disolverse en el agua especialmente en aguas ácidas y puede precipitarse formando sólidos insolubles que pueden sedimentarse en el fondo de los cuerpos de agua en condiciones alcalinas, también puede ser adsorbido por las

partículas suspendidas en el agua, esto puede influir en su movilidad y biodisponibilidad en el medio acuático (Edwards, 2007).

Las principales vías de exposición pueden ser por la ingestión de polvo, agua o alimentos contaminados; y/o por inhalación de partículas de plomo generadas por combustión de algunos materiales, estos suelen distribuirse por los diferentes órganos, tejidos, huesos y dientes y se van acumulando con el tiempo, cabe recalcar, que la intoxicación por plomo variara de acuerdo a la edad y nivel de exposición del individuo (Reyes et al., 2016).

Las principales fuentes de emisión de plomo al ambiente son la fundición y el procesamiento de metales, el reciclado de baterías ácidas de plomo, la minería y contaminación de la atmósfera debido al uso de gasolinas con plomo (Perez et al., 2018).

El cuerpo humano contiene aproximadamente 120 mg de plomo. Alrededor del 10-20% del plomo es absorbido por los intestinos. Generalmente los efectos del envenenamiento por plomo son neurológicos o teratógenos (ATSDR, 2007). El plomo trae consecuencias graves a la salud de los niños. Si el grado de exposición es elevado, ataca al cerebro y al sistema nervioso central, pudiendo provocar coma, convulsiones e incluso la muerte. Los niños que sobreviven a una intoxicación grave pueden padecer diversas secuelas, como retraso mental o trastornos del comportamiento (OMS, 2019)

c. Cadmio en el agua

La presencia de cadmio en el agua es un tema de preocupación debido a sus efectos dañinos para la salud humana y el medio ambiente (Mahmood et al., 2016). En el agua, el este elemento está en cómo ion hidratado o como complejo iónico asociado a otras sustancias orgánicas o inorgánicas. Si bien se encuentra en la corteza terrestre y está asociado con minerales de zinc, plomo y cobre, este elemento es liberado al suelo, al agua y al aire durante la extracción y refinación de metales no ferrosos, la manufactura y aplicación de abonos de fosfato, la combustión de combustibles fósiles, y la disposición e incineración de basura (ATSRD, 2012).

El comportamiento del cadmio en el agua está influenciado por factores físicos, químicos y biológicos, este elemento es más soluble en aguas ácidas que en aguas alcalinas, puede formar diversos complejos con elementos orgánicos e inorgánicos, lo que influye en su movilidad y disponibilidad para los organismos acuáticos,

también puede adsorberse a partículas sólidas en el agua, como arcillas y materia orgánica suspendida (Díaz et al., 2019).

El cadmio es un metal pesado que puede contaminar el agua a través de diferentes fuentes, como la industria minera, la fabricación de baterías, el reciclaje de desechos electrónicos, y la agricultura (a través de fertilizantes y pesticidas) (Qureshi y Bhatti, 2018).

La exposición a este elemento es principalmente por la ingesta de alimentos contaminados y del humo de los cigarrillos, así como, a través de las cañerías o por el consumo de agua contaminada por las fábricas y otras actividades antropogénicas como las de minero-metalúrgica de metales no ferrosos, la metalúrgica del hierro y acero, la fabricación de fertilizantes fosfatados, la incineración de residuos de madera, carbón o plásticos, la combustión de aceite y gasolina; y en casos donde los desechos de estas actividades se vierten en los cuerpos de agua por arrastre o lixiviación (ATSDR, 2007)

El cadmio se transporta a la sangre y se concentra en el hígado y el riñón (Reyes et al., 2016), así mismo, tiene la capacidad de acumularse en los órganos más vitales, causando daños irreversibles aún para concentraciones reducidas, por otra parte, su tiempo de permanencia los órganos pueden ser muy elevado (Reyes et al., 2016). Los síntomas iniciales por ingerir agua contaminada con cadmio mayor a 15 mg/l son náusea, vómito, dolor abdominal y diarrea. A largo plazo, se considera que tanto el riñón como el hígado son los órganos más dañados y las enfermedades crónicas obstructivas de las vías respiratorias asociados por la exposición prolongada e intensa por inhalación de este metal puede contribuir al desarrollo de cáncer renal, osteomalacia y necrosis del tejido renal (Olmos y Octavio, 2022).

2.2.2. Carbón activado

Los carbones activados son materiales de carbono producidos que no son peligrosos, caracterizados por tener estructura porosa desarrollada con alta superficie específica, pudiendo actuar como adsorbentes de una cantidad variada de sustancias, ya que pueden atraer moléculas a su superficie (Henning y von Kienle, 2021)

a. Composición química

El carbón activado tiene una gran variedad de elementos que se distinguen en sus características granulométricas y estructura interna, pero por lo general su

composición química está compuesta aproximadamente en carbono (70 - 80%), cenizas (5 - 10%), oxígeno (del 60%) e hidrogeno (0,5%), su composición química tiene cualidades puras similares al grafito, diamante (Navarrete, Quijano y Velez, 2014)

b. Composición física

El carbón activado tiene estructura microcristalina parecido al grafito, su forma estructura posee una distribución de poros de tamaños bien definidos (Navarrete, Quijano y Velez, 2014). Así mismo, según la IUPAC (International Union of Pure and Applied Chemists), se pueden distinguir tres tipos de poros de acuerdo a su diámetro, los que son:

- Macroporo: > 50 nm
- Mesoporo: 50 nm - 2 nm
- Microporo: < 2 nm

Todos los carbonos activados poseen características de tener un sistema de poros ramificados, donde los poros de varios tamaños, como los mesoporos ($2 - 50$ nm), microporos ($0.8 - 2$ nm) y los submicroporos (≤ 0.8 nm) se ramifican a partir de los macroporos (≥ 50 nm), en la figura se observa el modelo esquemático de carbón activado (Henning y von Kienle, 2021).

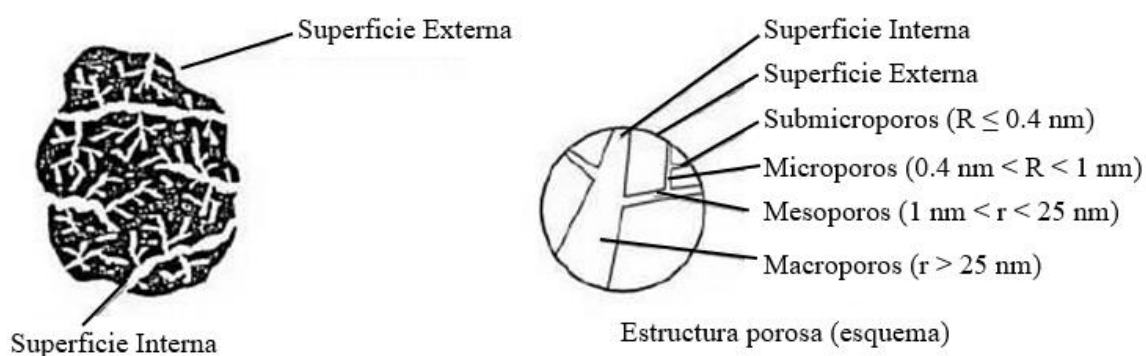


Figura 1. Modelo esquemático de carbón activado.

c. Precursores para el carbón activado

Para la elaboración del carbón activo se pueden emplear como precursor prácticamente cualquier material tipo orgánico o sintético ya que poseen un elevado contenido de carbono su estructura, sin embargo, existen algunas limitantes debido a

que los carbones activados son desordenados e isotrópicos, el material a usar no debe pasar de un estado fluido o semifluido que le deje transformarse en estructuras ordenadas, por ello, los carbones coquizables no son un material apropiado, así como los residuos termoplásticos ya que se funden al incrementar la temperatura, .sin embargo, los materiales aptos y más usados son los residuos agrícolas o forestales, productos con naturaleza lignocelulósica, como la madera, cascara de nuez, de almendra, de coco, hueso de aceituna, etc. (Navarrete, Quijano y Velez, 2014; Álvarez, Carrasco y Maldonado, 2014)

La elección del precursor se realiza en función de su *disponibilidad, precio y pureza*. Es por este motivo que los desechos agroindustriales toman fuerza como posibles materias primas para la preparación de CA, ya que, al ser desechos que se descartan de los procesos industriales tiene bajo costo y su disponibilidad solo depende de las alternativas de reutilización que tengan

Los materiales lignocelulósicos están conformados en su mayoría por celulosa, hemicelulosa, pectina y lignina, estos están presentes en las paredes celulares de las plantas, y son los responsables principales de la adsorción de los iones metálicos, se sabe, que las biomásas a base de lignocelulósicas son excelentes biosorbentes, pero conocer sus grupos funcionales y su afinidad a los iones, influirá en la eficiencia del proceso de adsorción (Navarrete, Quijano y Velez, 2014).

La actividad forestal y la industria maderera son generadoras de residuos bajo la forma de aserrín y trozos de madera de diversas formas y tamaños, los cuales en general no encuentran una disposición o utilización adecuada (Tancredi, Amaya y Medero, 2005). Estos residuos forestales en contraposición a los residuos de la industria de transformación, no han sido todavía aprovechados de forma eficaz (citado en Fernández, 2012), por ello es importante buscar otras alternativas de uso de estos desechos más allá de su utilización como combustible (Tancredi, Amaya y Medero, 2005). En la explotación industrial, se obtiene entre 40-50% de residuos, ya que existe una alta pérdida por la elaboración de elementos de tamaño específico (Castioglioni, 2013).

d. Modificaciones químicas y físicas de los biomateriales

Después de seleccionado el precursor y realizado la etapa de acondicionamiento de este, con la molienda y el secado, sigue la etapa de activación, donde se desarrollan la estructura porosa del precursor (Álvarez, Carrasco. y Maldonado, 2014), para ello,

es preciso mencionar que existen dos procesos de activación, los que se describirán a continuación:

- **Activación térmica (activación física):** Generalmente, aunque no necesariamente, consta de dos pasos consecutivos. Inicialmente es la carbonización térmica del precursor, donde se produce la desvolatilización, que es elaborada a temperaturas medianas o altas, a fin de tener un carbón abundante en carbono. Seguido a ello, es la activación, donde el carbón restante se gasifica parcialmente con un agente oxidante (principalmente vapor) en hornos de fuego directo. Si ambos pasos se realizan simultáneamente, el proceso se denomina activación directa (Bandosz, 2006).
- **Activación química:** este proceso a diferencia del anterior, se desarrolla en una etapa de carbonización. Primero se impregna al precursor con un agente químico (a relaciones reactivo químico versus materia prima), y después se calienta. El producto se tiene que lavar a fin de remover cualquier rastro de agente químico tras su calcinación. La temperatura del proceso de calentamiento térmico dependerá según el tipo de agente activante utilizado. Los más comunes son el ácido fosfórico, $ZnCl_2$ y los hidróxidos alcalinos (Bandosz, 2006).

2.2.3. Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr)

Nombre comercial: Lupuna

Nombres comunes: Paneira (Uruguay); Zamuhú (Paraguay); Toborochoi (Bolivia); Paneira (Brasil); Barriguda (Brasil); Yuchan (Argentina); Paneiro (Argentina); Lupuna (Perú)

Nombre científico: *Chorisia integrifolia* Ulbr

Sinónimos de nombres científicos: **Ceiba insignis** (Kunth) P.E.Gibbs & Semir

a. Taxonomía de la Lupuna:

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Malvales

Familia: Malvaceae

Género: *Ceiba* Mill.

Especie: *Chorisia integrifolia* Ulbr.

b. Descripción del árbol

- **Descripción botánica:** Los árboles de chorisia son enormes y alcanzan alturas de 40 metros. Los troncos son cilíndricos, con diámetros que oscilan de 120 y 150 cm a más. Suelen presentar de 4 a 6 contrafuertes bien desarrollados.
- **Hábitat natural:** Las chorisia son árboles pioneros, que se encuentran principalmente en bosques secundarios, cerca de ríos y cursos de agua.
- **Distribución natural:** Se informa que el género *Chorisia* está bien distribuido por toda América del Sur tropical.

c. Identificación de madera

- **Descripción anatómica de la madera:** es de madera porosa difusa, con vasos solitarios y en múltiples radiales cortos, su diámetro tangencial de la luz del vaso es de 200 micras o más (grande), tienen placas de perforación simples, en ocasiones con parénquima axial en bandas marginales o aparentemente marginales.
- **Descripción general de la madera**
Olor: No tiene olor ni sabor discernibles.
Color: La madera es de color blanco.
Grano: La fibra es mayoritariamente recta o ligeramente entrelazada.
Textura: La textura se describe como gruesa.

d. Propiedades físicas de la madera

- Densidad básica (g/cm³): 0.28
- Densidad seca al aire (g/cm³): 0.30
- Contracción total tangencial (%): 6.5
- Contracción total radial (%): 2.4

2.2.4. Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*)

Nombre Comercial: Cedrorana, Tornillo

Nombres Comunes: cedreo-branco, Cedrarana, cedromara, cedroarana, taperibá-aquí, cedrorama. En Perú se le conoce como Huagracaspi, Tornillo; en Brasil s como yacayacá e paricá; en Ecuador como: Seiqui, Seique; en Colombia como Achupo, Achapo Blanco, Yakayata, Jeñeni;

Nombre Científico: *Cedrelinga cateniformis* (Ducke) Ducke

Sinónimos de Nombres Científicos: *Pithecellobium cateniformis* (Ducke) L.,
Cárdenas *Piptadenia cateniformis* Ducke.

a. Taxonomía del tornillo:

Reino: Plantae

Filo: Tracheophyta

Clase: Magnoliopsida

Orden: Fabales

Familia: Fabaceae

Género: *Cedrelinga* Ducke

Especie: *Cedrelinga catenaeformis* (Ducke) Ducke

b. Descripción del árbol

- ***Descripción botánica:*** Es un gran árbol presente en el Amazonas, de 30 a 48 metros de altura, con un diámetro de tronco de hasta 2 m; su corteza presenta una textura rugosa y posee una copa de forma irregular, sus hojas son bipinnadas y cuentan con un pecíolo largo, mientras que los folíolos pueden llegar a tener hasta cuatro pares, dispuestos de manera opuesta y con pecíolos cortos. Las flores se agrupan en cabezas con pocas flores, alcanzando un diámetro de 8 mm, son sésiles y tienen un cáliz ligeramente pubescente; la corola presenta un color que varía entre verde amarillento y pardusco. Los frutos son pendulares, indehiscentes y tienen una base estipulada, formando largas cadenas planas con forma oblongo-ovada, aunque retorcidas en los puntos de unión, y el segmento final suele estar abortado y con un patrón reticulado-venoso. Al madurar, estos frutos se separan en sus uniones y son transportados a grandes distancias por el viento.
- ***Hábitat natural:*** En áreas que son húmedas e incluso en zonas pantanosas, preferentemente en manantiales y en el curso superior de arroyos, que tengan una gruesa capa de humus, así como, en grandes bosques sobre suelo firme.
- ***Fructificación y floración:*** Florece en el mes de diciembre y da frutos hasta marzo.
- ***Distribución natural:*** Brasil, Colombia y Perú.
- ***Usos locales de la madera:*** En general vivienda como marcos de puertas y ventanas, contraventanas, lamas, molduras y zócalos; andamios y encofrados

para hormigón. Piezas internas para muebles comunes, enchapados decorativos, contrachapados y embalajes.

c. Identificación de madera

- **Descripción anatómica de la madera:** Solo se puede observar el parénquima debajo del cristalino, paratraqueal es vasicéntrico y en forma de diamante con expansiones cortas; Rayos visibles sólo a través de la lente en la parte superior y en la cara tangencial, donde a simple vista se pueden ver ondulados, que recuerdan a la extracción, delgados; los jarrones son grandes, escasos, y se disponen de manera difusa, siendo solitarios y vacíos. Las capas de crecimiento tienen una apariencia confusa.

d. Descripción general de la madera

- **Olor:** Es perceptible y desagradable cuando la madera está húmeda a diferencia a cuando está seca.
- **Color:** El duramen presenta un color que varía desde rojo rosado hasta verdoso o beige rosado, mientras que la albura es de un tono más claro y brillante.
- **Grano:** Ligeramente ondulado o recto.
- **Textura:** Textura espesa.
- **Durabilidad natural:** La madera tiene una moderada durabilidad frente al ataque de termitas y hongos, y su durabilidad es inferior a 12 años cuando está en el suelo.
- **Resistencia a la impregnación:** Duramen y albura difíciles de tratar con conservantes solubles en agua, incluso bajo tratamiento a presión.

e. Propiedades físicas de la madera

- Densidad básica o gravedad específica (g/cm^3): 0.47
- Densidad seca al aire (g/cm^3): 0.52
- Contracción normal tangencial (%): 5.4
- Contracción total tangencial (%): 8.3
- Contracción normal radial (%): 2.5
- Contracción total radial (%): 4.1
- Contracción volumétrica normal (%): 7.9
- Contracción volumétrica total (%): 12.4

- f. Defectos de secado:** El secado al aire, cuando se realiza con la pila cubierta y bien apilada, presenta pocas grietas o deformaciones. Sin embargo, el secado en secadoras requiere un manejo cuidadoso para evitar problemas.

2.2.5. Adsorción

La adsorción es un proceso de transferencia de masa; en donde los átomos o moléculas de una sustancia están en una fase determinada y son retenidas en la superficie de otra sustancia, la que se halla en una fase distinta (por lo general sólida), como resultado de este proceso, se forma una capa de líquido o gas en la superficie de una sustancia sólida o líquida (Doran, 1998).

Esta técnica muestra una amplia variedad de eliminación de contaminantes, alta capacidad, cinética rápida y posiblemente selectiva dependiendo de tipo adsorbente del cual, depende su rendimiento, básicamente por las características de su estructura (Liu y Lee, 2014), algunos de los adsorbentes utilizados son, los carbones activados, biopolímeros, arcillas, Zeolitas, plantas o desechos lignocelulósicos y otros, generalmente con procesos variados de modificación física y/o química, comúnmente empleados para remover colorantes iónicos, metales pesados, materiales radioactivos entre otros contaminantes generados por las actividades antrópicas (Caviedes, 2015).

a. Tipos de Adsorción

- **Adsorción por intercambio:** En esta etapa, la atracción es por fuerzas electrostáticas entre el adsorbato y adsorbente, en el cual los iones del adsorbato se concentrarán en la parte superficial del adsorbente, la que tiene una carga eléctrica opuesta a la del soluto. Cuando se presentan dos adsorbatos iónicos bajo condiciones similares, el que tenga mayor carga será el que se adsorba preferentemente. En el caso de adsorbatos con igual carga, el tamaño molecular (radio de desolvatación) determinará cuál de ellos será el adsorbido.
- **Adsorción por fuerzas de Van der Waals:** Conocido como fisisorción o adsorción física, aquí el adsorbato tiene movilidad en la interfase y no está fijo en la superficie del adsorbente, así mismo, el adsorbato conserva su naturaleza química, este se encuentra mayormente en los procesos de adsorción sustancias orgánicas en el agua con carbón activado.

- **Adsorción química:** Denominada como quimisorción o adsorción activa, esto pasa cuando hay entre adsorbente y adsorbato una interacción química, a causas de que la fuerza de interacción entre el material adsorbente y la sustancia adsorbida es muy fuerte, similar a un enlace químico. Esto se debe a que se forman enlaces robustos entre el adsorbato y las zonas activas del adsorbente. En esta clase de adsorción, el adsorbato atraviesa un cambio significativo en su naturaleza química.

b. Procesos de adsorción

- **Proceso por lotes:** Conocido también como proceso discontinuo, es sistema sencillo para llevar a cabo el proceso de adsorción, el cual está compuesto por un recipiente o tanque, que, se pone en contacto una cantidad establecida de adsorbente con el adsorbato en solución, manteniéndose en suspensión por una agitación constante, en un tiempo y temperatura necesarios hasta alcanzar el equilibrio, después de alcanzada el equilibrio se separa el adsorbente de la solución del adsorbato mediante filtración (Iranzo, 2015). Este tipo de proceso de adsorción por lotes (discontinuos) son utilizados mayormente para los estudios de cinética y equilibrio, a fin de analizar algunos parámetros que influyen en el proceso de adsorción (Castellar et al., 2013).
- **Proceso en columnas de lecho fijo:** Este tipo de proceso de adsorción consiste en hacer fluir una solución contaminada con adsorbato a través de un lecho, con una constante velocidad, de tal forma que avance el tiempo, las partículas del adsorbente, retengan los componentes del adsorbato a separar (Rodríguez, 2016). Este proceso, no funciona bajo condiciones de equilibrio, dado que constantemente la columna es alimentada por la disolución que contiene al adsorbato, generando un proceso de transferencia de masa entre la fase líquida que contiene al adsorbato y la fase sólida del adsorbente (Castellar et al, 2013).

c. Factores que afectan el proceso de adsorción.

El proceso de la adsorción se ve influenciado por diversos parámetros como son la naturaleza del adsorbato y el adsorbente, la concentración de contaminantes, el tamaño de las partículas, entre otros, a continuación, se detallan algunos factores que influyen en la adsorción:

- ***Influencia de la naturaleza del adsorbente:*** La naturaleza del adsorbente es de suma relevancia en la adsorción de metales, los diversos materiales adsorbentes tienen diferentes propiedades fisicoquímicas en la superficie sólida, estos influyen en la capacidad de adsorber y en las interacciones entre el adsorbato y adsorbente (Toles et al., 1997). Los biosorbentes son productos que se originan de las plantas, flora microbiana, biomasas residuales, productos agroindustriales, o algunos biopolímeros, y tienen la capacidad de adsorber los metales en la solución, estos biomateriales son sometidos a tratamientos fisicoquímicos para mejorar su capacidad de adsorción, dentro de estos materiales podemos mencionar los organismos vivos, biomasas, biopolímeros, carbones activados, arenas, zeolitas y otros (Tejada et al., 2015)
- ***Influencia de la porosidad del adsorbente:*** La porosidad es una variable trascendente en la adsorción ya que los poros grandes pueden facilitar la difusión de contaminantes (Haleem et al., 2023), así como también, reducir el tamaño de los poros logra incrementar la fuerza de interacción, ya que, el adsorbato puede permanecer más tiempo y establecer más puntos de contacto con la superficie del material adsorbente, Sin embargo, si el tamaño de los poros se reduce a menos del doble del diámetro de la molécula del adsorbato, puede ocurrir un solapamiento, lo que disminuye la eficacia del proceso de adsorción (Kasaoka et al., 1989). Además, la geometría espacial de la estructura de los poros, es decir, si los poros son uniformes o con muchas curvaturas, influirán en la accesibilidad del adsorbato (Roman, 2021).
- ***Influencia del tamaño de partícula:*** Las dimensiones de las partículas son muy importantes en el rendimiento de la adsorción, ya que las partículas de menor tamaño tienen una mayor eficiencia en la adsorción que las partículas más grandes, esto debido, a que el área superficial de las partículas más grandes es menor al de las más pequeñas (Srivastava et al., 2015), así mismo, Tejada et al. (2015), menciona que la cantidad de adsorbato que se puede adsorber depende directamente del volumen disponible, el cual, a su vez, está estrechamente relacionado con el área superficial externa del adsorbente.
- ***Influencia de la naturaleza del adsorbato:*** Los elementos que se van a adsorber, también influyen significativamente en el proceso de adsorción, así como, la presencia de otros iones en la disolución hace que estos puedan competir entre sí por las zonas de sorción (Tejada et al., 2015), ya que variara características como:

la solubilidad de las moléculas, las características del tamaño molecular los grupos funcionales de los elementos (Román, 2021)

- ***Influencia de la concentración inicial de adsorbato:*** La concentración inicial de metales pesados influye de manera significativa en el grado de adsorción y considerándose un parámetro relevante para evaluar la eficiencia de un adsorbente. Generalmente, con el aumento de la concentración inicial, el porcentaje de eliminación disminuye debido a la saturación de los lugares de adsorción en la superficie del adsorbente, en cambio, un incremento en la concentración inicial corresponde a una mayor capacidad adsorbente, ya que se origina en la fuerte fuerza impulsora de la transferencia de masa (Bhandari et al., 2021).

d. Modelos isotérmicos de adsorción

En el tratamiento de los datos que se obtuvieron de manera experimental en condiciones de equilibrio, así como, el análisis de los procesos de adsorción y los datos de equilibrio se conocen normalmente como isotermas de adsorción (Navarrete, Quijano y Velez, 2014).

Las isotermas de adsorción explican la relación que hay entre la concentración del adsorbato ya sea en fase gaseosa o líquida y la cantidad adsorbida en la fase sólida a condiciones establecidas (Foo y Hameed, 2009), es decir, representa la relación entre la cantidad de contaminante adsorbido y su concentración en el agua en equilibrio, así mismo, estos exploran la homogeneidad y heterogeneidad de los adsorbentes, (Ali, 2012) y pueden determinar el grado de separación que puede lograr, lo que permitirá estimar el nivel de purificación que se puede alcanzar, la cantidad de adsorbente a utilizar y la sensibilidad del proceso con respecto a la concentración del producto (Navarrete, Quijano y Velez, 2014).

Para el ajuste de análisis de los datos obtenidos experimentalmente en los procesos de adsorción se pueden encontrar:

- ***Isoterma de Langmuir:*** este tipo de modelo de isoterma describe la adsorción en una superficie con sitios de adsorción uniformes, es decir, supone que los sitios activos están distribuidos homogéneamente y cuando un sitio está ocupado, cesa la adsorción adicional, este modelo es particularmente aplicable a capas monomoleculares (Chen et al., 2010).

- **Isoterma de Freundlich:** este tipo de modelo de isoterma define la adsorción en superficies heterogéneas con múltiples lugares de adsorción y tiene una adsorción multimolecular, este isoterma de adsorción se vuelve lineal, lo que indica que es una adsorción favorable cuando $n = 1$, favorable cuando $n < 1$ y desfavorable cuando $n > 1$ (Afroze y Sen, 2018)

En la Tabla 2 se muestran los modelos de isothermas más estudiados para los procesos de adsorción para metales pesados donde usan biomásas como adsorbente.

Tabla 2.

Modelos de isothermas de adsorción

Isotermas	Ecuación	Parámetros
Isoterma de Freundlich	$q_e = k_f \times C_e^{1/n}$	k_f es el parámetro de la capacidad de adsorción, n es la intensidad de adsorción, C_e es la concentración del metal.
Isoterma de Langmuir	$q_e = \frac{q_{max} B C_e}{1 + b C_e}$	q_{max} es la cantidad máxima metal/peso de biomasa, b es la afinidad de los sitios de unión, C_e es la concentración del metal

Fuente: Tejada et al. (2014).

CAPITULO III

MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. **Ámbito de estudio**

El ámbito de estudio de una investigación, según Hernández Sampieri et al. (2006; 2014), se refiere a los límites dentro de los cuales se desarrollará el estudio, para ello, la presente investigación consideró los siguientes límites; dentro de los límites geográficos o de espacio físico, a los dos aserraderos donde se recolectaron las muestras de biomasa residual de las especies forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), los laboratorios de la Universidad de Juliaca donde se llevó a cabo los procesos de elaboración de los tipos de carbón activado y los experimentos para determinar la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua contaminada artificialmente en el laboratorio, el Centro de Microscopía Electrónica de la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa donde se realizó el análisis de las características superficiales de los Carbones Activados; dentro de los límites teóricos, este proyecto de investigación está basado en las teorías relacionadas a la adsorción de contaminantes por carbón activado de residuos forestales maderables y los procesos de remoción de plomo y cadmio en el agua; dentro de los límites metodológicos se consideran los métodos y técnicas que se utilizaron para recopilar y analizar los datos, como son los ensayos de laboratorio, análisis químicos, pruebas de eficiencia de adsorción, entre otros.

3.2. **Tipo de investigación**

Los tipos de investigación según, Hernández Sampieri et al. (2006; 2014), son exploratoria, descriptiva, correlacional y explicativa, pero ellos prefieren referirse a los alcances de estos en la investigación ya que consideran, que no solo es una clasificación, sino que constituye un continuo de “causalidad” que puede tener un estudio, que dependerá la estrategia de investigación, por lo mencionado ante, este estudio se ajusta mejor al tipo de investigación con alcance explicativa, debido a que este permitirá determinar la eficiencia de remoción, así como, entender los mecanismos y factores que influyen en el proceso de remoción de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenido a partir de biomasa residual de las especies forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*).

El presente proyecto tiene un diseño de investigación tipo experimental puesto que las variables independientes serán manipuladas por el investigador, por lo que se tendrá mayor control y evidencia de la causa-efecto (Tam, Vera y Oliveros, 2008), como se visualiza en la Figura 2.



Figura 2. Esquema de experimento y variables.

Fuente: Hernández Sampieri et al. (2014)

3.2.1. Variables dependientes e independientes del objetivo general

Determinar la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*).

V.D. Eficiencia de remoción

V.I. Carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*)

3.2.2. Variables dependientes e independientes de los objetivos específicos

- Obtener carbón activado a partir de biomasa residual de especies forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) a una temperatura de 500°C.

V.D. Carbón activa

V.I. Temperatura.

- Evaluar la calidad del carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) variando el tamaño de partícula y la relación de impregnación de activación, y comparar la calidad con un carbón activado comercial.

V.D. Calidad del carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*).

V.D. Calidad del carbón activado de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*).

V.I. Tamaño de partícula.

V.I. Relación de Impregnación.

V.I. Calidad del Carbón activado industrial.

- Evaluar la cantidad de remoción de plomo y cadmio variando tipo de calidad de carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), y la concentración inicial de plomo y cadmio.

V.D. Cantidad de remoción.

V.I. Calidad de Carbón Activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*).

V.I. Concentración inicial de plomo y cadmio

3.3. Población y muestra

3.3.1. Población

La población en esta investigación son los residuos forestales de las especies de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) obtenidos de los aserraderos de la urbe de Juliaca, así como, las concentraciones iniciales de plomo y cadmio en el agua contaminada artificialmente en laboratorio.

3.3.2. Muestra

La presente investigación presenta un tipo de muestreo no probabilístico con subtipo de muestreo por conveniencia, puesto que según Quispe (2010), en este tipo de muestreo el especialista selecciona los elementos de la muestra y la ventaja; y según Hernández Sampieri et al. (2004), su utilidad para determinado diseño de estudio que requiere no tanto una representatividad de elementos de población, sino una cuidadosa y controlada elección de sujetos con ciertas características específicas, como es el caso de la presente investigación donde para elaborar el carbono activado se requiere muestras de biomasa de especies forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) de la Ciudad de Juliaca, así como, las concentraciones iniciales de plomo y cadmio en el agua preparados en laboratorio .

3.4. Descripción de métodos

3.4.1. Equipos, materiales, reactivos e insumos

a. Materiales e insumos

Biomasa residual (aserrín y virutas) de la especie de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), biomasa residual (aserrín y virutas) de la especie de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), recipientes, baldes, crisoles, fiolas (500 ml, 250 ml, 100 ml, 50 ml), gradillas de tubos de ensayo, matraces erlenmeyer (250 ml), vasos precipitados (100 ml, 250 ml), varillas, goteros, puntas de micropipetas, picetas, bidón de agua, lentes, pipetas, set de limpieza, gases, viales de 15 ml, viales de 50 ml, filtros whatman, materiales de escritorio, tamices, guantes, barbijos, pisetas, carbón activado comercial, frasco de vidrio de 500 ml, cooler de muestreo, equipos de protección personal.

b. Equipos

Molino de Cuchillas, Tamizador (WS TYLER RX-29-16), Estufa (ECOCELL 111 ECO line), Mufla (DAIHAN FHX-12), Balanza Analítica (OHAUS -PIONEER PX224), Espectrofotómetro de absorción atómica (Analytik Jena GmbH - novAA 400 P), Turbidímetro (LOVIBOND Wáter Testing), Multiparámetro Portátil (HANNA INSTRUMENTS HI 98194), Microscopio electrónico de Barrido (SE XL20 PHILIPS), Agitador Magnético (J.P SELECTA S.A), Sistema de agua ultrapura (Evoqua LaboStar), Equipo de titulación, Desecador, Micropipetas, Cámara, GPS, Laptop.

c. Reactivos

Agua destilada, agua ultrapura, ácido fosfórico al 85% (tipo industrial), solución patrón estándar de plomo (100 mg/l), solución patrón estándar de cadmio (100 mg/l), solución estándar iodo, tiosulfato de sodio, indicador de almidón, ácido clorhídrico al 95%, HNO₃, carbón activado comercial ELIXIR.

3.4.2. Obtención del carbón activado de biomasa residual de especies forestales

Para la obtención de los tipos de carbón activado variando el tipo de especie forestal, el tamaño de grosor de partícula y la relación de impregnación se realizó el siguiente procedimiento:

a. Recolección de muestras

La recolección de las muestras se hizo de una industria maderera de la ciudad de Juliaca, la que proporcionó los residuos forestales de las especies de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), las materias primas fueron recolectadas en forma de virutas y aserrín, así mismo en esta etapa, previamente se realizó la limpieza de los equipos a fin de evitar lo más posible una contaminación cruzada.

b. Acondicionamiento de la materia prima

En esta etapa los residuos forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) recolectados, fueron sometidos a un proceso de reducción de tamaño mediante un molino triturador de madera, luego se usó un tamizador para realizar la clasificación de acuerdo al tamaño de partícula, donde se obtuvieron muestras de tamaño granular (2mm-2cm) y en polvo (75 – 150 μm), luego de ello, el material separado fue lavado con agua ultrapura y posteriormente fue secado a $103\pm 2^\circ\text{C}$ en la estufa como lo realizaron Asimbaya et al. (2015).

c. Impregnación con solución de ácido fosfórico

En esta parte del proceso para la obtención de los carbones activados, cada muestra (precursor) fue mezclada con el agente activante que fue el Ácido Fosfórico al 85% hasta quedar completamente homogéneas y el precursor esté humedecido en su totalidad, en este caso, se usaron relaciones de la impregnación de 1:1 y 1:1.5 (donde por cada gramo de materia prima se agregó 1 gramo o 1.5 gramos de ácido fosfórico al 85%) (Asimbaya et al., 2015) y se dejó impregnar por 24 horas.

d. Activación química

Una vez realizada la impregnación, las muestras fueron llevadas a la mufla para su carbonización. Se programó la mufla a la temperatura de 500°C por 2 horas, pasado el tiempo establecido de operación de la mufla se dejó enfriar, luego los carbones obtenidos fueron retirados y llevados al desecador para que se enfríen hasta alcanzar la temperatura ambiente. Luego se lavó con agua ultrapura caliente para eliminar el ácido fosfórico residual y alcanzar un pH entre 6 y 7. Finalmente se secó a $103\pm 2^\circ\text{C}$ (Asimbaya et al., 2015).

e. Rendimiento de carbón activado

En esta etapa se determinó el rendimiento (%) de los carbones activados elaborados en laboratorio bajo las condiciones ya establecidas, puesto que el rendimiento, representa la proporción del carbón activado obtenido respecto a la cantidad inicial de materia prima utilizada en el proceso de elaboración de carbón activado, para ello, se procesó los resultados obtenidos y se utilizó la siguiente ecuación (Delgadillo et. al, 2009):

$$R (\%) = \frac{\text{Peso del producto final}}{\text{Peso del precursores}} \times 100 \quad (1)$$

Donde:

R: Rendimiento (%)

Ppf: Peso del producto final (g)

Pp: Peso del precursor (g)

En la tabla 3, se muestra el cuadro resumen de las condiciones establecidas por el investigador para la elaboración de los carbones activados para el presente proyecto de investigación.

Tabla 3.

Condiciones establecidas para la elaboración del carbón activado

Condición	Descripción
Residuos especie forestal	Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)
Agente activante	Ácido Fosfórico 85%
Relación de Impregnación	1:1 (materia prima (g)/agente activante (g)) 1:1.5 (materia prima (g)/agente activante (g))
Tiempo de Impregnación	24 horas
Tamaño de Partícula	2mm-2cm (granular) 75 – 150 μm (polvo)
Condición de Activación	500 °C /2 horas

En la Figura 3, se observa el diagrama de flujograma del proceso de elaboración de carbón activado. utilizado en la presente investigación.

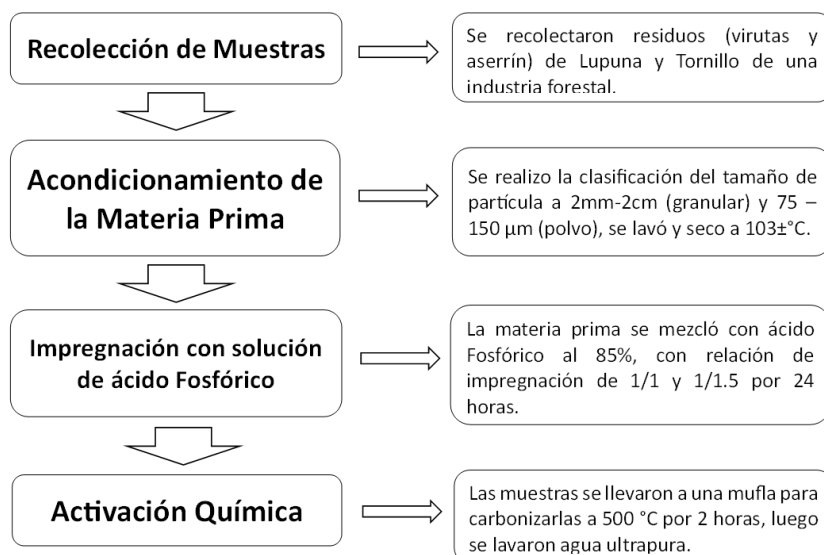


Figura 3. Flujograma del proceso de elaboración de carbón activado.

3.4.3. Evaluación de la calidad del carbón activado

En esta etapa del proceso experimental, se evaluó la calidad de los carbones activados obtenidos (bajo condiciones establecidas por el investigador) en el laboratorio, así como, al carbón activado comercial, para ello, se realizó la caracterización mediante el Índice de Iodo en los laboratorios de la Universidad Nacional de Juliaca y el análisis por Microscopía Electrónica de Barrido (SEM) en la Universidad Nacional de San Agustín de Arequipa, ya que el primer método nos permite determinar el área superficial y la porosidad del carbón activado y el segundo nos proporciona imágenes de alta resolución que nos permite observar la superficie, donde se puede identificar las características como la distribución y el tamaño de los poros (Alvares et al., 2014).

- a. Índice de iodo:** El procedimiento realizado está de acuerdo a las Normas: Norma ASTM D4607-94 y NTE INEM 1998:94 que son equivalentes a la norma AWWA B 600-78 de la Water Works Association, la que el análisis se desarrolló la siguiente manera:

El proceso para obtener valores del índice de iodo de los carbones activados implica varios pasos. Primero, se tritura la muestra de carbón activado hasta que pase por una malla de 45 µm. Luego, se pesa 1 g de esta muestra y se coloca en un matraz Erlenmeyer, donde se añade 10 ml de HCl (del 5%) y se agita hasta llegar a que la muestra esté totalmente humedecida. Esta mezcla se calienta hasta que borbotea durante 30 segundos y luego se deja enfriar a temperatura ambiente. A continuación, se añaden 100 ml de solución estándar de yodo (0.1 N) y se agita enérgicamente por un periodo de 30 segundos. Después, se filtra la mezcla utilizando papel filtro

Whatman No. 2, donde se descarta los primeros 20-30 ml del filtrado. Después se usa 50 ml del filtrado, la que se titula con tiosulfato de sodio (0.1 N) hasta que se torne de un color amarillo pálido, momento en el que se añaden 3 gotas de solución de almidón. La titulación continúa hasta que la solución se torna completamente transparente. Finalmente, el índice de yodo se determina en función del volumen de tiosulfato de sodio 0.1 N utilizado durante la titulación (NTE INEM 1998:94).

Para determinar el Número de Iodo del carbón activado se utilizaron las siguientes ecuaciones:

$$\text{Numero de Iodo} = \frac{x}{m} D \quad (2)$$

$$\frac{x}{m} = \frac{A - (2.2B \times \text{ml usados de solución estándar de tiosulfato de sodio } 0.1N)}{\text{Peso de la muestra g}} \quad (3)$$

$$C = \frac{N_2 \times \text{ml usados de solución estándar de tiosulfato de sodio } 0.1N}{50} \quad (4)$$

Donde:

A: $N_1 \times 12693.0$

N_1 : normalidad de la solución estándar de yodo 0.1N

B: $N_2 \times 126.93$

N_2 : normalidad de la solución de tiosulfato de sodio 0.1N

x/m: miligramos de yodo, absorbidos por g de carbón

C: normalidad del filtrado

D: factor de corrección

- b. Microscopía electrónica de barrido (SEM):** En esta etapa se analizó las características morfológicas superficiales, tamaño y distribución de los poros de las muestras de carbón activado obtenidos en laboratorio, a través del microscopio electrónico de barrido (SEM), donde se pudo observar imágenes en alta resolución de la superficie de las muestras (ver Figura 9 a Figura 17), para ello, a fin de obtener una mejor calidad de las micrografías de los poros presentes en las superficies

carbonosas, las muestras de carbón activados fueron previamente tratadas (Asimbaya et al., 2015).

3.4.4. Evaluación de la cantidad de remoción de plomo y cadmio

En esta parte del procedimiento experimental se evaluaron la cantidad de remoción de plomo y cadmio usando los tipos de carbón activado obtenidos previamente en laboratorio, para ello, se desarrolló el siguiente proceso:

- a. Preparación del agua sintética:* para esta etapa se diluyeron las soluciones estándar de plomo y cadmio de grado analítico con agua ultrapura, hasta llegar a concentraciones de 5 mg/l, 10 mg/l, 50 mg/l y 100 mg/l, para un volumen de 500 ml de cada solución de Pb y Cd (Tejada et al., 2016).

Para determinar las concentraciones iniciales (C_i) de plomo y cadmio en el agua se utilizó la siguiente ecuación:

$$C_1 \times V_1 = C_2 \times V_2 \quad (5)$$

Donde:

C_1 : concentración de la disolución.

V_1 : volumen de la alícuota por tomar de la disolución.

C_2 : concentración de la disolución diluida.

V_2 : volumen de la disolución diluida.

- b. Adsorción de plomo y cadmio:* en esta parte del proceso todos los ensayos de adsorción de plomo y cadmio fueron realizados mediante un sistema batch, en cada caso se utilizó 50 mg del adsorbente, la que se puso en contacto por 3 horas con 50 ml con la solución de Pb y Cd a diferentes concentraciones iniciales (5 mg/l, 10 mg/l, 50 mg/l y 100 mg/l), en un agitador magnético a una velocidad de 500 rpm a una temperatura ambiente. Finalizada la etapa de adsorción, las fases fueron separadas por filtración y posterior a ello se realizó el análisis de las concentraciones de plomo y cadmio de las soluciones remanentes (Lavado et al., 2010).
- c. Análisis de Pb y Cd por espectrometría de absorción atómica de llama:* para determinar la concentraciones iniciales, así como, de las concentraciones finales de los metales pesados de plomo y cadmio, obtenidos antes y después del proceso de adsorción, se usó el espectrómetro de absorción atómica novAA 400P, equipo donde se realizó el análisis mediante el proceso de espectroscopia de absorción atómica con llama basándonos en la metodología dada por APHA-AWWA-WPCF Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales (1989).

Así mismo, para que los resultados del análisis de estas muestras de agua contaminadas artificialmente fuesen confiables, se tuvo que determinar la Curva de Calibración tanto Pb como para Cd, teniendo resultados en esta etapa, de $R^2 = 0.997$ para plomo y de $R^2 = 0.999$ para cadmio, valores que se aproximan a 1, como se visualiza en la Figura 4 y Figura 5, para ello, indicando que los resultados del análisis de las muestras de agua fueron confiables.

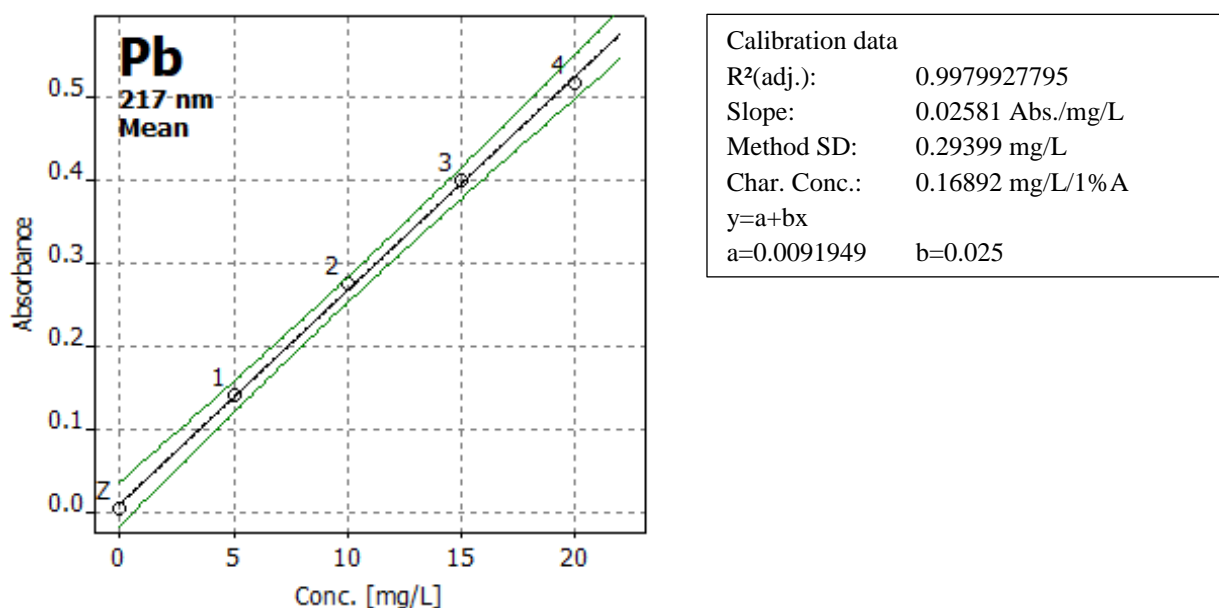


Figura 4. Curva de calibración para el análisis de Pb.

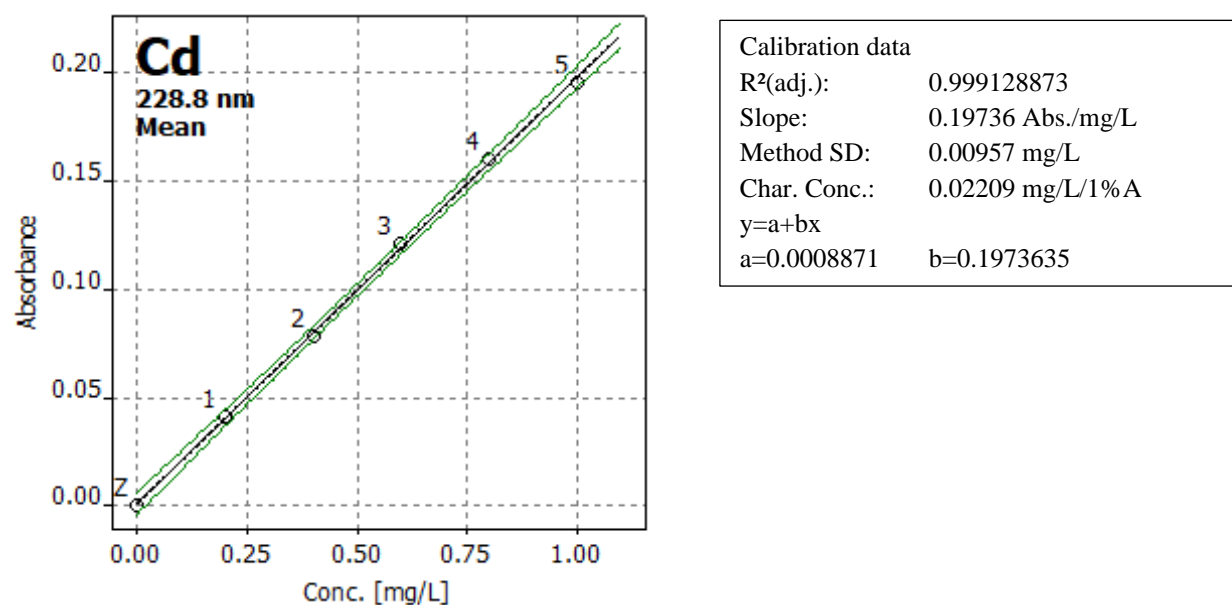


Figura 5. Curva de calibración para el análisis de Cd.

En la figura 6, se puede ver el esquema del procedimiento del proceso de remoción de plomo y cadmio en agua usando carbón activado elaborado bajo condiciones establecidas por el investigador.

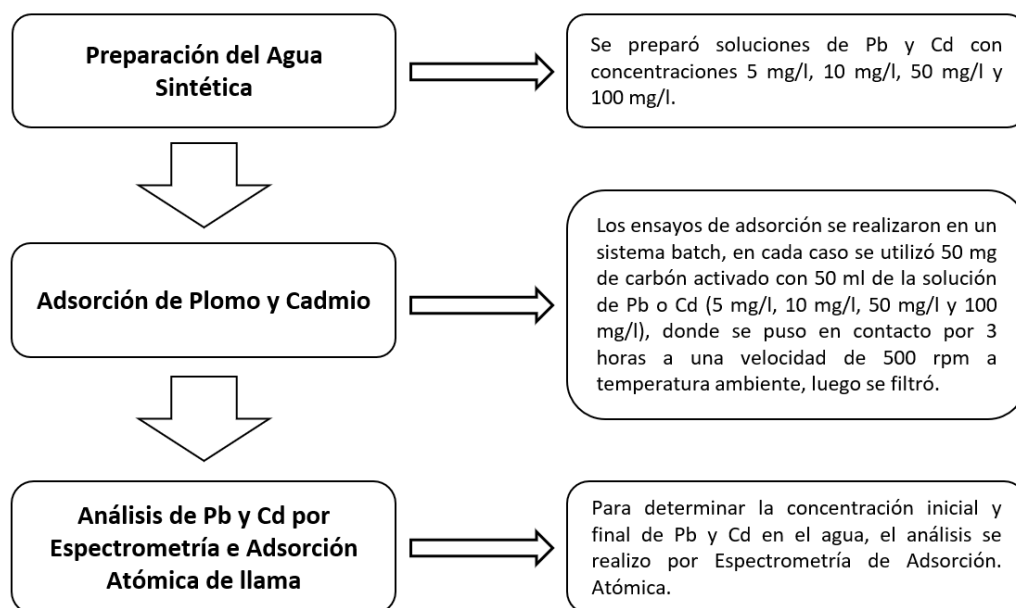


Figura 6. Esquema del procedimiento para la remoción de plomo y cadmio.

3.4.5. Diseño experimental

El diseño de experimentos consiste en el procedimiento sistemático y controlado para desarrollar las combinaciones correctas de condiciones variables para que el análisis resulte confiable (Palacios, 2004), en esta investigación se utilizó el diseño factorial.

a. Diseño factorial

Los diseños factoriales estudian el efecto de varios factores sobre una o más respuestas, cuando se tiene el mismo interés sobre todos los factores (Gutiérrez y De La Vara, 2008), son especialmente útiles para la primera etapa del trabajo experimental, cuando hay muchos factores por investigar. Con lleva el menor número de corridas con las cuales pueden estudiarse n-factores en un diseño factorial completo (Palacios, 2004).

Para poder obtener carbón activado en laboratorio se consideraron 3 variables (especie forestal, tamaño de partícula y relación de impregnación), las que conoceremos para el diseño factorial como *Factores*, considerando a cada dimensión como *nivel*, decimos entonces que solo hay dos niveles para cada factor. Si la totalidad de los factores en estudio tiene dos niveles, se denomina como un experimento factorial de 2^n . En el presente proyecto, para la preparación de carbón activado en laboratorio se tiene un diseño factorial de 2^3 (Tabla 4).

Tabla 4.*Variables establecidas para elaborar el carbón activado para la investigación*

Factores	Niveles	
	-	+
A=Especie Forestal (Tipo)	Lupuna	Tornillo
B=Tamaño de Partícula (mm, cm)	Granular (2mm-2cm)	Polvo (75-150 µm)
C=Relación de Impregnación (g/g)	1/1	1/1.5

En el diseño de 2^3 , donde se estudian tres factores con dos niveles, se obtuvo ocho combinaciones de pruebas como se visualiza en la tabla 5.

Tabla 5.*Datos para un diseño de 2^3 para elaborar los carbones activados*

Prueba	A	B	C	Código
1	-	-	-	LG1
2	+	-	-	TG1
3	-	+	-	LP1
4	+	+	-	TP1
5	-	-	+	LG2
6	+	-	+	TG2
7	-	+	+	LP2
8	+	+	+	TP2

En la tabla 6 podemos visualizar la codificación establecida para cada prueba durante la elaboración de carbón activado en laboratorio.

Tabla 6.*Descripción de codificación establecida para los tipos de carbón activado*

Prueba	Código/Tipo	Descripción
1	LG1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr), con tamaño de partícula granular y relación de impregnación 1:1
2	TG1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular y relación de impregnación 1:1
3	LP1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr), con tamaño de partícula polvo y relación de impregnación 1:1
4	TP1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo y relación de impregnación 1:1
5	LG2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr), con tamaño de partícula granular y relación de impregnación 1:1.5

Tabla 6 (continuación).*Descripción de codificación establecida para los tipos de carbón activado*

Prueba	Código/Tipo	Descripción
6	TG2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular y relación de impregnación 1:1.5
7	LP2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo y relación de impregnación 1:1.5
8	TP2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo y relación de impregnación 1:1.5

Para el diseño factorial de la remoción de metales pesados de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenidos en laboratorio y un carbón activado comercial, se consideró como diseño factorial completo, ya que este diseño consta de 4 factores, y cada uno con distintos valores o niveles, en la tabla 7 se visualiza los niveles y factores establecidos para la adsorción de metales, en la tabla 8 podemos observar la matriz establecida para el diseño factorial de la remoción de plomo con los tipos de carbón activado obtenidos en laboratorio y el carbón activado comercial dando como resultado 36 combinaciones de tratamiento que se tenían que realizar y en la tabla 9 se muestra el diseño factorial de la adsorción de cadmio con los tipos de carbón activado obtenidos en laboratorio y el carbón activado comercial dando como resultado también 36 pruebas que se tenían que hacer.

Tabla 7.*Variables escogidas para la remoción de metales pesados de la investigación*

Factores	Niveles			
	α	β	γ	δ
D = Concentración Inicial de Pb (mg/l)	5	10	50	100
E = Concentración Inicial de Cd (mg/l)	5	10	50	100

Tabla 8.*Matriz para un diseño factorial para la adsorción de plomo*

Prueba	A	B	C	D	Código	Descripción
1	-	-	-	α	LG1 Pb1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.

Tabla 8 (continuación).*Matriz para un diseño factorial para la adsorción de plomo*

Prueba	A	B	C	D	Código	Descripción
2	+	-	-	α	TG1 Pb1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.
3	-	+	-	α	LP1 Pb1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.
4	+	+	-	α	TP1 Pb1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.
5	-	-	+	α	LG2 Pb1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.
6	+	-	+	α	TG2 Pb1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.
7	-	+	+	α	LP2 Pb1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.
8	+	+	+	α	TP2 Pb1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.
9	-	-	-	β	LG1 Pb2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.
10	+	-	-	β	TG1 Pb2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.
11	-	+	-	β	LP1 Pb2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.
12	+	+	-	β	TP1 Pb2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.
13	-	-	+	β	LG2 Pb2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.

Tabla 8 (continuación).

Matriz para un diseño factorial para la adsorción de plomo

Prueba	A	B	C	D	Código	Descripción
14	+	-	+	β	TG2 Pb2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.
15	-	+	+	β	LP2 Pb2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.
16	+	+	+	β	TP2 Pb2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.
17	-	-	-	γ	LG1 Pb3	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
18	+	-	-	γ	TG1 Pb3	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
19	-	+	-	γ	LP1 Pb3	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
20	+	+	-	γ	TP1 Pb3	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
21	-	-	+	γ	LG2 Pb3	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
22	+	-	+	γ	TG2 Pb3	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
23	-	+	+	γ	LP2 Pb3	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
24	+	+	+	γ	TP2 Pb3	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
25	-	-	-	δ	LG1 Pb4	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.

Tabla 8 (continuación).*Matriz para un diseño factorial para la adsorción de plomo*

Prueba	A	B	C	D	Código	Descripción
26	+	-	-	δ	TG1 Pb4	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.
27	-	+	-	δ	LP1 Pb4	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.
28	+	+	-	δ	TP1 Pb4	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.
29	-	-	+	δ	LG2 Pb4	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.
30	+	-	+	δ	TG2 Pb4	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.
31	-	+	+	δ	LP2 Pb4	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.
32	+	+	+	δ	TP2 Pb4	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.
33	CAI	CAI	CAI	α	CAIPb1	Carbón activado comercial y concentración inicial de 5 mg/l de Pb.
34	CAI	CAI	CAI	β	CAIPb2	Carbón activado comercial y concentración inicial de 10 mg/l de Pb.
35	CAI	CAI	CAI	γ	CAIPb3	Carbón activado comercial y concentración inicial de 50 mg/l de Pb.
36	CAI	CAI	CAI	δ	CAIPb4	Carbón activado comercial y concentración inicial de 100 mg/l de Pb.

Tabla 9.*Matriz para un diseño factorial para la adsorción de cadmio*

Prueba	A	B	C	D	Código	Descripción
1	-	-	-	α	LG1 Cd1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 5 mg/l de Cd.

Tabla 9 (continuación).*Matriz para un diseño factorial para la adsorción de cadmio*

Prueba	A	B	C	D	Código	Descripción
2	+	-	-	α	TG1 Cd1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 5 mg/l de Cd.
3	-	+	-	α	LP1 Cd1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 5 mg/l de Cd.
4	+	+	-	α	TP1 Cd1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 5 mg/l de Cd.
5	-	-	+	α	LG2 Cd1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 5 mg/l de Cd.
6	+	-	+	α	TG2 Cd1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 5 mg/l de Cd.
7	-	+	+	α	LP2 Cd1	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 5 mg/l de Cd.
8	+	+	+	α	TP2 Cd1	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 5 mg/l de Cd.
9	-	-	-	β	LG1 Cd2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.
10	+	-	-	β	TG1 Cd2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.
11	-	+	-	β	LP1 Cd2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.
12	+	+	-	β	TP1 Cd2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.
13	-	-	+	β	LG2 Cd2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.

Tabla 9 (continuación).*Matriz para un diseño factorial para la adsorción de cadmio*

Prueba	A	B	C	D	Código	Descripción
14	+	-	+	β	TG2 Cd2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.
15	-	+	+	β	LP2 Cd2	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.
16	+	+	+	β	TP2 Cd2	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.
17	-	-	-	γ	LG1 Cd3	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
18	+	-	-	γ	TG1 Cd3	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
19	-	+	-	γ	LP1 Cd3	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
20	+	+	-	γ	TP1 Cd3	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
21	-	-	+	γ	LG2 Cd3	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
22	+	-	+	γ	TG2 Cd3	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
23	-	+	+	γ	LP2 Cd3	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
24	+	+	+	γ	TP2 Cd3	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
25	-	-	-	δ	LG1 Cd4	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.

Tabla 9 (continuación).*Matriz para un diseño factorial para la adsorción de cadmio*

Prueba	A	B	C	D	Código	Descripción
26	+	-	-	δ	TG1 Cd4	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.
27	-	+	-	δ	LP1 Cd4	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.
28	+	+	-	δ	TP1 Cd4	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1 y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.
29	-	-	+	δ	LG2 Cd4	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.
30	+	-	+	δ	TG2 Cd4	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula granular, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.
31	-	+	+	δ	LP2 Cd4	Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.
32	+	+	+	δ	TP2 Cd4	Carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), con tamaño de partícula polvo, relación de impregnación 1:1.5 y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.
33	CAI	CAI	CAI	α	CAICd1	Carbón activado comercial y concentración inicial de 5 mg/l de P Cd.
34	CAI	CAI	CAI	β	CAICd2	Carbón activado comercial y concentración inicial de 10 mg/l de Cd.
35	CAI	CAI	CAI	γ	CAICd3	Carbón activado comercial y concentración inicial de 50 mg/l de Cd.
36	CAI	CAI	CAI	δ	CAICd4	Carbón activado comercial y concentración inicial de 100 mg/l de Cd.

3.4.6. Procesamiento de Datos:

Durante esta etapa se realizó el procesamiento de los datos obtenidos que fueron recolectados de las actividades realizadas experimentalmente, donde usaron las fórmulas, modelos matemáticos y procesamientos estadísticos antes mencionados, para ello se usó las siguientes ecuaciones:

Para determinar la capacidad de adsorción (q_e) de los carbones activos se utilizó la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{(C_0 - C_e)V}{M} \quad (6)$$

Donde:

q_e : capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g carbón activado).

C_0 : concentración inicial (mg/l).

V : volumen de la solución (L).

C_e : concentración en el equilibrio (mg/l) luego de la adsorción

M : masa del adsorbente (g).

Para determinar la eficiencia de remoción (ER) de los carbones activos se utilizó la siguiente ecuación:

$$ER = \frac{C_0 - C_e}{C_0} \times 100 \quad (7)$$

Donde:

ER: Eficiencia de Remoción (%).

C_0 : concentración inicial (mg/l).

C_e : concentración en el equilibrio (mg/l) luego de la adsorción

Para determinar el isoterma de Freundlich se utilizó la siguiente ecuación:

$$q_e = k_f \times C_e^{\frac{1}{n}} \quad (8)$$

Donde:

q_e : Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g).

C_e : Concentración en equilibrio del adsorbato (mg/l).

k_f : Constante de Freundlich, es un indicador de la capacidad de adsorción.

$\frac{1}{n}$: Intensidad de adsorción, es favorable ($0.1 < 1/n < 0.5$) o desfavorable ($1/n > 2$)

Para determinar el isoterma de Langmuir se utilizó la siguiente ecuación:

$$q_e = \frac{q_{\max} K_L C_e}{1 + K_L C_e} \quad (9)$$

Donde:

q_e : Capacidad de adsorción en equilibrio (mg/g)

C_e : Concentración en equilibrio del adsorbato (mg/l)

K_L : Constante de isoterma de Langmuir que muestra la afinidad de unión entre el adsorbato y adsorbente

q_{\max} : Capacidad máxima de adsorción

CAPITULO IV

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Obtención del carbón activado de biomasa residual de especies forestales

Se obtuvieron 8 tipos carbón activado en el laboratorio de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca en adelante laboratorio, bajo las condiciones establecidas por el investigador (ver tabla 3). En la tabla 10, se visualiza que el rendimiento (%) en masa que tuvieron los carbones activados obtenidos en laboratorio durante su elaboración, mostraron valores que oscilan desde 36.86% a 48.87%, siendo el de menor rendimiento el carbón activado de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), de tamaño de partícula granular y con relación de impregnación de 1:1 (LG1) y el de mayor rendimiento el carbón activado de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), de tamaño de partícula granular y con relación de impregnación de 1:1.5 (TG2), asimismo, el rendimiento de masa de la especie de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) fue desde 36.86% a 45.60%, y resultados de rendimiento de masa para la especie de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) fueron de 46.72% a 48.87%.

De las especies forestales, durante la elaboración de los carbones activados, la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) fue el que tuvo mayores rendimientos de masa, a comparación de la especie Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), como se puede apreciar en la Figura 7, es preciso mencionar que, la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) tiene una densidad mayor a la especie de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), así mismo, Asimbaya et. al (2015) tuvieron resultados de rendimiento de Laurel ($2 > \text{mm} = 29.3\%$ y $75 - 150 \mu\text{m} = 20.6\%$), Canelo ($2 > \text{mm} = 26.9\%$ y $75 - 150 \mu\text{m} = 19.8\%$) y Eucalipto ($2 > \text{mm} = 28.2\%$ y $75 - 150 \mu\text{m} = 20.2\%$) y mencionaron que el rendimiento de carbón activado en el ámbito industrial dependerá según la variedad de madera y comúnmente no pasa del 50 % como se puede contemplar en los resultados logrados en la presente investigación. Según Aguirre (2017) indica que mientras más elevado es el rendimiento los carbones activados, se tiene baja porosidad, concordando con lo que dice Arduz (2017), donde menciona que mientras menos densa sea la materia prima, mejores serán los resultados de adsorción debido a que un carbón activado altamente poroso es menos denso que uno poco poroso. Lo que implica que no necesariamente el carbón activado que tuvo alto rendimiento de masa durante su elaboración, será el mejor.

Tabla 10.

Rendimiento en masa durante la elaboración de carbón activado de biomasa residual de especies forestales

Prueba	Código carbón activado	Densidad básica (g/cm ³)	Densidad seca al aire (g/cm ³)	Peso del precursor r (g)	Peso producto final (g)	Rendimiento (%)
1	LG1	0.28	0.30	6	2.212	36.86*
2	TG1	0.47	0.52	6	2.803	46.72
3	LP1	0.28	0.30	6	2.450	40.84
4	TP1	0.47	0.52	6	2.930	48.83
5	LG2	0.28	0.30	6	2.299	38.31
6	TG2	0.47	0.52	6	2.932	48.87**
7	LP2	0.28	0.30	6	2.736	45.60
8	TP2	0.47	0.52	6	2.857	47.61

Nota: * valor mínimo obtenido.

** valor máximo obtenido.

Realizando un análisis comparativo entre los carbones activados de la misma especie forestal, pero con diferentes condiciones de tamaño de partícula y relación de impregnación, se obtuvieron resultados donde los carbones activados elaborados con una impregnación de relación de 1:1.5 tuvieron mayores resultados en rendimiento en masa a diferencia de los que se impregnaron a una relación de 1:1 con el agente activante. En el caso del tamaño de partícula los carbones activados que tuvieron mayor porcentaje de rendimiento de masa, fueron los que tuvieron un tamaño de partícula polvo.

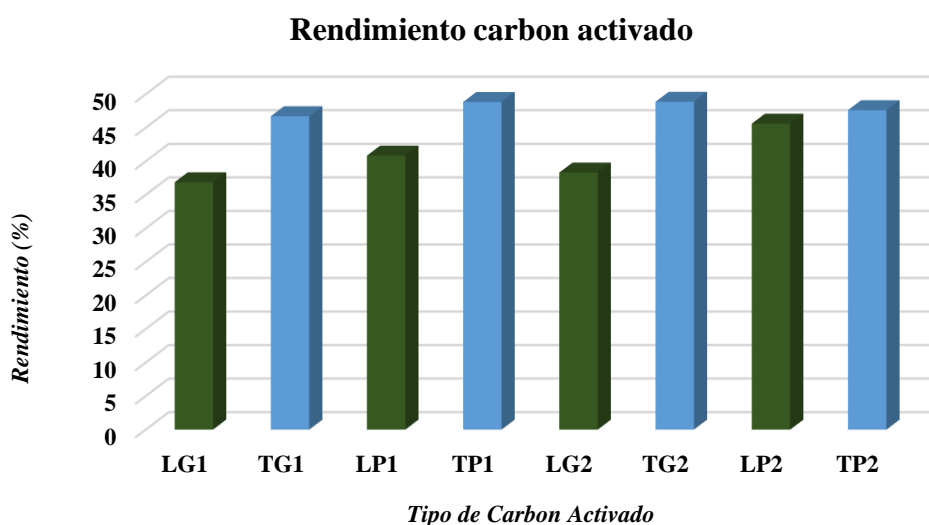


Figura 7. Rendimiento en la Elaboración de Carbón Activado.

Según el informe N°D000037 (2024), realizado por el MIDAGRI a través del SERFOR y ATFFS Puno, donde detallaron las especies forestales maderables y los volúmenes de madera por especie, que ingresaron al departamento de Puno y cuyo destino final para comercialización fue la ciudad de Juliaca, para los años 2022 y 2023, data que se contempla en la tabla 11.

Tabla 11.

Volúmenes de madera que ingresaron al departamento de Puno y cuyo destino final para comercialización fue la ciudad de Juliaca

Descripción	2022 Volumen (m ³)	2023 Volumen (m ³)
Total, de especies forestales	27113.00	28834.99
Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr)*	69.21	486.34
Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	900.32	1930.71

Nota: *sinónimo botánico *Ceiba insignis*.

En la tabla 12 se observa el porcentaje del volumen de las especies forestales Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), respecto del volumen total de madera que ingresaron al departamento de Puno y cuyo destino final para comercialización fue la ciudad de Juliaca de los años 2022 y 2023. Siendo un porcentaje mayor el ingreso de madera de la especie forestal de Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) a diferencia de la especie forestal de Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr), pero en comparación con las demás especies forestal ambas tienen un volumen considerable de ingreso a la ciudad de Juliaca (Ver informe N°D000037, 2024, en anexos).

Tabla 12.

Porcentaje del volumen de las especies forestales respecto del volumen total de madera que ingresaron al departamento de Puno y cuyo destino final para comercialización fue la ciudad de Juliaca

Descripción	2022 (%)	2023 (%)
Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr)*	0.26	1.69
Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	3.32	6.70

Nota: *sinónimo botánico *Ceiba insignis*.

Considerando el volumen de ingreso con destino final para su comercialización a la ciudad de Juliaca, y que el sector productivo de las industrias madereras generan residuos que por lo general se estima que van de entre el 45% y el 65% en promedio (Quío,2016), esta cantidad de residuos generados variará dependiendo del tamaño de

la empresa y de su eficiencia (Lopez et al., 2019), ante ello, con los resultados obtenidos en la elaboración de carbón activado la elaboración de carbones activados a partir de residuos de especies forestales como la Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y el Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), brindan la oportunidad de aprovechar estos residuos dándole un valor agregado, lo que permitirá reducir su impacto negativo.

4.2. Evaluación de la calidad del carbón activado variando el tipo de especie, el tamaño de grosor y la relación de impregnación.

Para la caracterización de los tipos de carbón activado de residuos forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), a diferentes tamaños de partícula y relación de impregnación, y conocer las características del área superficial y tamaño y distribución de los poros, se procedió a realizar los de ensayos de determinación de Índice de Iodo, así como también, se examinó utilizando Microscopia electrónica de barrido (SEM).

a. Índice de iodo.

Los resultados de obtenidos, luego de realizar el procedimiento en laboratorio para determinar el Índice de Iodo a las muestras de carbón activado elaborados en laboratorio, se observan en la Tabla 13 y Figura 8, se puede visualizar que los resultados están cercanos entre sí, aproximándose a 500 mg I₂/g carbón, que es el valor mínimo para que un carbón activado tenga algún valor comercial, ante ello, podemos indicar que optimizando el procedimiento de elaboración de carbón activado, podemos compararnos a los carbones comerciales elaborados según normas estandarizadas, por lo que inferimos que los carbones a partir biomasa residual de las especies de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) tienen una calidad medianamente aceptable. Dentro de los resultados podemos indicar que los carbones con mayor índice de Iodo son los que se elaboraron con las partículas granulares e impregnación de 1:1.5 de las especies de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), y las que menor índice de Iodo, fueron los carbones activados elaborados con tamaño de partícula polvo de la especie de Lupuna, difiriendo con los resultados que obtuvieron Asimbaya et. al (2015), quienes concluyeron que mientras menor sea el tamaño de la partícula (polvo) de las especies de Laurel, Canelo y Eucalipto mejor es la capacidad de adsorción, debido a que consideraron que mientras menor sea el tamaño aumenta

el área específica, así como también su capacidad de adsorción. Esta variación se debería, a la diferencia de las materias primas usados para elaborar el carbón activado, aunque sean especies maderable, se tienen diferentes estructuras anatómicas, puesto que, según Tejada et al. (2015) la naturaleza adsorbente influye en la capacidad de adsorción, y el Índice de Iodo al ser una medida de la capacidad de adsorción de un carbón activado para yodo, estaría dentro de lo mencionado por Tejada et al. (2015).

Tabla 13.

Resultado del Índice de Yodo

Prueba	Código	Resultados <i>mg I₂/g</i>
1	LG1	468
2	TG1	474
3	LP1	464
4	TP1	471
5	LG2	484**
6	TG2	481
7	LP2	466*
8	TP2	476
9	CAI	106

Nota: * valor mínimo obtenido.

** valor máximo obtenido.

Resultados índice de iodo

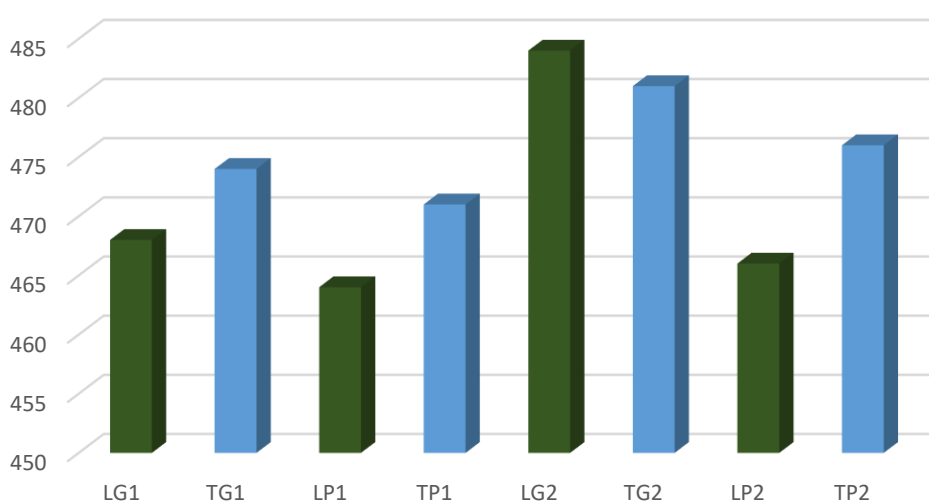


Figura 8. Resultados del Índice de Iodo.

b. Microscopia electrónica de barrido (SEM)

Esta etapa estuvo contemplada por el análisis de la estructura morfológica de los 8 tipos de carbón activado elaborados en laboratorio y un carbón activado comercial, examinados mediante un microscopio electrónico de barrido (SEM), tal como se puede apreciar de la figura 9 a la figura 17.

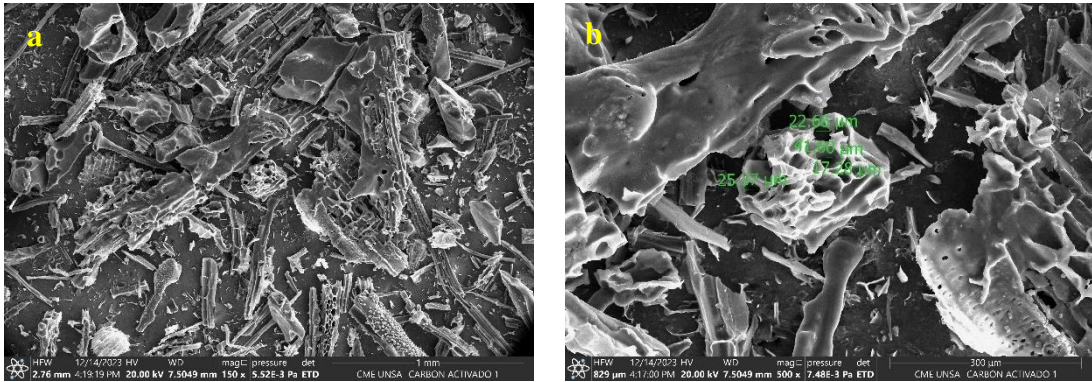


Figura 9. Morfología del carbón activado de Lupuna, tamaño granular con impregnación 1:1, donde: a) está a 150x y b) está a 500x.

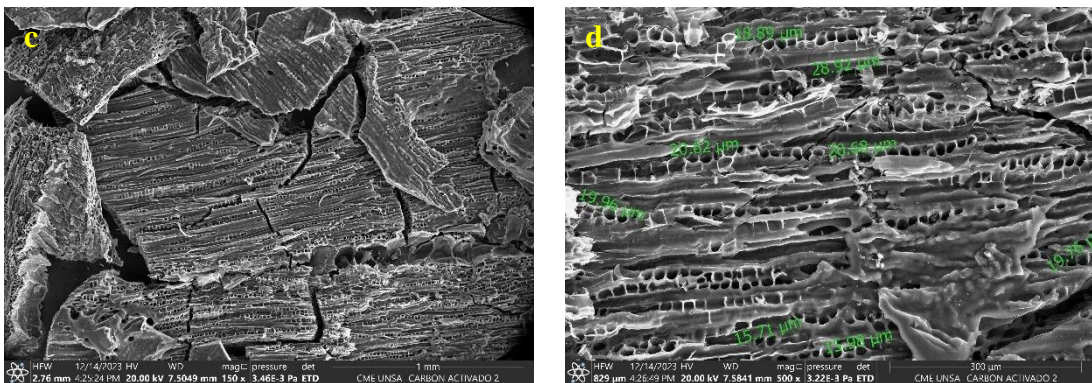


Figura 10. Morfología del carbón activado de Tornillo, tamaño granular con impregnación 1:1, donde: c) está a 150x y d) está a 500x.

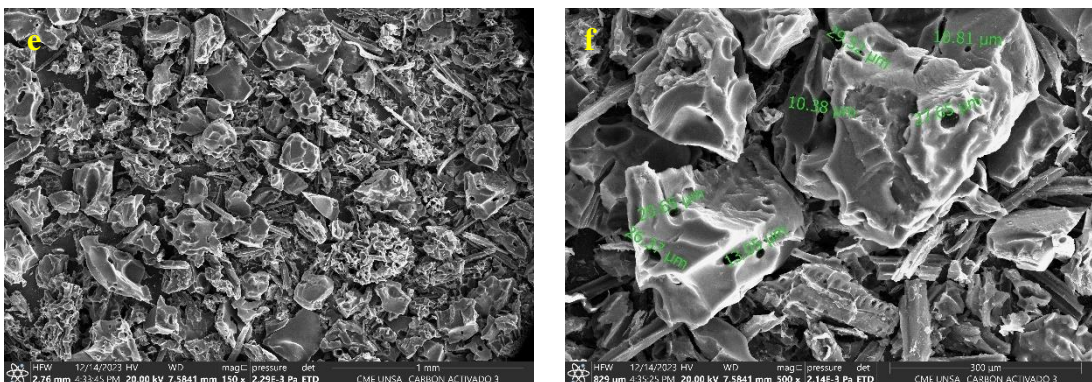


Figura 11. Morfología de la Lupuna, tamaño polvo con impregnación 1:1, donde: e) está a 150x y f) está a 500x.

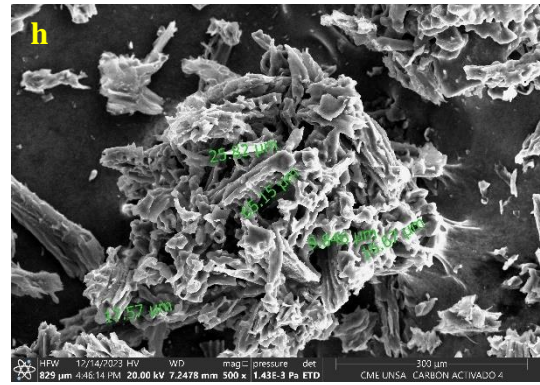
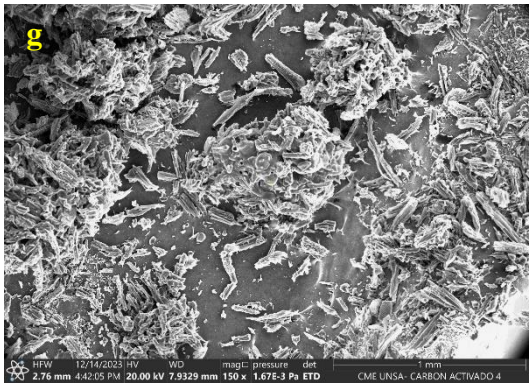


Figura 12. Morfología del Tornillo, tamaño polvo con impregnación 1:1, donde: g) está a 150x y h) está a 500x.

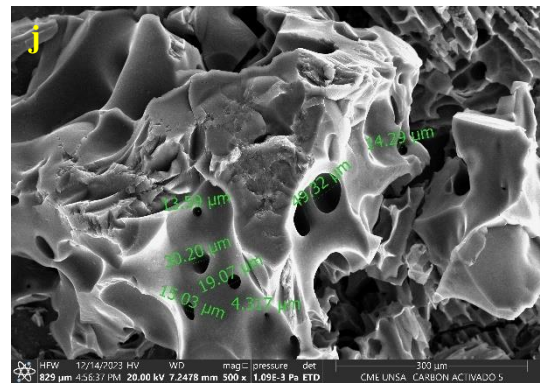
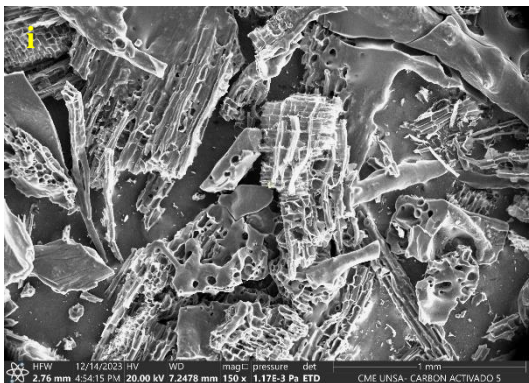


Figura 13. Morfología de la Lupuna, tamaño granular con impregnación 1:5, donde: i) está a 150x y j) está a 500x.

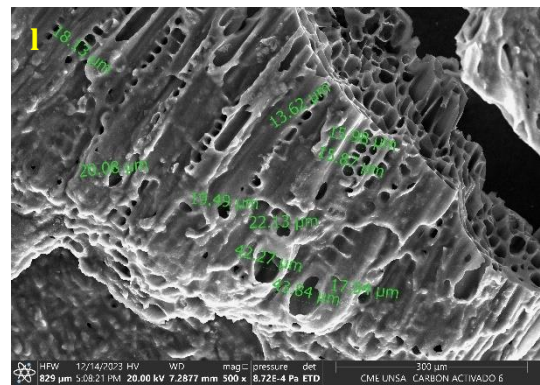
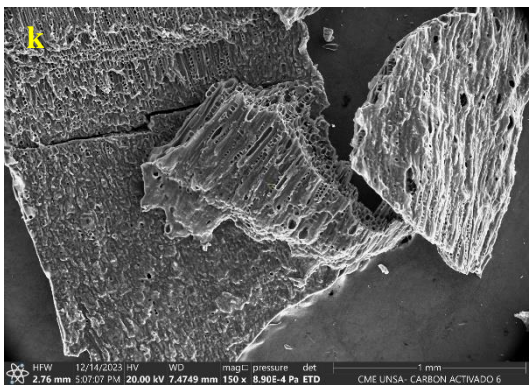


Figura 14. Morfología del Tornillo, tamaño granular con impregnación 1:5, donde: k) está a 150x y l) está a 500x.

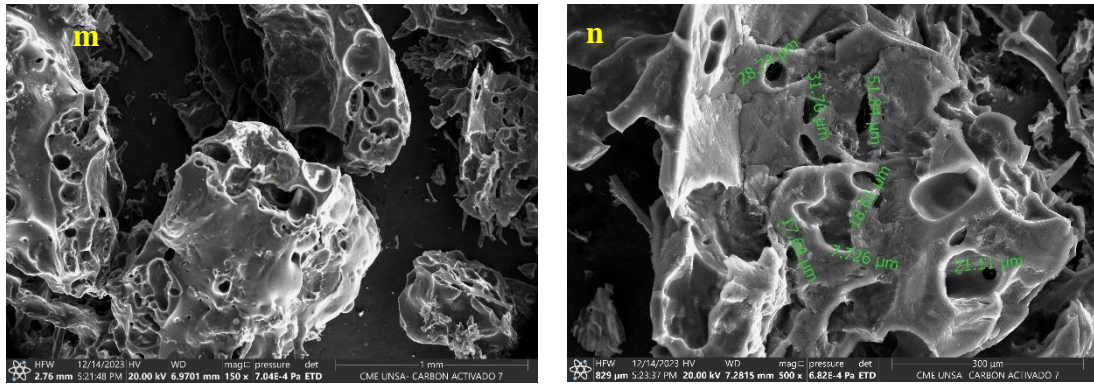


Figura 15. Morfología de la Lupuna, tamaño polvo con impregnación 1:5, donde: m) está a 150x y n) está a 500x.

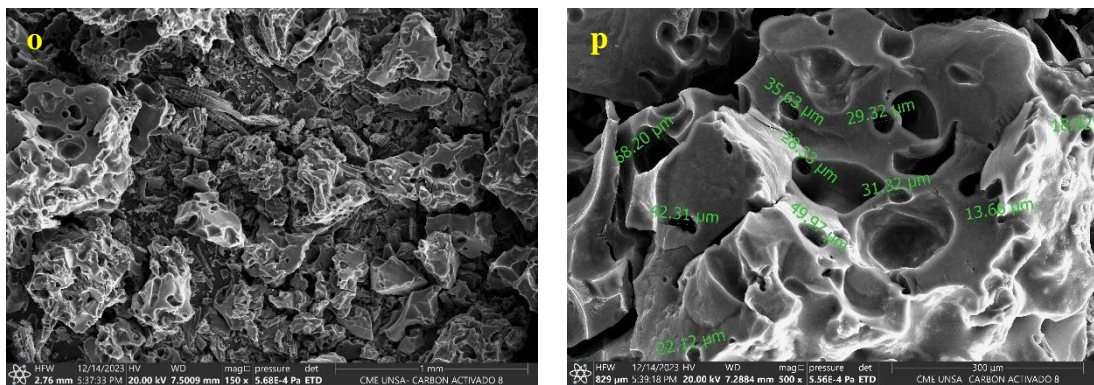


Figura 16. Morfología del Tornillo polvo con impregnación 1:5, donde: o) está a 150x y p) está a 500x.

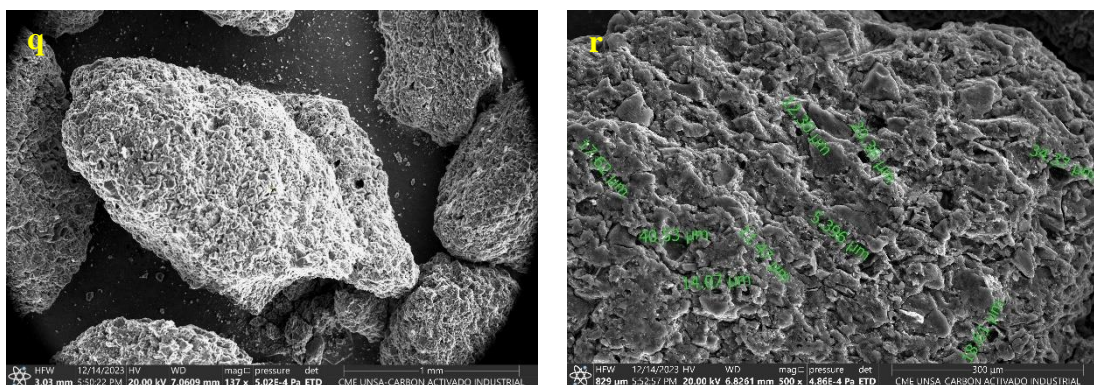


Figura 17. Morfología del carbón activado industrial, donde: q) está a 150x y r) está a 500x.

De la figura 9 a la figura 17, se pueden visualizar las microfografías que corresponden a los 8 tipos de carbón activado obtenidos en laboratorio, así como, la microfografía de un carbón activado comercial, en las fotografías microscópicas se puede visualizar las superficies porosas que fueron generados durante el proceso de activación. La aparición de estos poros según Asimbaya (2015), son el resultado de la evaporación del agente de activación, la descomposición del aserrín y viruta por la temperatura, que es una reacción química entre el carbón y el agente activante, así mismo, cuando

se hizo la medición del tamaño de los poros, se encontraron diámetros desde 3.9 μm a 99.18 μm , clasificándolos dentro la categoría de macroporos, ya que según la IUPAC, estos tienen su diámetro mayores 50 nm, en la tabla 14 se puede apreciar la medidas del diámetro de los poros presentes en los carbones activados.

Tabla 14.

Tamaño de los poros de los tipos de carbón activado medidos por microscopio electrónico de barrido (SEM)

Prueba	Código	Tamaño mínimo poro (μm)	Tamaño máximo poro (μm)
1	LG1	12.7	59.55
2	TG1	15.15	28.92
3	LP1	10.38	29.52
4	TP1	9.846	88.2
5	LG2	4.317	51.4
6	TG2	3.928	43.84
7	LP2	7.726	95.41
8	TP2	22.12	99.18
9	CAI	5.396	40.53

4.3. Evaluación de la cantidad de remoción de plomo y cadmio variando tipo de calidad de carbón activado y la concentración inicial de plomo y cadmio.

En la tabla 15, se visualizan los resultados de la concentración final de Pb obtenidos después de realizar el proceso de adsorción usando los carbones activados elaborados y el carbón activado comercial. Donde para la:

- Concentración inicial de 100 mg/l se obtuvieron concentraciones finales que van desde 85.40 mg/l para el tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula polvo (LP2) a 91.02 mg/l del tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (TG1);
- Concentración inicial de 50 mg/l se tuvieron concentraciones finales que van desde 36.08 mg/l del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con relación de impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 41.39 mg/l de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1);

- Concentración inicial de 10 mg/l se obtuvieron concentraciones finales que van desde 0.74 mg/l de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 3.33 mg/l de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (LG1);
 - Concentración inicial de 5 mg/l se obtuvieron concentraciones finales de 0 mg/l en casi todos los carbones activados a excepción del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1).
 - En el caso del carbón activado comercial se encontraron concentraciones finales de 4.64 mg/l y 9.89 mg/l para las concentraciones iniciales de 5 mg/l y 10 mg/l respectivamente, para las otras concentraciones iniciales no hubo variación de estas.
- Se puede observar que mientras más elevada sea la concentración inicial menor será la remoción.

Tabla 15.

Concentración final de plomo en el agua después de la adsorción

Tipo de carbón activado	Concentración final Pb (mg/l)			
	5 mg/l Pb	10 mg/l Pb	50 mg/l Pb	100 mg/l Pb
LG1	0	3.333**	37.56	86.63
TG1	0	1.249	40.09	91.02**
LP1	0.021**	2.313	41.39**	90.5
TP1	0	1.355	40.99	85.52
LG2	0	0.744*	36.08*	85.85
TG2	0	1.326	40.29	88.39
LP2	0	1.832	38.83	85.4*
TP2	0	1.229	39.75	88.54
CAI	4.644	9.890	50.000	100.000

Nota: * valor mínimo.

** valor máximo.

Para el caso de cadmio (tabla 16), después de realizar la adsorción con los carbones activados elaborados y el carbón activado comercial, muestran las siguientes concentraciones finales:

- Para la concentración inicial de 100 mg/l se obtuvieron resultados que van desde 88.71 mg/l del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 98.42 mg/l de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula polvo (LP2);

- Para la concentración inicial de 50 mg/l se obtuvieron concentraciones finales que están desde 44.34 mg/l de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 47.78 mg/l de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (TP1);
- Para la concentración inicial de 10 mg/l se obtuvieron concentraciones finales que van desde 6.19 mg/l de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 7.83 mg/l de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1);
- Para la concentración inicial de 5 mg/l se obtuvieron concentraciones finales que van desde 1.01 mg/l de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 2.727 mg/l de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1).
- En el caso de del carbón activado comercial se encontraron concentraciones finales de 4.84 mg/l, 9.98 mg/l y 49.01 mg/l para las concentraciones iniciales de 5 mg/l, 10 mg/l y 50 mg/l respectivamente, para la concentración inicial de 100 mg/l no hubo variación.

Se puede observar que al igual que con el plomo, mientras más elevada sea la concentración inicial menor será la remoción.

Tabla 16.

Concentración final de cadmio en el agua después de la adsorción

Tipo de carbón activado	Concentración final Cd (mg/l)			
	5 mg/l Cd	10 mg/l Cd	50 mg/l Cd	100 mg/l Cd
LG1	2.382	7.186	45.253	94.870
TG1	1.943	6.955	45.900	96.630
LP1	2.727**	7.830**	45.480	95.060
TP1	1.859	7.207	47.780**	98.422
LG2	1.950	6.491	44.630	88.710*
TG2	1.012*	6.193*	44.340*	92.810
LP2	2.598	7.689	46.100	98.400**
TP2	1.816	7.320	45.770	97.623
CAI	4.847	9.980	49.010	100.000

Nota: * valor mínimo.

** valor máximo.

En esta investigación se demuestra que al incrementar la concentración inicial tanto de plomo y de cadmio, la remoción de iones de estos disminuye:

- Para concentraciones iniciales de 100 mg/l de Cadmio fue desde 1.6 mg/l (LP2) a 11.29 mg/l (LG2) y para plomo fue de 8.98 mg/l (TG1) a 14.6 mg/l (LP2);
- Para concentraciones iniciales de 50 mg/l de Cadmio fue desde 2.22 mg/l (TP1) a 5.66 mg/l (TG2) y para plomo fue desde 8.61 mg/l (LP1) a 13.92 mg/l (LG2);
- Para concentraciones iniciales de 10 mg/l de cadmio fue desde 2.17 mg/l (LP1) a 3.807 mg/l (TG2) y para plomo fue desde 6.667 mg/l (LG1) a 9.256 mg/l (LG2);
- Para concentraciones iniciales de 5 mg/l de Cadmio fue desde 2.273 mg/l (LP1) a 3.988 mg/l (LP1) y para plomo fue de 4.979 mg/l (LP1) a 5 mg/l de la mayoría de los tipos de carbón activado obtenidos en laboratorio a excepción del tipo LP1.

Según Castellar y García (2011), mencionan que cuanto menor sea la concentración inicial, habrá mayores sitios de adsorción, teniendo una alta tasa de remoción de iones metálicos en el agua, sin embargo, mientras mayor la concentración inicial la cantidad de iones metálicos superará a los sitios disponibles, incluso después de alcanzar el equilibrio quedando iones en la solución acuosa, reduciendo la tasa de remoción, según Getasew et al., (2024), quienes obtuvieron carbón activado a base de tallo de Noug (*Guizotia abyssinica* Cass.), mencionan que la concentración de Pb afecta en gran medida el proceso de adsorción, puesto que mientras más se aumente la concentración, se disminuye el número de sitios de adsorción accesibles y disminuye el porcentaje de eliminación de plomo, ante ello, decimos que la concentración inicial, si influye significativamente en la eliminación de metales tóxicos como el cadmio y plomo.

La tabla 17 y la figura 19 se visualizan la Capacidad de Adsorción (q_e) de Pb obtenidos después de haber realizado el proceso de adsorción utilizando varios tipos de carbón activado establecidos por esta investigación, teniendo capacidades de adsorción para la:

- Concentración inicial de 100 mg/l valores que van desde 14.60 mg/g de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr), tamaño de partícula polvo y relación de impregnación de 1:1.5 (LP2) a 8.98 mg/g de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (TG1);
- Concentración inicial de 50 mg/l se obtuvieron capacidades de adsorción que van desde 13.92 mg/g de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 8.61 mg/g de tipo de

carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1);

- Concentración inicial de 10 mg/l se obtuvieron capacidades de adsorción que van desde 9.26 mg/g de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 6.67 mg/g de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (LG1);

- Concentración inicial de plomo de 5 mg/l se obtuvieron capacidades de adsorción de 5 mg/g en casi todos los carbones activados a excepción del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1) que obtuvo un valor de 4.98 mg/g.

Se puede visualizar que la capacidad de adsorción de plomo incrementa conforme aumenta la concentración inicial.

Tabla 17.

Capacidad de adsorción de plomo

Tipo de carbón activado	Capacidad de adsorción pb (mg/g)			
	5 mg/l Pb	10 mg/l Pb	50 mg/l Pb	100 mg/l Pb
LG1	5.000	6.667*	12.440	13.370
TG1	5.000	8.751	9.910	8.980*
LP1	4.979*	7.687	8.610*	9.500
TP1	5.000	8.645	9.010	14.480
LG2	5.000	9.256**	13.920**	14.150
TG2	5.000	8.674	9.710	11.610
LP2	5.000	8.168	11.170	14.600**
TP2	5.000	8.771	10.250	11.460
CAI	0.356	0.110	0.000	0.000

Nota: * valor mínimo.

** valor máximo.

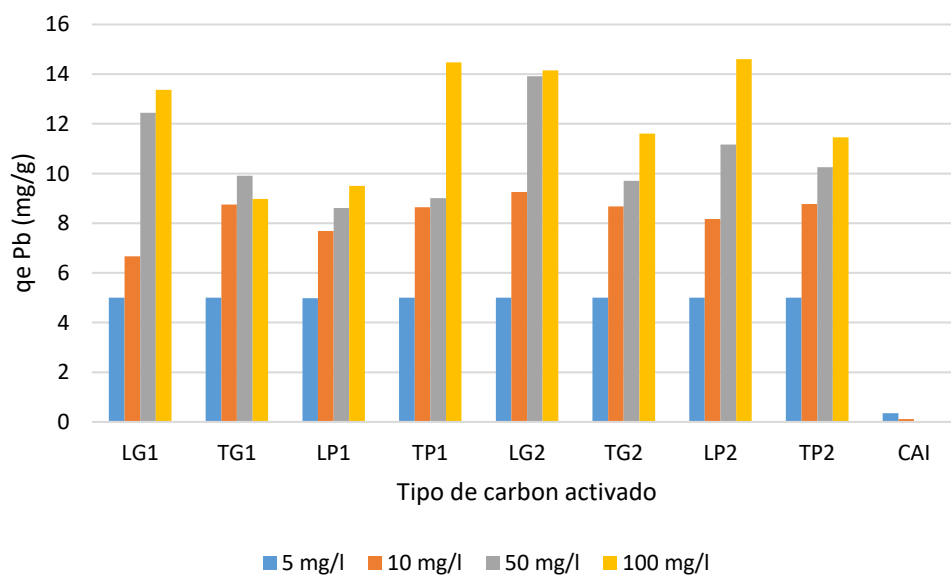


Figura 18. Capacidad de adsorción de plomo.

Los resultados de la Capacidad de Adsorción (q_e) de Cd (tabla 18 y figura 19), después de haber realizado el proceso de remoción de iones de cadmio en el agua contaminada artificialmente utilizando carbón activado, demuestran que con la:

- Concentración inicial de 100 mg/l se obtuvieron capacidades de adsorción que van desde 11.29 mg/g del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 1.60 mg/g de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula polvo (LP2);
- Concentración inicial de 50 mg/l se obtuvieron valores que van desde 5.66 mg/g de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 2.22 mg/g de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (TP1);
- Concentración inicial de 10 mg/l se tuvieron capacidades de adsorción que van desde 3.81 mg/g de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 2.17 mg/g de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1);
- Concentración inicial de cadmio de 5 mg/l se obtuvieron capacidades de adsorción que van desde 3.99 mg/g de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 2.27 mg/g de tipo

de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia* Ulbr), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1).

Basándonos en los resultados capacidad de adsorción luego de haber desarrollado el proceso de adsorción de cadmio en el agua usando diferentes tipos de carbón activado, se muestra que la capacidad de adsorción de cadmio incrementa si la concentración inicial es mayor.

Tabla 18.

Capacidad de adsorción de cadmio

Capacidad de adsorción Cd (mg/g)				
Tipo de carbón activado	5 mg/l Cd	10 mg/l Cd	50 mg/l Cd	100 mg/l Cd
LG1	2.618	2.814	4.747	5.130
TG1	3.057	3.045	4.100	3.370
LP1	2.273*	2.170*	4.520	4.940
TP1	3.141	2.793	2.220*	1.578
LG2	3.050	3.509	5.370	11.290**
TG2	3.988**	3.807**	5.660**	7.190
LP2	2.402	2.311	3.900	1.600*
TP2	3.184	2.680	4.230	2.377
CAI	0.153	0.020	0.990	0.000

Nota: * valor mínimo.

** valor máximo.

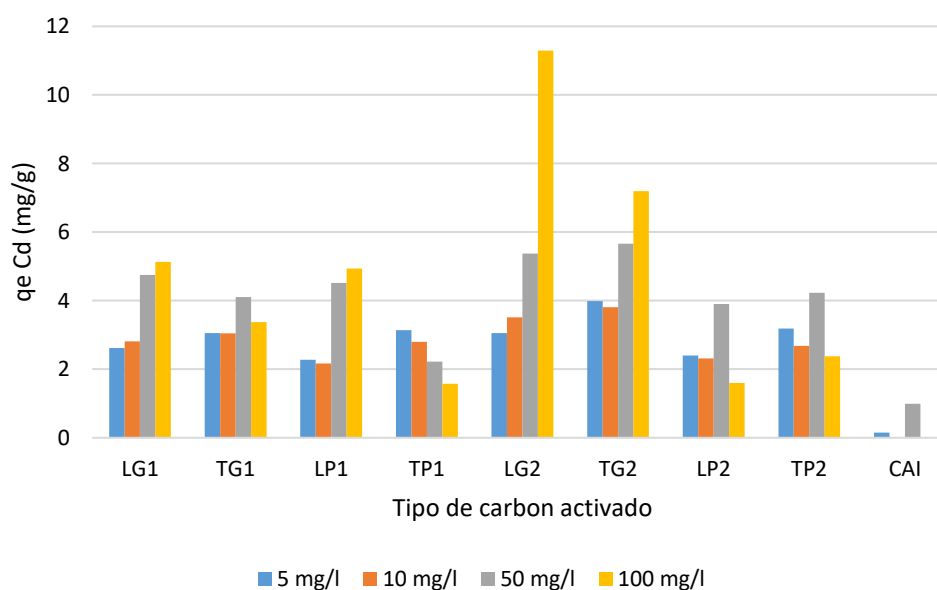


Figura 19. Capacidad de adsorción de cadmio.

En esta investigación se demuestra que al incrementar la concentración inicial tanto de plomo y cadmio la capacidad de adsorción de los carbones activados aumenta, concordando con lo que mencionan Bhandari et al. (2021), que un incremento en la concentración inicial corresponde a un aumento de la capacidad del adsorbente, ya que se genera una fuerte fuerza impulsora de la transferencia de masa.

La Eficiencia de remoción de plomo usando carbones activados establecidos para este estudio, demuestran que el porcentaje de eficiencia aumenta conforme que la concentración inicial disminuye. La eficiencia de remoción para la:

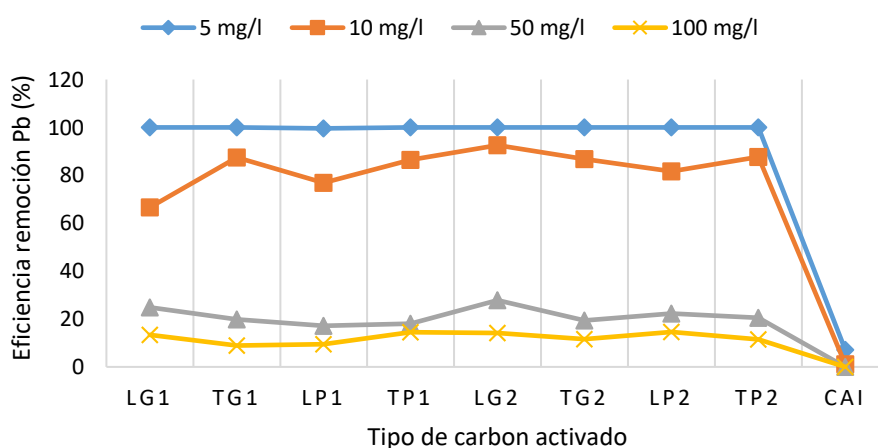
- Concentración inicial de 100 mg/l tuvo valores que van desde 14.60% de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula polvo (LP2) a 8.98% de tipo de carbón activado deTornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (TG1);
- Concentración inicial de 50 mg/l se obtuvieron eficiencias de remoción que están desde 27.84% de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 17.22% de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1);
- Concentración inicial de 10 mg/l se obtuvieron respuestas que van desde 92.56% de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 66.67% de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (LG1);
- Concentración inicial de plomo de 5 mg/l se obtuvieron eficiencias de remoción de 100% en casi todos los carbones activados elaborados en laboratorio a excepción del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1) que obtuvo un valor de 99.58%.
- Para el caso del carbón activado comercial se tuvieron eficiencia de remoción de 1.10% y 7.12% de las concentraciones iniciales de 10 mg/l y 5 mg/l respectivamente.

Tabla 19.*Eficiencia de remoción de plomo*

Eficiencia de remoción Pb (%)				
Tipo de carbón activado	5 mg/l Pb	10 mg/l Pb	50 mg/l Pb	100 mg/l Pb
LG1	100.000	66.670*	24.880	13.370
TG1	100.000	87.510	19.820	8.980*
LP1	99.580*	76.870	17.220*	9.500
TP1	100.000	86.450	18.020	14.480
LG2	100.000	92.560**	27.840**	14.150
TG2	100.000	86.740	19.420	11.610**
LP2	100.000	81.680	22.340	14.600
TP2	100.000	87.710	20.500	11.460
CAI	7.120	1.100	0.000	0.000

Nota: * valor mínimo.

** valor máximo.

**Figura 20.** Eficiencia de remoción de plomo.

La eficiencia de remoción de cadmio usando carbones activados obtenidos en laboratorio y un carbón activado comercial, obtenidos se contempla en la tabla 20 y figura 21, como se puede avistar la eficiencia de remoción de los carbones activados para cadmio aumenta a medida que los que la concentración inicial es menor, al igual que sucede con el plomo, para la:

- Concentración inicial de 100 mg/l se obtuvieron eficiencias de remoción que van desde 11.29% del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a 1.60% del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula polvo (LP2);

- Concentración inicial de 50 mg/l se obtuvieron valores de eficiencia de remoción que oscilan desde 11.32% de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 4.44% de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (TP1);
- Concentración inicial de 10 mg/l se tuvieron eficiencias de remoción que están desde 38.07% de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 21.07% de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1);
- Concentración inicial de 5 mg/l se obtuvieron eficiencias de remoción de 79.76% de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de granular (TG2) a 45.46% de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (LP1).
- Para el caso del carbón activado comercial se tuvieron eficiencia de remoción de 3.06%, 0.20% , 1.98% y 0% para las concentraciones iniciales de 5 mg/l, 10 mg/l, 50 mg/l y 100 mg/l respectivamente.

Tabla 20.

Eficiencia de remoción de cadmio

Eficiencia de remoción Cd (%)				
Tipo de carbón activado	5 mg/l Cd	10 mg/l Cd	50 mg/l Cd	100 mg/l Cd
LG1	52.360	28.140	9.494	5.130
TG1	61.140	30.450	8.200	3.370
LP1	45.460*	21.700*	9.040	4.940
TP1	62.820	27.930	4.440*	1.578
LG2	61.000	35.090	10.740	11.290**
TG2	79.760**	38.070**	11.320**	7.190
LP2	48.040	23.110	7.800	1.600*
TP2	63.680	26.800	8.460	2.377
CAI	3.060	0.200	1.980	0.000

Nota: * valor mínimo.

** valor máximo.

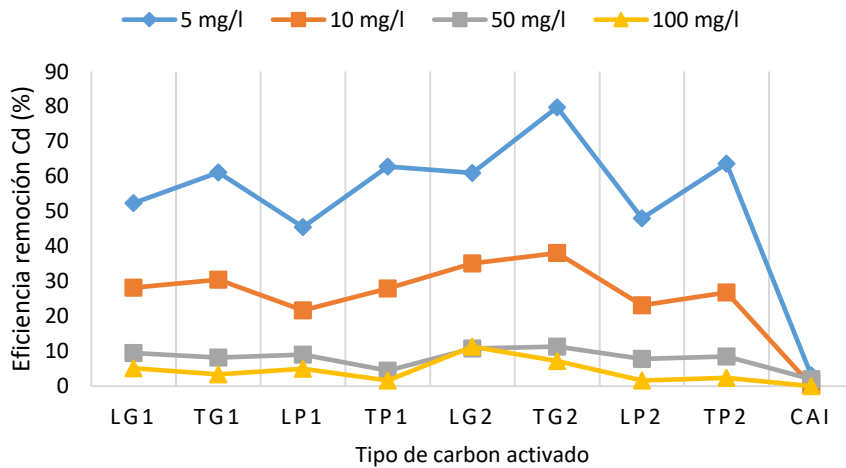


Figura 21. Eficiencia de remoción de cadmio.

La naturaleza del adsorbente según Tejada et al. (2015), es trascendente en la adsorción de metales, considerando que para la elaboración del carbón activado, existen diversos materiales dentro de los cuales se puede encontrar los a base de madera, en este caso, los residuos forestales de las especies de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), que aunque sean especies maderable, ambas tienen diferentes estructura anatómicas, así como, características fisicoquímicas, en este estudio también se hicieron pruebas de adsorción con un tipo de carbón comercial accesible al público que tiene como base otro tipo de material, donde se evidencio que este último al compararlo con los carbones activados obtenidos en laboratorio, existe una gran diferencia en los resultados de la eficiencia de remoción, y si comparamos los resultados de solo los carbones activados elaborados para esta investigación, también hay diferencias de resultados en la remoción de los metales pesados de plomo y cadmio. Por otro lado, se encontró que los carbones activados a partir de residuos forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) tuvieron mejores resultados en la remoción de plomo y que los carbones activados a base de residuos forestales de la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) mostraron mejores resultados en la remoción de cadmio, concordando con lo que menciona Toles et al., (1997) “los carbones activados a base los diversos materiales adsorbentes tienen diferentes propiedades fisicoquímicas en la superficie sólida, estos influyen en la capacidad de adsorber y en las interacciones entre el adsorbato y adsorbente”. Pero se deben considerar otras variables como la relación de impregnación y el tamaño de partícula que también influyen en la calidad los carbones activados.

La porosidad es un factor importante en la adsorción, con el proceso de activación ya sea química o física ya que se desarrollan la estructura porosa del precursor (Álvarez, Carrasco. y Maldonado, 2014), en este se realizó una activación química donde se deshidrató la materia prima con la finalidad de crear su estructura porosa y ampliar su área superficial, teniendo como resultado que la mayoría de los carbones activados, que tuvieron una relación de impregnación 1:1.5 al momento de su elaboración, son los que tuvieron una mejor remoción en la mayoría de los procesos de adsorción, concluyendo que la relación de impregnación influye en la remoción de metales pesados como plomo y cadmio.

Según, Srivastava et al. (2015), el tamaño de las partículas es importante para el rendimiento de la adsorción, ya que estas mientras más menor tamaño sean, tendrán una mayor eficiencia en la adsorción a diferencia de las partículas grandes, esto debido, a que las partículas más pequeñas tienen una mayor área superficial en comparación con las partículas más grandes, pero en este caso, las partículas de tamaño granular fueron las que tuvieron mejor porcentaje de remoción a diferencia de las de partículas en polvo, difiriendo con lo mencionado antes, pero se puede inferir que al ser residuos en forma de viruta tenga un comportamiento similar a los de tipo de partícula polvo.

La naturaleza del adsorbato es un factor importante en la adsorción, puesto que estos tiene diferentes características de solubilidad de moléculas, características de tamaño molecular y otros (Román, 2021), y si hubiese presencia de otros iones en la disolución estos competirán entre sí por las zonas de sorción (Tejada et al., 2015), para este proyecto de investigación donde se contaminaron las aguas con plomo y cadmio en laboratorio, no se presencié la competición entre los metales de plomo y cadmio, debido a que fueron preparados por separado, y se observó que hubo mayor remoción de plomo en las aguas contaminadas con este metal, teniendo en la mayoría de los casos hasta un 50% más de remoción de cadmio, concordando con lo que se mencionó anteriormente.

Para entender el comportamiento de la adsorción de plomo y cadmio y los adsorbentes (carbón activado), se analizaron las isotermas de adsorción, ya que proporcionan información de la capacidad de adsorción, propiedades superficiales del adsorbente y la afinidad de unión. En este estudio se usaron los modelos de isotermas de Langmuir y Freundlich para cada tipo de carbón activado obtenido en laboratorio y para el carbón activado comercial.

En la tabla 21 se visualiza los parámetros obtenidos después del desarrollo del procesamiento, de datos por las isothermas de adsorción de Langmuir y Freundlich, la data utilizada para procesar fue la que se obtuvieron en los procesos de adsorción para cada tipo de carbón activado obtenido en laboratorio y el carbón activado comercial. En la tabla 21, se evidencia que los datos de la investigación se acomodaron mejor a la isoterma de Langmuir, puesto que los valores del coeficiente de regresión lineal oscilan entre $R^2 = 0,923$ con tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula polvo (TP1) a $R^2=0,999$ de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2), a diferencia de la isoterma de Freundlich que los resultados de R^2 van desde $R^2=0.709$ del tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (LG1) a $R^2=0.985$ con tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula polvo (TP2), con lo que podemos indicar que en esta investigación, la adsorción del plomo (Pb) se da la superficie de los tipos de carbón activado (adsorbente), como indica Sierra et al., (2020), la isoterma de Langmuir describe que la adsorción se termina cuando se forma una monocapa del adsorbato sobre el área superficial del adsorbente, ya que tiene un número limitado de sitios disponibles para la adsorción.

Tabla 21.

Parámetros de las isothermas para la adsorción de plomo con los carbones activados

Tipo de carbón activado	Langmuir			Freundlich		
	Q_{max}	K_L	R^2	K_f	$1/n$	R^2
LG1	0.0656	98.7881	0.9982	0.0558	0.0416	0.7099*
TG1	0.0436	268.5263	0.9981	0.0479	0.0316	0.9675
LP1	0.0457	186.7976	0.9977	0.0487	0.0743	0.9758
TP1	0.0672	41.6863	0.9225*	0.0561	0.0405	0.8058
LG2	0.0684	686.2911	0.9999**	0.0683	0.0499	0.9601
TG2	0.0555	116.9416	0.9917	0.0528	0.3700	0.9650
LP2	0.0698	68.5263	0.9802	0.0599	0.0443	0.8631
TP2	0.0551	184.9185	0.9970	0.0539	0.0379	0.9847**
CAI	0.0000	32.2432	0.9961	0.0000	2.1317	0.9557

Nota: * valor mínimo.

** valor máximo.

En el caso de cadmio, los parámetros obtenidos después de realizar el procesamiento de datos a través de los modelos isotérmicos de adsorción se muestra en la tabla 22, donde están los resultados, y estos se ajustan mejor la isoterma de Langmuir al igual a lo que sucedió en el plomo, ya que los resultados del coeficiente de regresión lineal tienen como $R^2 = 0.758$ de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula granular (LG2) a $R^2 = 0.998$ de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (LG1), a diferencia de la isoterma de Freundlich que los resultados de $R^2 = 0.005$ de tipo de carbón activado Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con impregnación 1:1.5 y tamaño de partícula polvo (TP2) a $R^2 = 0.957$ de tipo de carbón activado Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*), con impregnación 1:1 y tamaño de partícula granular (LG1), con lo que podemos indicar también que la adsorción del cadmio (Cd) ocurre en el área superficial del adsorbente (carbón activado) donde la adsorción sucede hasta lograr una monocapa.

Tabla 22.

Parámetros de las isotermas para la adsorción de cadmio con los carbones activados

Tipo de carbón activado	Langmuir			Freundlich		
	Q_{\max}	K_L	R^2	K_f	$1/n$	R^2
LG1	0.0476	23.7823	0.9983**	0.0480	0.2020	0.9572**
TG1	0.0305	93.8004	0.9906	0.0332	0.0524	0.4466
LP1	0.0472	15.0028	0.9946	0.0464	0.2555	0.8944
TP1	0.0140	24.8508	0.9802	0.0154	-0.1585	0.8895
LG2	0.1034	5.9841	0.7584*	0.0834	0.3073	0.8381
TG2	0.0651	21.2270	0.9832	0.0592	0.1323	0.7983
LP2	0.0145	15.8635	0.9174	0.0206	0.0243	0.0121
TP2	0.0216	23.9049	0.9516	0.0265	0.0103	0.0055*
CAI	0.0012	8.8552	0.5015	0.0023	0.4213	0.1344

Nota: * valor mínimo.

** valor máximo.

Según Radenković et al., (2024), que prepararon carbón activado a partir de residuos de agrícolas de girasol para la adsorción de adsorción de Pb mostraron que se

describían mejor con el modelo de isoterma de Freundlich, a diferencia del carbón activado a base de tallo de Noug (*Guizotia abyssinica Cass*) ajustándose al modelo de Langmuir (Getasew et al., 2024), al igual que en la presente investigación, ante ello, decimos que dependerá del tipo de material adsorbente, la afinidad a algún modelo de isoterma aunque sean los mismos metales pesados.

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.4. Conclusiones

Que la eficiencia en la remoción de plomo en el agua usando carbón activado de biomasa residual de las especies forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) fue mayor a 95% y llegando a valores de 100% de eficiencia en concentraciones iniciales de 5 mg/l de Pb, a diferencia de la eficiencia de remoción de cadmio en el agua que fue de 79.8% valor máximo obtenido en la concentración de 5 mg/l, no superando el 95% planteado en la hipótesis. Así mismo, se concluye que los carbones activados obtenidos en laboratorio para esta investigación son materiales porosos, que pueden ser utilizados para eliminar metales pesados en el agua tales como el plomo y cadmio, y que los residuos de biomasa forestal pueden ser aprovechados, al ser transformados en carbón activado, dándoles un valor agregado, lo que permitirá reducir el impacto negativo de estos residuos, así mismo, el carbón activado comercial no tuvo una eficiencia significativa de remoción a comparación de los tipos de carbón activado obtenidos en laboratorio.

De la investigación desarrollada se concluye que, si se puede obtener carbón activado carbonizándolo a 500°C de temperatura, teniendo como materia prima los residuos forestales de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) y Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*), con tamaño de partícula granular o polvo, a una relación de impregnación de 1:1 o 1:1.5, usando ácido fosfórico al 85% como agente activante, de los cuales, teniendo rendimientos de masa que no superan el 50% durante la elaboración de carbón activado en laboratorio, y que mientras más densa sea la materia prima mayor será el porcentaje de rendimiento de masa, pero que en la mayoría de las ocasiones esto no significa que haya una mayor adsorción.

El carbón activado al ser un material poroso, sus características fisicoquímicas variarán según a como se hayan elaborado, el índice de yodo para los carbones activados obtenidos en laboratorio es aceptable, llegando a valores próximos a 500 mg I₂/g, que es el valor mínimo para su comercialización, al realizar las micrografías a los carbones activados se pudo visualizar que si hay presencia de poros en los mismos, encontrándose poros con medidas que oscilan desde 3.9 μm a 99 μm, categorizándolos dentro del tipo de macroporos, con una dispersión heterogénea.

En esta investigación se concluye que existen factores que influyen en la remoción de metales pesados de plomo y cadmio en el agua, dentro estos factores que afectaron los resultados de remoción, se consideran: a la naturaleza del adsorbente, puesto que los carbones activados de residuos de Lupuna (*Chorisia integrifolia Ulbr*) tuvieron mejores resultados en la eliminación de plomo y los carbones activados de residuos forestales de la especie Tornillo (*Cedrelinga cateniformis*) mostraron mejores resultados en la remoción de cadmio, así mismo, la relación de impregnación influyo en la remoción, puesto que los carbones activados a una relación de 1:1.5 tuvieron mejores resultados en la remoción, otro factor que repercute en la remoción fue el tamaño de partícula debido a que en la mayoría de los casos, los carbones activados con tamaño granular tuvieron mejores resultados de remoción, de igual manera, la de remoción se vio afectada por la naturaleza del adsorbato, puesto que hubieron mejores resultados de remoción de plomo en el agua contaminada artificialmente, a diferencia del cadmio en el agua, y por último, la concentración inicial también, fue un factor determinante en la remoción debido a que mientras menor sea la concentración inicial mejor es la remoción. Al realizar los modelos de isothermas de adsorción, los resultados se ajustaron mejor a la isoterma de Langmuir.

4.5. Recomendaciones.

Se recomienda realizar investigaciones que permitan optimizar la elaboración de carbón activado, considerando otros factores que influyan en calidad y cantidad, que no estén incluidos en esta investigación como son: la temperatura para la carbonización, el tipo de activación, otros tipos de materias primas y otros.

Se recomienda realizar investigaciones que permitan mejorar la adsorción de metales pesados y otros elementos orgánicos en el agua usando carbones activados y/o de similares o superiores características.

Se recomienda realizar investigaciones que permitan optimizar la eficiencia de eliminación de metales pesados en el agua considerando factores que influyen es su remoción, que no están incluidos en esta investigación.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Afroze, S y Sen, T. (2018). A review on heavy metal ions and dye adsorption from water by agricultural solid waste adsorbents. *Water, Air, Soil Pollut*, (229), 1–50.
- Álvarez, M., Carrasco, F. y Maldonado, F. (2014). Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón. Universidad Internacional de Andalucía.
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry. (2007). Declaración de salud pública para el plomo.
- Agency for Toxic Substances & Disease Registry. (2012). Declaración de salud pública para el Cadmio.
- Aguirre, N., (2017). Adsorción De Metales Pesados (Pb Y As) Con Carbón Activado A Partir De Semillas De Eucalipto (*Eucalyptus Globulus*). Universidad Nacional del Altiplano. Puno, Perú.
- Alvares, M., Carrasco, F. y Maldonado, F. (2014). Desarrollo y aplicaciones de materiales avanzados de carbón. Universidad Internacional de Andalucía. ISBN: 978-84-7993-247-3
- Albis, A., Martinez, J., Severiche, M. y Garcia, J. (2016). Remoción de plomo de soluciones acuosas usando cáscara de yuca modificada con ácido cítrico.
- Ali, I. (2012). New generation adsorbents for water treatment. *Chem. Rev*, (112), 5073-5091.
- Amnistia Intrnacional (2021). Perú: Nueva evidencia confirma crisis de salud por metales tóxicos en Espinar en: <https://www.amnesty.org/es/latest/news/2021/05/peru-crisis-de-salud-metales-toxicos-espinar/>
- Aqilah Mariah, M., Rovina, K., Vonnice, J., y Husna Erna, K. (2023). Characterization of activated carbon from waste tea (*Camellia sinensis*) using chemical activation for removal of methylene blue and cadmium ions. *South African Journal of Chemical Engineering*, (44), 113-122. <https://doi.org/10.1016/j.sajce.2023.01.007>.

- Ardus, P. (2017). Activación química de carbón de leña de quebracho colorado. *Ciencia Sur*, 3(4), 1-9
- Arias, J. (2021). Diseño y metodología de la investigación. Perú. <https://www.researchgate.net/publication/352157132>
- Asimbaya, C., Rosas, N., Endara, D. y Guerrero, V. (2015). Obtención de Carbón Activado a partir de Residuos Lignocelulósicos de Canelo, Laurel y Eucalipto. Córdoba, Argentina.
- Asprilla Pérez, D. (2014). Analysis of the environmental impacts that produces furniture company. Universidad Militar Nueva Gradana. Bogota.
- Autoridad Nacional del Agua. (2019). Informe Técnico N° 055-2019-ANA-AAA.TIT-AT/RWAA. Resultados del monitoreo participativo de la calidad del agua superficial en la Unidad Hidrográfica Coata (23 al 30 de septiembre del 2019).
- Banco Mundial. (2006). Perú: La Oportunidad de un país diferente. Próspero, equitativo y gobernable.
- Bandosz, T. (2006). Activated Carbon Surfases in Enviroment Remediation. *Interface science and technology*, (7)
- Bhandari, H., Garg, S. y Gaba, R. (2021). Advanced nanocomposites for removal of heavy metals from wastewater. *Proceedings of the Macromol. Symp.*
- Callasaca, P. (2018). Influencia de fuentes puntuales de contaminación en la calidad de agua del rio Coata, en el tramo puente maravillas y puente Coata, Puno.
- Callasaca, R., Larico, C., Fernández, D., Cabana, R., Cahua, J. y Quiñonez, J. (2022). Variation in the quality of the water of the Coata river according to the Ica-PE by polluting sources. Perú.

- Cañas, M., Abud, Y. y Trujillo, M. (2013). Evaluación de la toxicidad ocasionada por el exceso de micronutrientes en plantas de *Arabidopsis thaliana*. *Biológicas Revista de la DES Ciencias Biológico Agropecuarias*, 1(14), 30-306.
- Cañizares, R. (2000). Biosorción de metales pesados mediante el uso de biomasa microbiana. *Rev. Latinoam. Microbiol.* 42, 131-143.
- Cartaya, O., Reynaldo, I. y Peniche, C. (2008). Cinética de adsorción de iones cobre (II) por una mezcla de oligogalacturónidos. *Rev. Iberoam. Polímeros.* 9(5), 473-479.
- Castaneda-Olivera, C.A., Roman Perez, H., Barrenechea Suazo, R.R., Benites-Alfaro ,E., Rojas Hacha, R., Gutierrez Merma, A. (2023). Use of Activated Carbon from *Prunus Persica* and *Persea Americana* for the Removal of Arsenic and Lead in Contaminated Water, *Chemical Engineering Transactions*, 100, 1-6.
<https://doi.org/10.3303/CET23100001>
- Castellar-Ortega, G., Mendoza Colina, E. D. . J., Angulo Mercado, E. R., Paula Pereira, Z. A., Rosso Bravo, M. C., & Jaramillo Colpas, J. E. (2019). Equilibrio, cinética y termodinámica de la adsorción del colorante DB-86 sobre carbón activado de la cáscara de yuca. *Revista MVZ Córdoba*, 24(2). <https://doi.org/10.21897/rmvz.1700>
- Castro, M, Almeida, J., Ferrer, J. y Diaz, D. (2014). “Indicadores de la calidad del agua: evolución y tendencias a nivel global”. *Ingeniería Solidaria*, 10(17), pp. 111-124, doi: <http://dx.doi.org/10.16925/in.v9i17.811>
- Caviedes, D., Muñoz, R., Perdomo, A., Rodriguez, D. y Sandoval, I. (2015). Treatments for Removal of Heavy Metals Commonly Found in Industrial Wastewater. A Review. *Ingeniería y Region.* 13(1), 73-90
- Chávez, A. y Rodríguez, A. (2004). Aprovechamiento de residuos orgánicos agrícolas y forestales en Iberoamérica. *Revista Academia y Virtualidad*, 9 (2).
- Corzo, I. y Velázquez, M. (2014). Lead and its health effects. *Acta Medica de Centro.* 8(3).

- Covarrubias, S. y Peña J. (2017). Contaminación ambiental por metales pesados en México: problemática y estrategias de fitorremediación. *Especial Biotecnología e ingeniería ambiental*. 33, 7-21
- Czech, M., y Chalmers, N. (2003). Toward a more comprehensive understanding of the causes of corruption: A cross-national study. *Journal of Public Administration Research and Theory*, 13(4), 473-492
- Derecho, Ambiente y Recursos Naturales (2017). “Calidad del Agua en el Perú. Retos y aportes para una gestión sostenible en aguas residuales”. Lima, Perú.
- Díaz-Bone, R. A., Díaz-Bone, S., Cruz-Guzmán, G. R., & Martínez-Bastida, J. J. (2019). Cadmium removal from aqueous solutions using biochars: A review. *Chemosphere*, 217, 805-817.
- Dipak, P. (2017). Research on heavy metal pollution of river Ganga: A review *Annals of Agrarian Science*. 15 (2), 278-286.
- Duarte, E., Olivero, J. y Jaramillo, B. (2009). Remoción de cromo de aguas residuales de curtiembres usando quitosan obtenido de desechos de camarón,” *Sci. Tech*. 15(42), 290-295.
- Edidiong Asuquo, Alastair Martin, Petrus Nzerem, Flor Siperstein, Xiaolei Fan (2017). Adsorption of Cd(II) and Pb(II) ions from aqueous solutions using mesoporous activated carbon adsorbent: Equilibrium, kinetics and characterisation studies, *Journal of Environmental Chemical Engineering*. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 5(1), 679-698. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2016.12.043>
- Edwards, M. (2007). Lead Contamination in Water: The Problem and Its Management. *Environmental Science & Technology*, 41(7), 1869-1875
- Empresa Prestadora De Servicio Seda Juliaca. (2018). Memoria Anual. Perú

- FAO. (2016). Global Forest Resources Assessment 2015. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-i4808e.pdf>
- Fernández Cirelli, A. (2012). El Agua: un recurso esencial. *Revista Química Viva*, 11(3), 147-170. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=86325090002>
- Fernandez, P. (2012). Transformación y Uso Sostenible de los Residuos Maderables y Agrícolas en Briquetas en Leoncio Prado-Perú. Tesis. Universidad Nacional Agraria de la Selva.
- Fontana, D., Lascano, V., Solá, N., Virgolini, M. y Mazzieri, M. (2013). Intoxicación por plomo y su tratamiento farmacológico. *Revista de salud pública*. 17(1): 49-59.
- Garcés, L. y Coavas, S. (2012). Evaluación de la capacidad de adsorción en la cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) modificada con quitosano para la remoción de Cr(VI) en aguas residuales. Universidad de Cartagena.
- Garcia, A. (2018). Tratamiento de agua Contaminada con Metales Pesados Utilizando como medios filtrantes Biorresina Intercambiadora de Cationes de la Cascara de Endocarpo de Coco. Santa Tecla, El Salvador.
- Getasew Yirdaw, Awrajaw Dessie, Lakemariam Bogale, Mengesha Genet, Eniyew Tegegne, Yenewa Bewket, Tsegaye Adane Birhan. (2024). Application of Noug (*Guizotia abyssinica* cass.) stalk activated carbon for the removal of lead (II) ions from aqueous solutions. *Heliyon*, 10(9). <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e30532>.
- Guastalli, A; Parrilla, R; Llorens, J y Mata, J. (2004). Application of Electrodialysis on Recovering Phosphoric Acid From an Industrial Rinsewater. En: Costa, J. 2004. Trends in Electrochemistry and Corrosion the Beginning of the 21st Century.
- Guerra Alarcón, A., & Hiyagon Arroyo, G. V. (2012). Tratamiento de agua para remoción de plomo aplicando nanotecnología.

- Gutierrez, H. y De la Vara, R. (2008). *Análisis y diseño de experimentos* (2ª ed.). México D.F.: McGraw-Hill
- Haleem, A., Pan, J., Shah, A., Hussain, H. y He, W. (2023). A systematic review on new advancement and assessment of emerging polymeric cryogels for environmental sustainability and energy production. *Sep. Purif. Technol*, (316).
- Kasaoka, S., Sakata, Y., Tanaka, E. y Naitoh, R. (1989). Design of molecular-sieve carbon. Studies on the adsorption of various dyes in the liquid phase. *Int. Chem. Eng*, 29(4), 734-742.
- Henning, K.-D. y von Kienle, H. (2021). Carbón activado*. En *Materiales industriales de carbono y grafito, volumen II* (eds H. Jäger y W. Frohs). <https://doi.org/10.1002/9783527674046.ch9>
- Hernández, R., Fernández, C. y Baptista, P. (1991). *Metodología de la investigación*. (4a. ed.). México D.F.: McGraw-Hill
- Jiang, J., Hu, S., Zhu, Y., & Zhuang, X. (2021). High-quality activated carbon derived from walnut shells for efficient adsorption of organic pollutants in aqueous solution. *Journal of Hazardous Materials*, 401, 123370.
- Johnson, F. (1998). *The genetic effects of environmental lead*. National Institute of Environmental Health Sciences.
- Lama Mamani, G. (2022). *Remoción de Cobre de las Aguas Residuales del Rio Putina por el Método de Adsorción con Carbón Activado de Eucalipto* [Tesis de Pregrado, Universidad Nacional del Altiplano]. Repositorio Institucional – Universidad Nacional del Altiplano.
- Lara, J., Tejada, C., Vilabona, A. y Arrieta. (2016). *Adsorción de plomo y cadmio en sistema continuo de lecho fijo sobre residuos de cacao*. Universidad de Cartagena. Cartagena, Colombia. DOI: <http://dx.doi.org/10.18273/revion.v29n2-2016009>

- Lavado, C., Sun, M. y Bendezu, S. (2010). Adsorción De Plomo De Efluentes Industriales Usando Carbones Activados Con H₃PO₄. Revista de la Sociedad Química del Perú. 78(2), 165-178.
- Londoño, L., Londoño, P. y Muñoz, F. (2016). Risk Of Heavy Metals In Human And Animal Health. Biotecnología en el sector agropecuario y agroindustrial. 14(2), 145-153. DOI:10.18684/BSAA(14)145-153
- López, L. y Palací, P. (2014). Estudio multivariante de la calidad del agua: aplicación al río Júcar en el periodo 1990-2013. M+A. Revista Electrónica de Medio Ambiente. 15 (1), 37-52.
- Mahmood, I., Imadi, S. R., Shazadi, K., Gul, A., & Hakeem, K. R. (2016). Cadmium in the aquatic environment: Sources, exposure, toxicity and removal. Environment International, 92-93, 210-230.
- Mamani Navarro, W., Inofuente Ccarita, W., De la Cruz Wilman, D., Zea Sacachipana, N., Salas Sucaticona, R., Mamanai Coaquira, D. y Sucapuca Mamani, R. (2019). Adsorption of Heavy Metals from Residual Waters from the Lunar de Oro Mine with Activated Charcoal of Duckweed (*Lemna gibba* L.)
- Martorell, J. (2010). Biodisponibilidad de metales pesados en dos ecosistemas acuáticos de la costa Suratlántica andaluza afectados por Contaminación difusa. Tesis Doctoral Universidad de Cádiz.
- Masters; G. y Ela, W. (2008). Introducción a la ingeniería medioambiental. Pearson Educación S.A. Madrid.
- Mendoza, (2012). Remoción De Pb (II) De Soluciones Mediante Carbón Activado: Experimentos En Lotes. Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- Mihelcic, J. R., Beth Zimmermann, J. (2011). Ingeniería ambiental: fundamentos, sustentabilidad, diseño. Alfaomega Grupo Editor, S.A. de C.V., México.

- Minaya, M., Cari, P., Garate, J. y Rodriguez, L. (2020). Carbón activado de residuos maderables de shihuahuaco (*Dipteryx micrantha*), y su aplicación en decoloración de aceite de castaña (*Bertholletia excelsa*). Universidad Científica del Perú Ciencia amazónica. Iquitos 8(1), 1-16.
- Monroy, R. (2019). Remoción de plomo Pb (II) de soluciones acuosas y aguas residuales de mina, por adsorción, floculación – sedimentación de flujo ascendente batch utilizando chacko (Hidralgirita) y cal (CaO).
- Navarrete, D., Quijano, N. y Velez, C. (2014). Elaboración de Carbón Activado a partir de Materiales no Convencionales, para ser usado como Medio Filtrante. Escuela Superior Politécnica del Litoral. Guayaquil, Ecuador.
- Oficina Nacional de Evaluación de Recursos Naturales (ONERN) (1985). Los recursos naturales en el Perú. Lima.
- Olmos, D. y Octavio, P. (2022). Efectos sobre la salud por agua contaminada con metales pesados. Universidad Autonoma del Estado de Hidalgo. 4(1), 43-47.
- Organización mundial de la Salud (2008). Guidelines for drinking-water quality. 3(1).
- Organización mundial de la Salud (2019). Intoxicación por plomo y salud
- Qureshi, H., y Bhatti, Z. (2018). Cadmium in the aquatic environment: A review of environmental sources, fate, impacts, and management. *Chemosphere*, 191, 616-641
- Peón Peralta, J. (2007). El agua, una sustancia tan común como sorprendente. *Ciencia: revista de la academia mexicana de ciencias*, (53), 17-25.
- Pérez, L., Baez, A., Luna, M. y Zamora, L. (2018). Detección de arsénico, mercurio y plomo en agua: un reto para la tecnología. *Materia, ciencia y nanociencia*. 1(2).
- Quintanilla Montoya, A. L. (2023). ¡AGUAS...con el AGUA!. Universidad de Colima, México. <https://doi.org/10.53897/LI.2023.0008.UCOL>

- Quío Salas, J. (2016). Estudio de la contaminación en la industria del aserrío en Iquitos - Maynas - Iquitos, Peru – 2015. Universidad Nacional de la Anatomía Peruana. Perú
- Radenković, M., Petrović, J., Pap, S., Kalijadis, A., Momčilović, M., Krstulović, N. y Živković, S. (2024). Waste biomass derived highly-porous carbon material for toxic metal removal: Optimisation, mechanisms and environmental implications. *Chemosphere*, (347). <https://doi.org/10.1016/j.chemosphere.2023.140684>.
- Reyes, E., Cerino, F. y Suárez, M. (2006) Remoción de metales pesados con carbón activado como soporte de biomasa. *Ingenierías*, 9 (31). pp. 59-64. ISSN 1405-0676
- Reyes, Y., Vergara, I., Torres, O., Diaz, M. y Gonzales, E. (2016). Heavy metals contamination: implications for health and food safety. *Revista ingeniería, investigación y desarrollo*. 16(2), 66-77.
- Riesco, A., Quevedo, M., Sanchez, J. (2003). Análisis económico de alternativas para optimizar la cadena de valor forestal en la región Ucayali. Pucallpa: CONDESU.
- Rodriguez, I., González, J., y Juárez, V. (2012). El uso de diferentes biomásas para la eliminación de metales pesados en sitios contaminados. *Ide@s CONCYTEG*, 7(85), 911 - 922.
- Rodriguez, L., Soto, M. y Montalvan, S. (2009). Obtención del Carbón Activado a partir de Residuos Orgánicos con alto poder calorífico. *Biodiversidad Amazónica*. Madre de Dios, Perú.
- Román, G. E. (2021). Estudio computacional de la estructura y reactividad de materiales porosos y su interacción con moléculas de interés farmacéutico. Universidad Nacional del Sur. Argentina.
- Sala, L., García, S., González, J., Frascaroli, M., Bellú, S., Mangiameli, F., Blanes, P., Mogetta, M., Andreu, V., Atria, A. y Salas, M. (2010). Biosorción para la eliminación

- de metales pesados en aguas de desecho. *Real Soc. Española Química*. 106(2), 114-120.
- Sánchez, C. et al. (2013). Exposición ambiental a múltiples metales pesados en poblaciones del Perú.
- Sheraz, N., Shah, A., Haleem, A. y Iftikhar, F. (2024). Comprehensive assessment of carbon-, biomaterial- and inorganic-based adsorbents for the removal of the most hazardous heavy metal ions from wastewater. *RSC Advances*, 14(16). <https://doi.org/10.1039/d4ra00976b>.
- Srivastava, S., Agrawal, S. y Mondal, M. (2015). A review on progress of heavy metal removal using adsorbents of microbial and plant origin. *Environ. Sci. Pollut. Res.*, (22)
- Sun-Kou, M., Obregon Valencia, D., Pinedo Flores, A, Paredes Doing, L. y Aylas Orejón, J. (2014). Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 225-236.
- Tancredi, N., Amaya, A. y Medero, N. (2005). Residuos De Madera De Bosque Tropical: Obtención De Carbón Activado Y Determinación De Poder Calorífico. Universidad De La República Oriental Del Uruguay. Montevideo, Uruguay.
- Tam, J., Vera, G. y Oliveros, R. (2008). Tipos, Métodos y Estrategias de Investigación Científica. *Pensamiento y Acción*. 5, 145-154.
- Taylor, J y Wiesner, M. (2002). Membranas. Capítulo 11. En: AWWA. Calidad y Tratamiento del Agua. Manual de suministros de Agua Comunitaria. McGraw Hill. Madrid.
- Takahashi, K. (2019). Remoción de plomo y cadmio presente en el afluente del río Pativilca, Barranca- Lima por células inmovilizadas de *Pseudomonas putida* ATCC 49128.
- Tejada, C., Gallo, J., Moscote, J., Villabona, A. y Acevedo, D. (2018). Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema

continuo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 16(1).
doi:<http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.624>

Tejada, C., Mercado, J., Moscote, J., Villabona, A. y Acevedo, D., (2016). Adsorción competitiva de plomo y níquel sobre cáscara de ñame y bagazo de palma en sistema continuo. *Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*. 16(1). doi: <http://dx.doi.org/10.18684/bsaa.v16n1.624>

Tejada, C., Villabona, A. y Garces, L. (2014). Adsorption of heavy metals in waste water using biological materials. *Tecnológicas*. 18(34), 109-123.

Tejada C, Villabona A, Ruiz V. (2013). Biomasa residual para remoción de mercurio y cadmio: una revisión. *Ingenium*, 6(14), 11-21.

Toles, C., Marshall, W. y Johns, M. (1997). Granular activated carbons from nutshells for the uptake of metals and organic compounds. *Carbon*, 35(9).
[https://doi.org/10.1016/S0008-6223\(97\)00073-0](https://doi.org/10.1016/S0008-6223(97)00073-0).

Vera, L., Bermejo, D., Uguña, M., García, N., Flores, M. y Brazales, D. (2017). Biosorción de Cd (II) y Pb (II) en una columna de Lecho Fijo con Cascara de Cacao. Ecuador.

Vinces, R. y Poggi, D. (2014). Aprovechamiento Sostenible de los Residuos Forestales para la Producción de Pellets de Biomasa Leñosa Torrefactada. *Revista de Ingeniería de la USIL*. 1(2), 88-123

Vizcaino, L., Fuentes, N. y Gonzales, H. (2017). Adsorption Of Lead (Ii) With Stems And Leaves Of Eichhornia Crassipes In Aqueous Solution. *UDCA Act & Div*. 20(2), 435-444

Wheelock, C., Sandoval, E., Zamorio, M. y Cornejo, I. (2019). Calidad del Agua en las Américas Riesgos y Oportunidades. *IANAS La Red Interamericana de Academias de ciencias*.

World Resource Institute (2015). Aqueduct projected water stress country rankings.

Disponibile en: <http://www.wri.org/resources/data-sets/aqueduct-projected-water-stress-country-rankings>

CAPÍTULO VI

ANEXOS

Anexo 1. Matriz de consistencia.

Tabla 23.

Matriz de Consistencia del proyecto

PROBLEMA DE INVESTIGACION	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	ESTADISTICO
Pregunta General:	Objetivo General	Hipótesis General:					
¿Cuál es la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)?	Determinar la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	La eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) es mayor de 95%.	V.D. Eficiencia de remoción V.I. Carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	Cantidad de remoción de plomo y cadmio Calidad de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) Calidad de carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	Concentración inicial de plomo y cadmio Concentración final de plomo y cadmio Tipo de carbón activado obtenido en laboratorio. Tipo de carbón activado industrializado	Modelos de isoterma de adsorción Norma ASTM D4607-74	Estadística experimental
Preguntas Específicas:	Objetivos Específicos:	Hipótesis Específicas:					
¿Se obtendrá el Carbón Activado a partir de Biomasa Residual de especies forestales de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) a una temperatura de 500°C.?	Obtener carbón activado a partir de biomasa residual de especies forestales de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) a una temperatura de 500°C.	Se obtiene carbón activado a partir de biomasa residual de especies forestales de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) a una temperatura de 500°C.	V.D. Carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) V.I. Temperatura.	Material Precursor Temperatura a 500°C para obtener carbón activado	-Especie Forestal Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) -Especie Forestal Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) Grados centígrados	Resolución de dirección ejecutiva N° 143-2016-SERFOR °C	Estadística descriptiva

Tabla 23(continuación).

Matriz de Consistencia del proyecto

PROBLEMA DE INVESTIGACION	OBJETIVOS	HIPOTESIS	VARIABLES	DIMENSIONES	INDICADORES	INDICE	ESTADISTICO
¿Cuál será la calidad del carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) variando el tamaño de partícula y la relación de impregnación de activación, en comparación a la calidad de un carbón activado comercial?	Evaluar la calidad del carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) variando el tamaño de partícula y la relación de impregnación de activación, y comparar la calidad con un carbón activado comercial.	La calidad del carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) varía según el tamaño de partícula y la relación de impregnación de activación y serán diferentes a la calidad de un carbón activado comercial.	V.D. Calidad del carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) V.D. Calidad del carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) V.I. Tamaño de partícula. V.I. Relación de Impregnación.	Tipo de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) obtenido en laboratorio. Granular – Polvo 1/1 – 1/1.5 Comercial	Índice de Iodo mm, cm, µm gramos Índice de Iodo	Norma ASTM D4607-74	Diseño Factorial
¿Cuál es la cantidad de remoción de plomo y cadmio variando el tipo de calidad de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), y la concentración inicial de plomo y cadmio?	Evaluar la cantidad de remoción de plomo y cadmio variando tipo de calidad de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), y la concentración inicial de plomo y cadmio.	La cantidad de remoción varía según el tipo de calidad de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), y la concentración inicial de plomo y cadmio.	V.D. Cantidad de remoción. V.I. Calidad de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) V.I. Concentración inicial de plomo y cadmio	-Concentración inicial y final de plomo y cadmio -Tipo de carbón activado obtenido en laboratorio. -tipo de carbón activado industrializado -5 mg/l, 10 mg/l, 50 mg/l, 100 mg/l	-Resultado de la cantidad Pb y Cd por espectrometría de absorción atómica de flama. -Índice de iodo -Volumen	Norma ASTM D4607-74 APHA-AWWA-WPCF Métodos Normalizados para Análisis de Aguas Potables y Residuales	Diseño Factorial

Anexo 2. Operacionalización de variables por objetivos

Tabla 24.

Operacionalización de variables por objetivos del proyecto

OBJETIVO	VARIABLES	DEFINICION CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	OPERACIONALIZACIÓN	
				INDICADOR	TIPO DE VARIABLE
Objetivo general					
¿Cuál es la eficiencia de remoción de plomo y cadmio en el agua usando carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)?	V.D. Eficiencia de remoción	Es el porcentaje de remoción de metales pesados como el plomo y cadmio presentes en el agua	Cantidad de remoción de plomo y cadmio	Concentración inicial de plomo y cadmio Concentración final de plomo y cadmio	Continua
	V.I. Carbón activado obtenido de biomasa residual de especies forestales Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	Es el proceso en el cual la biomasa residual de especies forestales de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), se han sometido a un proceso de activación para aumentar la porosidad del elemento.	Calidad de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>). Calidad de carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>).	Tipo de carbón activado obtenido en laboratorio. Tipo de carbón activado industrializado. Tipo de carbón activado obtenido en laboratorio. Tipo de carbón activado industrializado.	
Objetivos Específicos					
Obtener carbón activado a partir de biomasa residual de especies forestales de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) a una temperatura de 500°C.	V.D. Carbón activado.	Carbón activo es un elemento poroso que atrapa compuestos, en primer lugar, orgánicos, presentes en un gas o en un líquido.	Material precursor	Biomasa residual de especies forestales de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia Ulbr</i>) Biomasa residual de especies forestales de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>)	Nominal
	V.I. Temperatura.	La temperatura es el grado de magnitud referida a la noción de calor medible para activar el carbón.	500 °C	°C	Discreta

Tabla 24 (continuación).

Operacionalización de variables por objetivos del proyecto

OBJETIVO	VARIABLES	DEFINICIÓN CONCEPTUAL	DIMENSIÓN	OPERACIONALIZACIÓN	
				INDICADOR	TIPO DE VARIABLE
Evaluar la calidad del carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) variando el tamaño de partícula y la relación de impregnación de activación, y comparar la calidad con un carbón activado comercial.	V.D. Calidad del carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr).	Es la capacidad de adsorción de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) obtenido en laboratorio.	Tipo de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) obtenido en laboratorio.	Índice de Iodo	
	V.D. Calidad del carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>).		Tipo de carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) obtenido en laboratorio.		
	V.I. Tamaño de partícula.	Es el diámetro de los poros presentes en el carbón activado	Granular Polvo	mm, cm µm	Continua
	V.I. Relación de Impregnación.	Es la etapa en la cual la materia prima se mezcla con el reactivo o precursor activante para obtener el carbón activado	1/1 1/1.5	gramos	
	V.I. Calidad del Carbón activado industrial	Es la capacidad de adsorción de un carbón activado industrializado, que fue elaborado	Tipo de Carbón Activado Industrializado.	Índice de Iodo	
Evaluar la cantidad de remoción de plomo y cadmio variando tipo de calidad de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>), y la concentración inicial de plomo y cadmio.	V.D. Cantidad de remoción.	Es la capacidad de eliminar metales pesados como el plomo y cadmio presentes en el agua	Concentración inicial de plomo y cadmio Concentración final de plomo y cadmio	Resultado de la cantidad Pb y Cd por espectrometría de absorción atómica de flama.	
	V.I. Calidad de Carbón Activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>).	Es la capacidad de adsorción de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) y Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) obtenido en laboratorio.	Tipo de carbón activado de Lupuna (<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr) obtenido en laboratorio. Tipo de carbón activado de Tornillo (<i>Cedrelinga cateniformis</i>) obtenido en laboratorio.	Índice de iodo	Continua
	V.I. Concentración inicial de plomo y cadmio	Es la cantidad de plomo y cadmio que se encuentran en un cuerpo receptor	-5 mg/l, 10 mg/l, 50 mg/l, 100 mg/l -5 mg/l, 10 mg/l, 50 mg/l, 100 mg/l	Volumen	

Anexo 3. Datos experimentales para el ajuste de las isotermas para plomo

Tabla 25.

Datos experimentales para el ajuste de las isotermas para plomo

N° prueba	Tipo de carbón activado	Prueba	Concentración inicial (mmol/l)	Concentración equilibrio (mmol/l)	Capacidad de adsorción (mmol/g)
1	LG1	LG1 Pb1	0.02413	0.0000	0.0241
2	LG1	LG1 Pb2	0.04826	0.0161	0.0322
3	LG1	LG1 Pb3	0.24131	0.1813	0.0600
4	LG1	LG1 Pb4	0.48263	0.4181	0.0645
5	TG1	TG1 Pb1	0.02413	0.0000	0.0241
6	TG1	TG1 Pb2	0.04826	0.0060	0.0422
7	TG1	TG1 Pb3	0.24131	0.1935	0.0478
8	TG1	TG1 Pb4	0.48263	0.4393	0.0433
9	LP1	LP1 Pb1	0.02413	0.0001	0.0240
10	LP1	LP1 Pb2	0.04826	0.0112	0.0371
11	LP1	LP1 Pb3	0.24131	0.1998	0.0416
12	LP1	LP1 Pb4	0.48263	0.4368	0.0458
13	TP1	TP1 Pb1	0.02413	0.0000	0.0241
14	TP1	TP1 Pb2	0.04826	0.0065	0.0417
15	TP1	TP1 Pb3	0.24131	0.1978	0.0435
16	TP1	TP1 Pb4	0.48263	0.4127	0.0699
17	LG2	LG2 Pb1	0.02413	0.0000	0.0241
18	LG2	LG2 Pb2	0.04826	0.0036	0.0447
19	LG2	LG2 Pb3	0.24131	0.1741	0.0672
20	LG2	LG2 Pb4	0.48263	0.4143	0.0683
21	TG2	TG2 Pb1	0.02413	0.0000	0.0241
22	TG2	TG2 Pb2	0.04826	0.0064	0.0419
23	TG2	TG2 Pb3	0.24131	0.1944	0.0469
24	TG2	TG2 Pb4	0.48263	0.4266	0.0560
25	LP2	LP2 Pb1	0.02413	0.0000	0.0241
26	LP2	LP2 Pb2	0.04826	0.0088	0.0394
27	LP2	LP2 Pb3	0.24131	0.1874	0.0539
28	LP2	LP2 Pb4	0.48263	0.4122	0.0705
29	TP2	TP2 Pb1	0.02413	0.0000	0.0241
30	TP2	TP2 Pb2	0.04826	0.0059	0.0423
31	TP2	TP2 Pb3	0.24131	0.1918	0.0495
32	TP2	TP2 Pb4	0.48263	0.4273	0.0553
33	CAI	CAI Pb1	0.02413	0.0224	0.0017
34	CAI	CAI Pb2	0.04826	0.0477	0.0005
35	CAI	CAI Pb3	0.24131	0.2413	49.9990
36	CAI	CAI Pb4	0.48263	0.4826	99.9990

Anexo 4. Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isotermas de adsorción de plomo

Tabla 26.

Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isotermas de adsorción de plomo

N° prueba	Código	Langmuir		Freundlich	
		X	Y	X	Y
		C_e	C_e/q_e	$\log C_e$	$\log q_e$
1	LG1 Pb1	0.0000	0.0000	-9.3164	-1.6174
2	LG1 Pb2	0.0161	0.4999	-1.7936	-1.4925
3	LG1 Pb3	0.1813	3.0193	-0.7417	-1.2216
4	LG1 Pb4	0.4181	6.4794	-0.3787	-1.1903
5	TG1 Pb1	0.0000	0.0000	-9.3164	-1.6174
6	TG1 Pb2	0.0060	0.1427	-2.2198	-1.3743
7	TG1 Pb3	0.1935	4.0454	-0.7134	-1.3203
8	TG1 Pb4	0.4393	10.1359	-0.3573	-1.3631
9	LP1 Pb1	0.0001	0.0042	-3.9942	-1.6192
10	LP1 Pb2	0.0112	0.3009	-1.9522	-1.4306
11	LP1 Pb3	0.1998	4.8072	-0.6995	-1.3814
12	LP1 Pb4	0.4368	9.5263	-0.3597	-1.3387
13	TP1 Pb1	0.0000	0.0000	-9.3164	-1.6174
14	TP1 Pb2	0.0065	0.1567	-2.1845	-1.3796
15	TP1 Pb3	0.1978	4.5494	-0.7037	-1.3617
16	TP1 Pb4	0.4127	5.9061	-0.3843	-1.1556
17	LG2 Pb1	0.0000	0.0000	-9.3164	-1.6174
18	LG2 Pb2	0.0036	0.0804	-2.4448	-1.3500
19	LG2 Pb3	0.1741	2.5920	-0.7591	-1.1728
20	LG2 Pb4	0.4143	6.0671	-0.3826	-1.1656
21	TG2 Pb1	0.0000	0.0000	-9.3164	-1.6174
22	TG2 Pb2	0.0064	0.1529	-2.1938	-1.3782
23	TG2 Pb3	0.1944	4.1493	-0.7112	-1.3292
24	TG2 Pb4	0.4266	7.6133	-0.3700	-1.2516
25	LP2 Pb1	0.0000	0.0000	-9.3164	-1.6174
26	LP2 Pb2	0.0088	0.2243	-2.0535	-1.4043
27	LP2 Pb3	0.1874	3.4763	-0.7272	-1.2683
28	LP2 Pb4	0.4122	5.8493	-0.3849	-1.1520
29	TP2 Pb1	0.0000	0.0000	-9.3164	-1.6174
30	TP2 Pb2	0.0059	0.1401	-2.2268	-1.3733
31	TP2 Pb3	0.1918	3.8780	-0.7171	-1.3057
32	TP2 Pb4	0.4273	7.7260	-0.3693	-1.2572
33	CAI Pb1	0.0224	13.0449	-1.6495	-2.7649
34	CAI Pb2	0.0477	89.9091	-1.3212	-3.2750

Tabla 26 (continuación).

Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isotermas de adsorción de plomo

N° prueba	Código	Langmuir		Freundlich	
		X	Y	X	Y
		C_e	C_e/q_e	$\log C_e$	$\log q_e$
35	CAI Pb3	0.2413	0.0048	-0.6174	1.6990
36	CAI Pb4	0.4826	0.0048	-0.3164	2.0000

Anexo 5. Datos experimentales para el ajuste de las isotermas para cadmio.

Tabla 27.

Datos experimentales para el ajuste de las isotermas para cadmio

N° prueba	Tipo de carbón activado	Prueba	Concentración inicial (mmol/l)	Concentración equilibrio (mmol/l)	Capacidad de adsorción (mmol/g)
1	LG1	LG1 Cd1	0.0445	0.02119	0.0233
2	LG1	LG1 Cd2	0.0890	0.06393	0.0250
3	LG1	LG1 Cd3	0.4448	0.40257	0.0422
4	LG1	LG1 Cd4	0.8896	0.84396	0.0456
5	TG1	TG1 Cd1	0.0445	0.01728	0.0272
6	TG1	TG1 Cd2	0.0890	0.06187	0.0271
7	TG1	TG1 Cd3	0.4448	0.40832	0.0365
8	TG1	TG1 Cd4	0.8896	0.85961	0.0300
9	LP1	LP1 Cd1	0.0445	0.02426	0.0202
10	LP1	LP1 Cd2	0.0890	0.06966	0.0193
11	LP1	LP1 Cd3	0.4448	0.40459	0.0402
12	LP1	LP1 Cd4	0.8896	0.84565	0.0439
13	TP1	TP1 Cd1	0.0445	0.01654	0.0279
14	TP1	TP1 Cd2	0.0890	0.06411	0.0248
15	TP1	TP1 Cd3	0.4448	0.42505	0.0197
16	TP1	TP1 Cd4	0.8896	0.87555	0.0140
17	LG2	LG2 Cd1	0.0445	0.01735	0.0271
18	LG2	LG2 Cd2	0.0890	0.05774	0.0312
19	LG2	LG2 Cd3	0.4448	0.39703	0.0478
20	LG2	LG2 Cd4	0.8896	0.78916	0.1004
21	TG2	TG2 Cd1	0.0445	0.00900	0.0355
22	TG2	TG2 Cd2	0.0890	0.05509	0.0339
23	TG2	TG2 Cd3	0.4448	0.39445	0.0504
24	TG2	TG2 Cd4	0.8896	0.82563	0.0640
25	LP2	LP2 Cd1	0.0445	0.02311	0.0214
26	LP2	LP2 Cd2	0.0890	0.06840	0.0206
27	LP2	LP2 Cd3	0.4448	0.41010	0.0347
28	LP2	LP2 Cd4	0.8896	0.87536	0.0142
29	TP2	TP2 Cd1	0.0445	0.01616	0.0283
30	TP2	TP2 Cd2	0.0890	0.06512	0.0238
31	TP2	TP2 Cd3	0.4448	0.40717	0.0376
32	TP2	TP2 Cd4	0.8896	0.86845	0.0211
33	CAI	CAI Cd1	0.0445	0.04312	0.0014
34	CAI	CAI Cd2	0.0890	0.08878	0.0002
35	CAI	CAI Cd3	0.4448	0.43599	0.0088
36	CAI	CAI Cd4	0.8896	0.88870	0.0009

Anexo 6. Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isotermas de adsorción de cadmio

Tabla 28.

Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isotermas de adsorción de cadmio

N° prueba	Prueba	Langmuir		Freundlich	
		X	Y	X	Y
		C_e	C_e/q_e	$\log C_e$	$\log q_e$
1	LG1 Cd1	0.0212	0.9099	-1.6739	-1.6328
2	LG1 Cd2	0.0639	2.5537	-1.1943	-1.6015
3	LG1 Cd3	0.4026	9.5330	-0.3952	-1.3744
4	LG1 Cd4	0.8440	18.4932	-0.0737	-1.3407
5	TG1 Cd1	0.0173	0.6356	-1.7623	-1.5655
6	TG1 Cd2	0.0619	2.2841	-1.2085	-1.5672
7	TG1 Cd3	0.4083	11.1951	-0.3890	-1.4380
8	TG1 Cd4	0.8596	28.6736	-0.0657	-1.5232
9	LP1 Cd1	0.0243	1.1997	-1.6151	-1.6942
10	LP1 Cd2	0.0697	3.6083	-1.1570	-1.7143
11	LP1 Cd3	0.4046	10.0619	-0.3930	-1.3957
12	LP1 Cd4	0.8456	19.2429	-0.0728	-1.3571
13	TP1 Cd1	0.0165	0.5918	-1.7815	-1.5537
14	TP1 Cd2	0.0641	2.5804	-1.1931	-1.6047
15	TP1 Cd3	0.4250	21.5225	-0.3716	-1.7045
16	TP1 Cd4	0.8756	62.3714	-0.0577	-1.8527
17	LG2 Cd1	0.0173	0.6393	-1.7608	-1.5665
18	LG2 Cd2	0.0577	1.8498	-1.2385	-1.5056
19	LG2 Cd3	0.3970	8.3110	-0.4012	-1.3208
20	LG2 Cd4	0.7892	7.8574	-0.1028	-0.9981
21	TG2 Cd1	0.0090	0.2538	-2.0456	-1.4501
22	TG2 Cd2	0.0551	1.6267	-1.2589	-1.4702
23	TG2 Cd3	0.3944	7.8339	-0.4040	-1.2980
24	TG2 Cd4	0.8256	12.9082	-0.0832	-1.1941
25	LP2 Cd1	0.0231	1.0816	-1.6362	-1.6702
26	LP2 Cd2	0.0684	3.3271	-1.1649	-1.6870
27	LP2 Cd3	0.4101	11.8205	-0.3871	-1.4597
28	LP2 Cd4	0.8754	61.5000	-0.0578	-1.8467
29	TP2 Cd1	0.0162	0.5704	-1.7917	-1.5478
30	TP2 Cd2	0.0651	2.7313	-1.1863	-1.6227
31	TP2 Cd3	0.4072	10.8203	-0.3902	-1.4245
32	TP2 Cd4	0.8684	41.0698	-0.0613	-1.6748
33	CAI Cd1	0.0431	31.6797	-1.3653	-2.8661
34	CAI Cd2	0.0888	499.0000	-1.0517	-3.7498

Tabla 28 (continuación).

Valores de los ejes X e Y empleados para el ajuste de las isotermas de adsorción de cadmio

N° prueba	Prueba	Langmuir		Freundlich	
		X	Y	X	Y
		C_e	C_e/q_e	$\log C_e$	$\log q_e$
35	CAI Cd3	0.4360	49.5051	-0.3605	-2.0552
36	CAI Cd4	0.8887	999.0000	-0.0512	-3.0508

Anexo 7. Isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir para plomo

Desde la figura 22 a la figura 30, se observan los Isoterma de Adsorción de Freundlich y Langmuir de plomo para cada tipo de carbón activado en estudio para la presente investigación, donde se ve la relación entre la capacidad de adsorción versus la concentración en equilibrio de plomo.

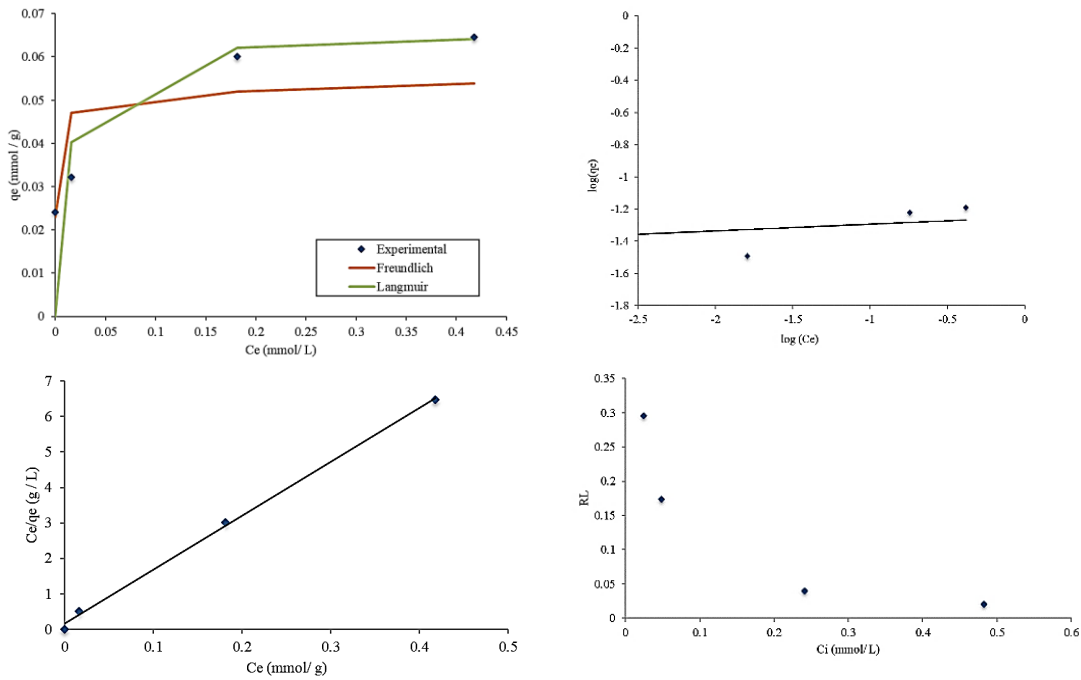
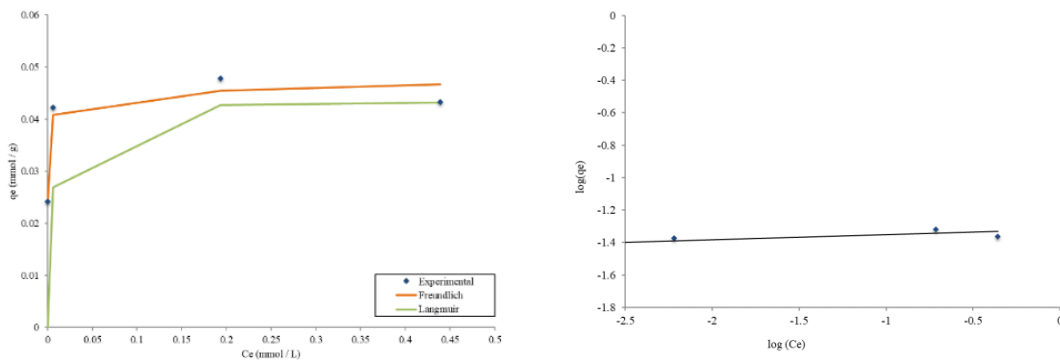


Figura 22. Isoterma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LG1(Especie: Lupuna; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1).



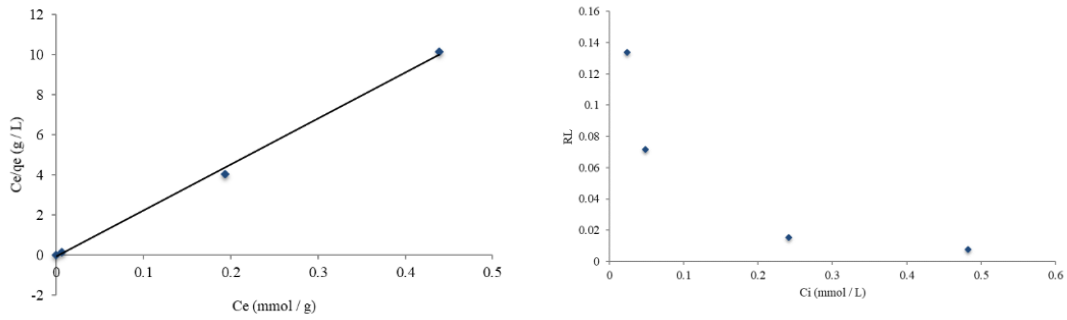


Figura 23. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TG1 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1).

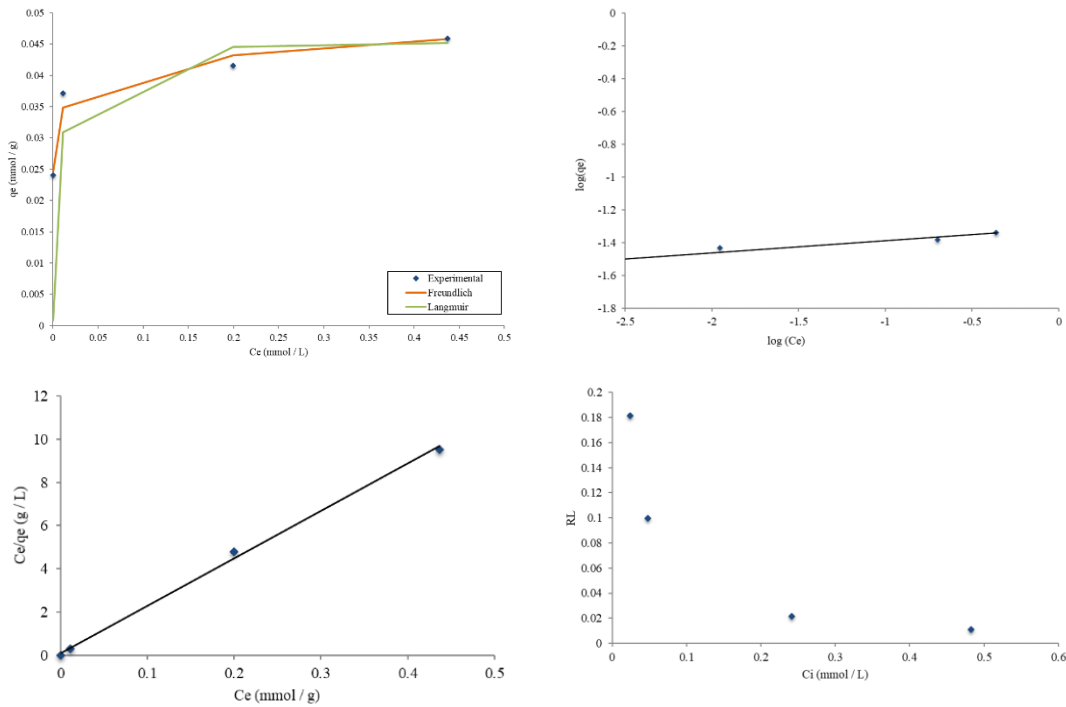


Figura 24. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LP1 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1)

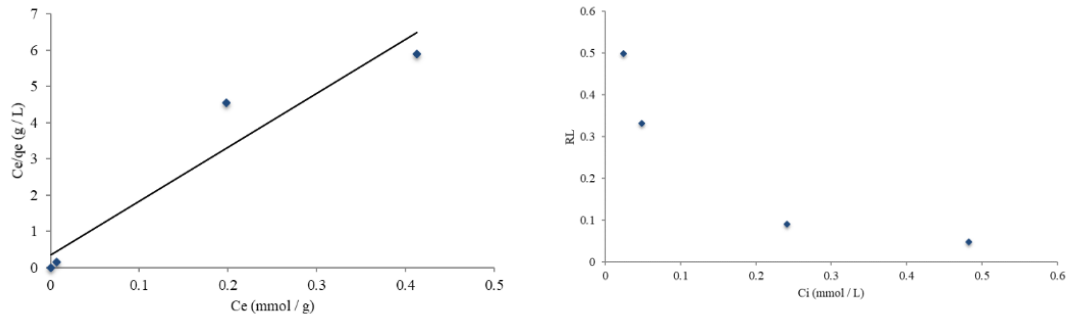


Figura 25. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TP1 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1).

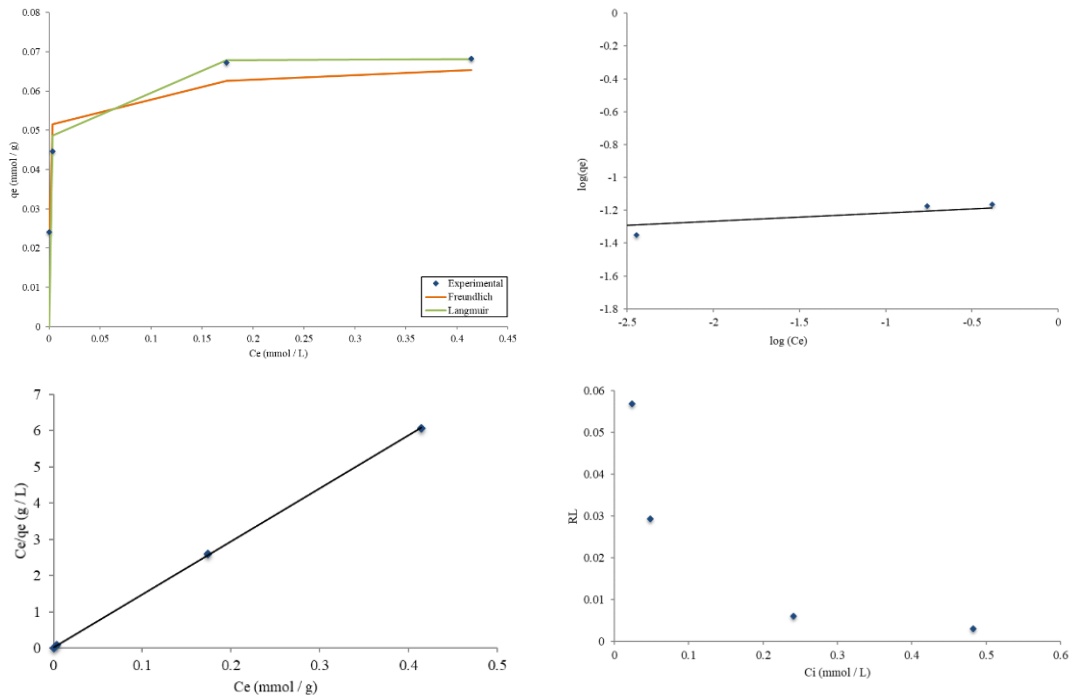
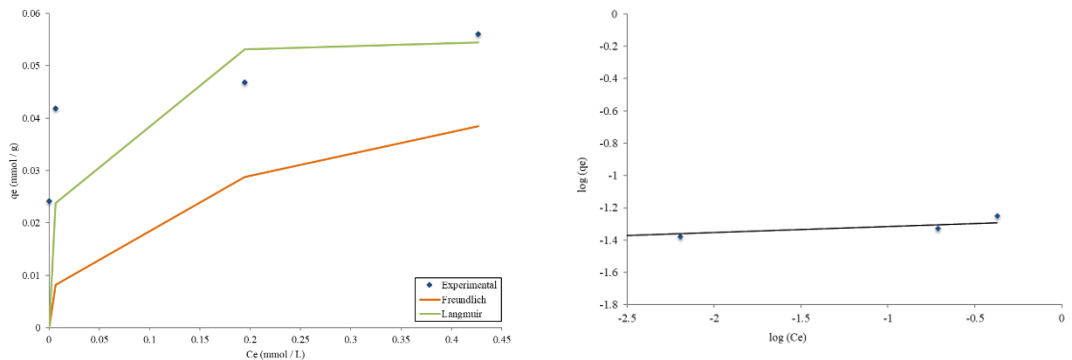


Figura 26. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LG2 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1.5).



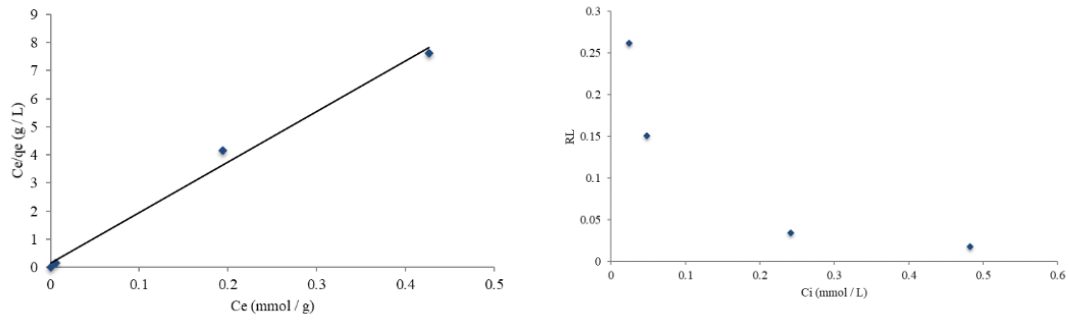


Figura 27. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TG2 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1.5).

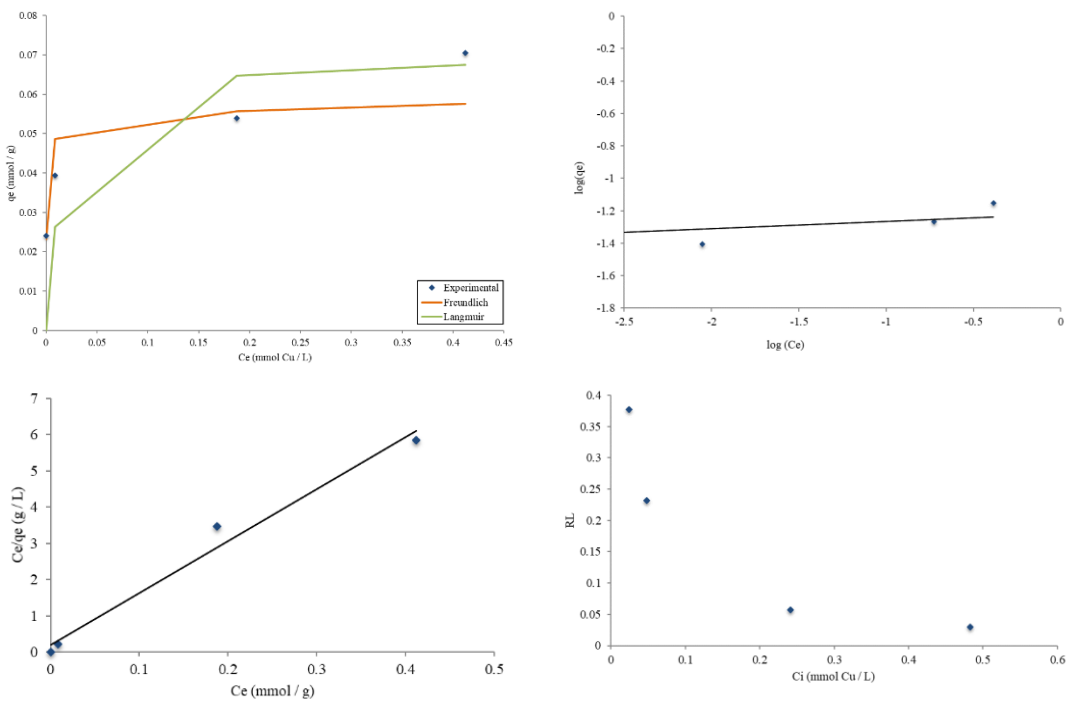
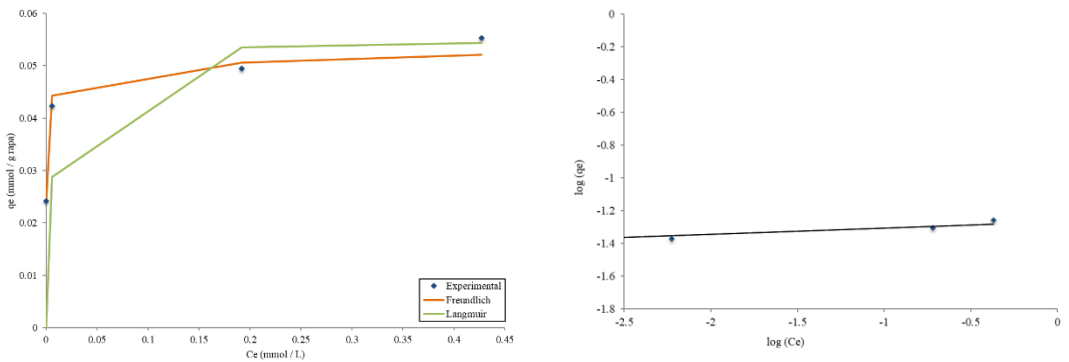


Figura 28. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LP2 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1.5).



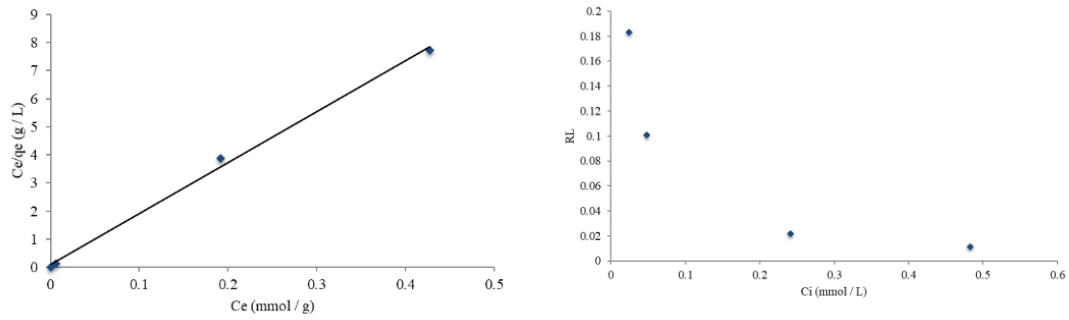


Figura 29. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TP2 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1.5).

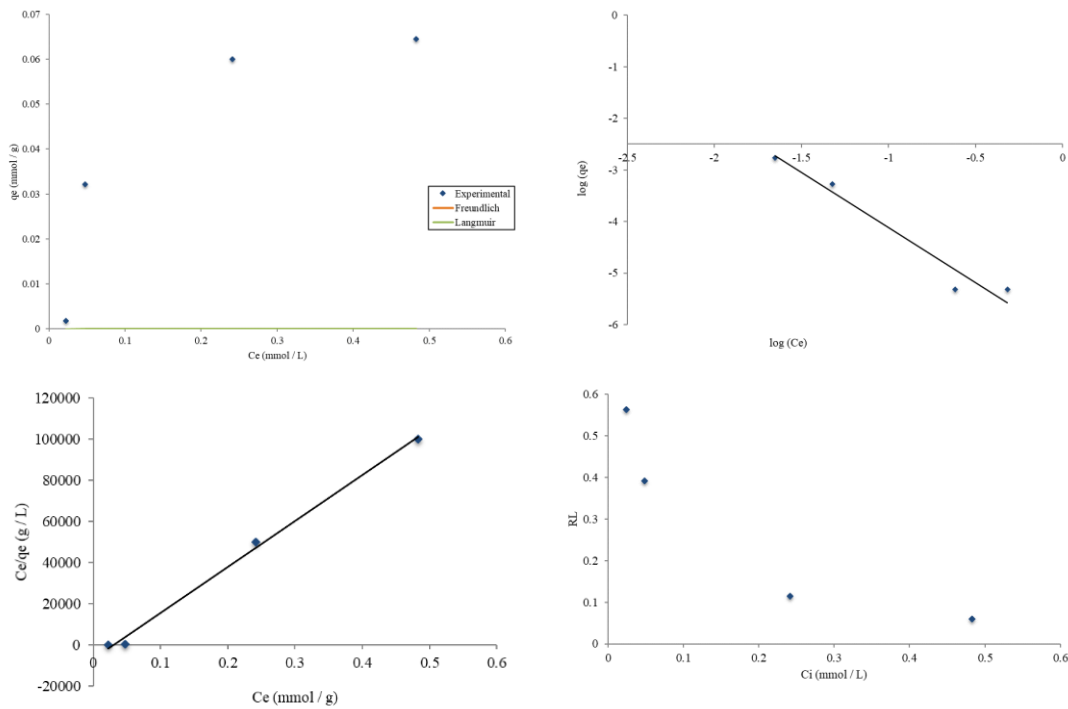


Figura 30. Isotherma de adsorción de plomo Freundlich y Langmuir del carbón activado comercial CAI

Anexo 8. Isotermas de adsorción de Freundlich y Langmuir para Cadmio

Desde la figura 31 a la figura 39, se visualiza las Isotermas de Adsorción de Freundlich y Langmuir de cadmio para cada tipo de carbón activado en estudio para la presente investigación, donde se ve la relación entre la capacidad de adsorción versus la concentración en equilibrio de cadmio.

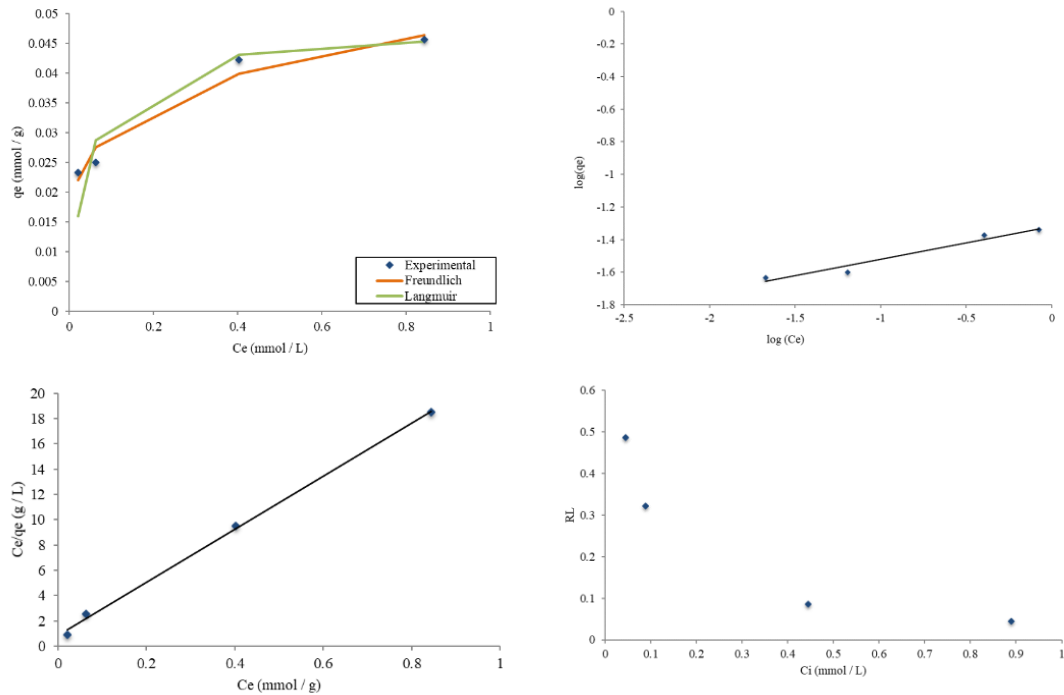
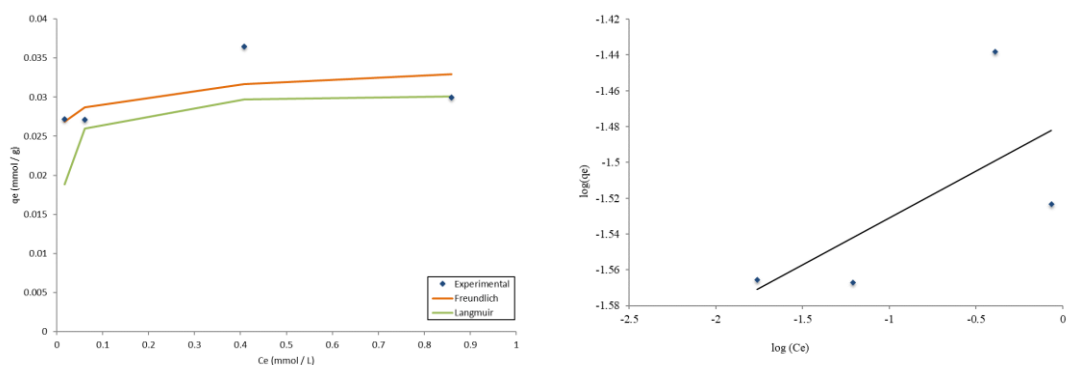


Figura 31. Isoterma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LG1 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1).



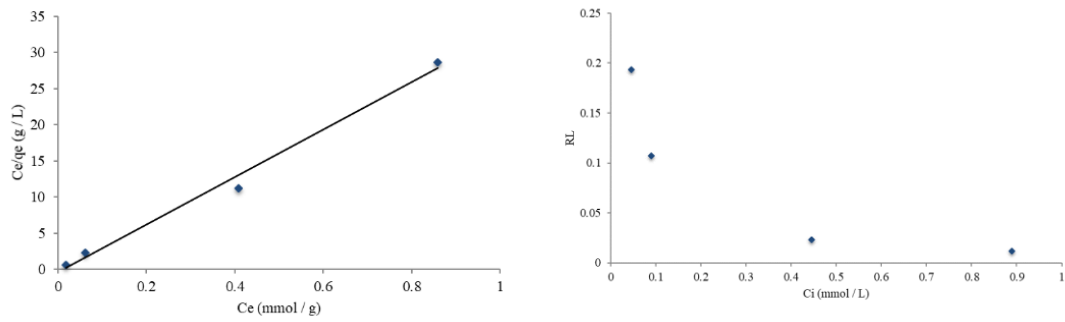


Figura 32. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TG1 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1).

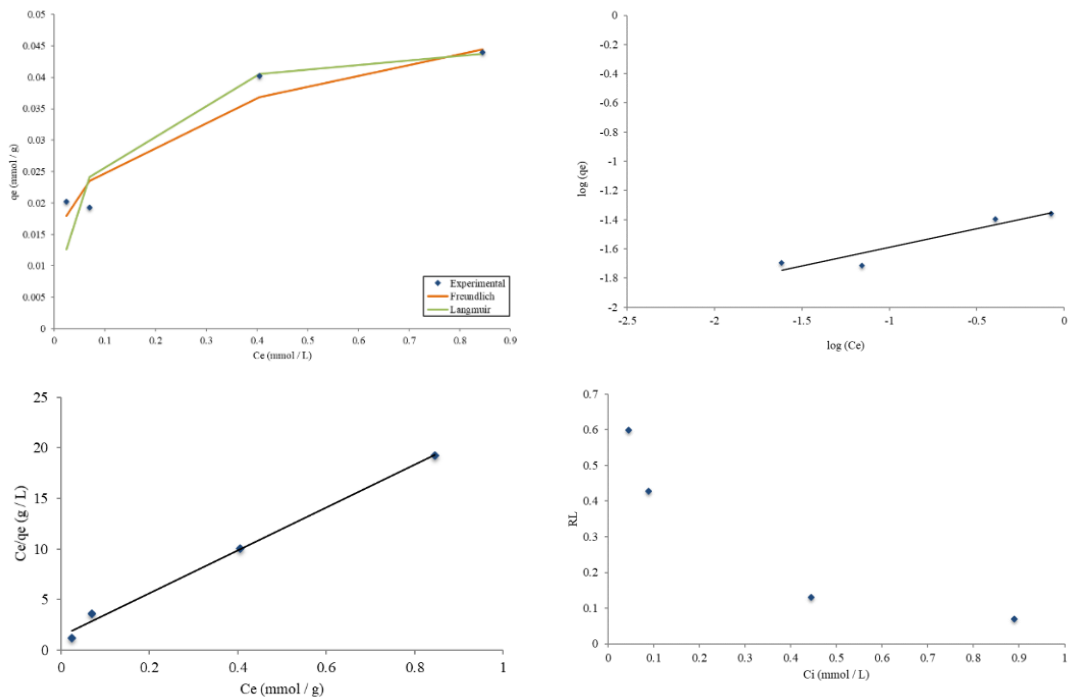
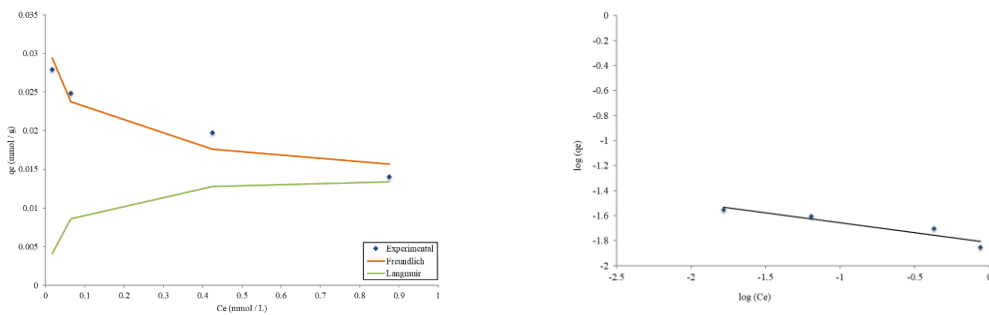


Figura 33. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LP1 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1).



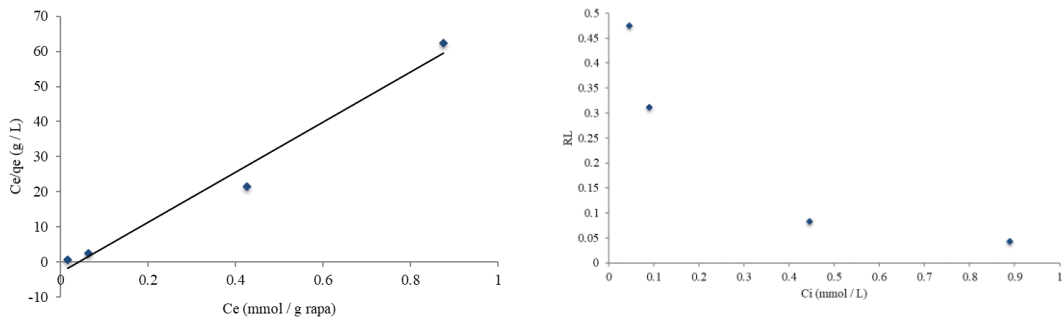


Figura 34. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TP1 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1).

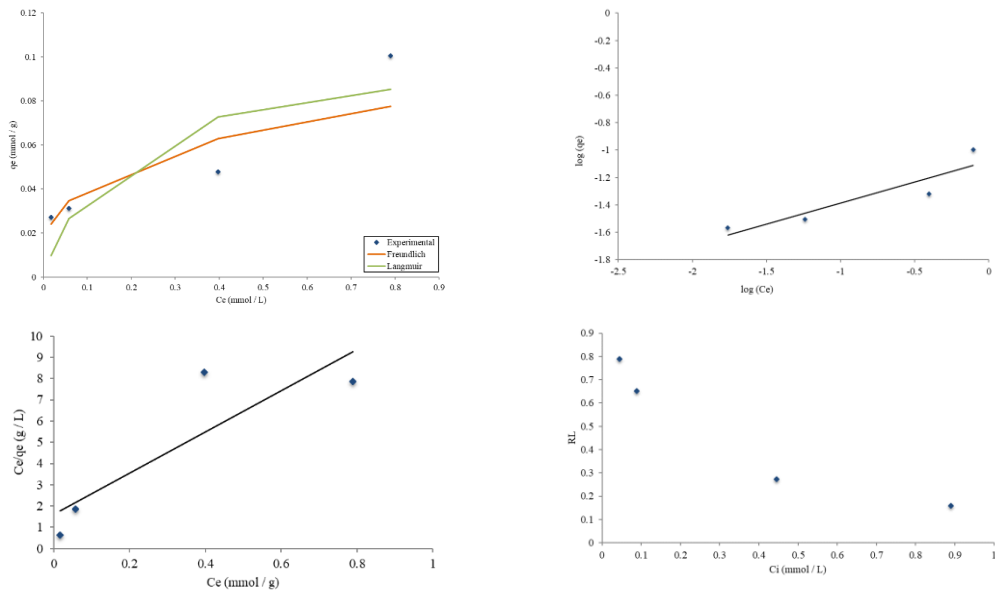
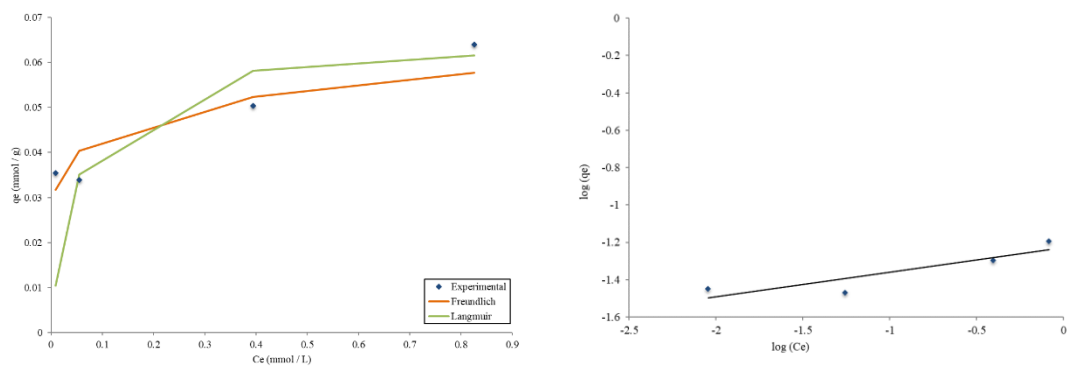


Figura 35. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LG2 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1.5).



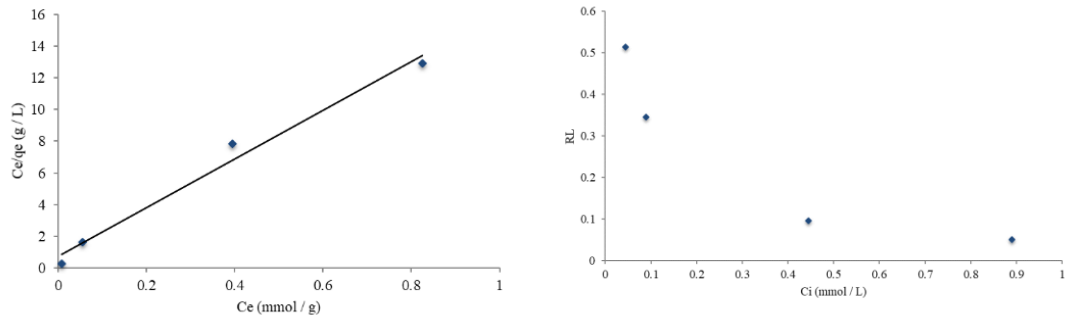


Figura 36. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TG2 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: granular; impregnación: 1/1.5).

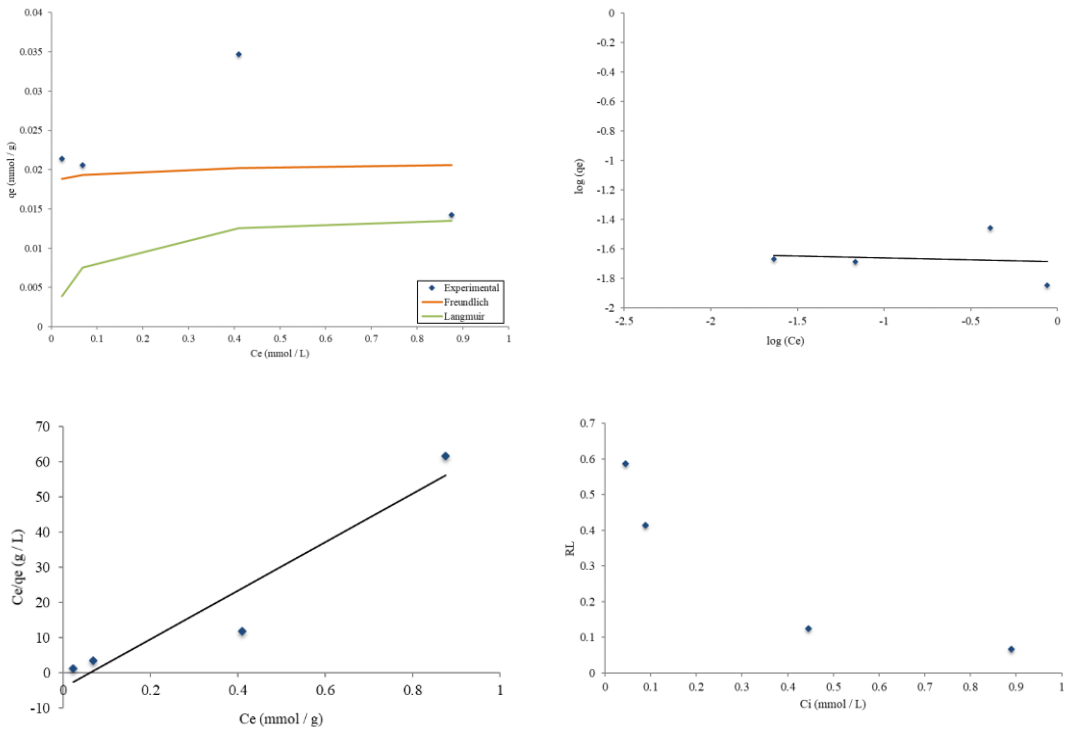
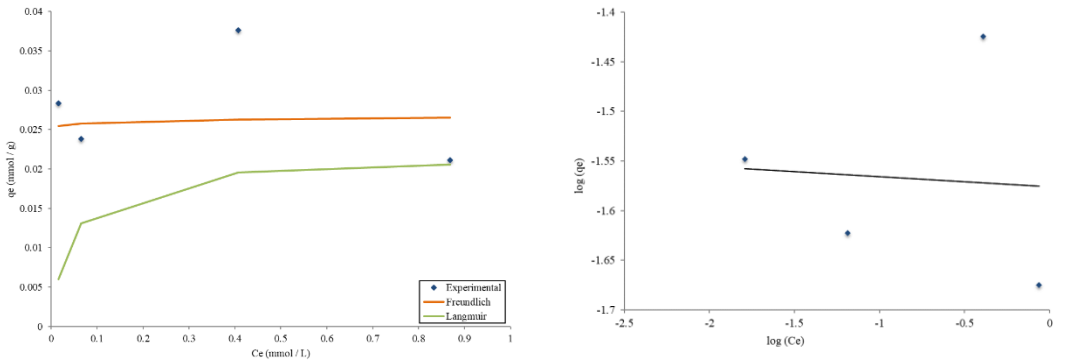


Figura 37. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo LP2 (Especie: Lupuna; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1.5).



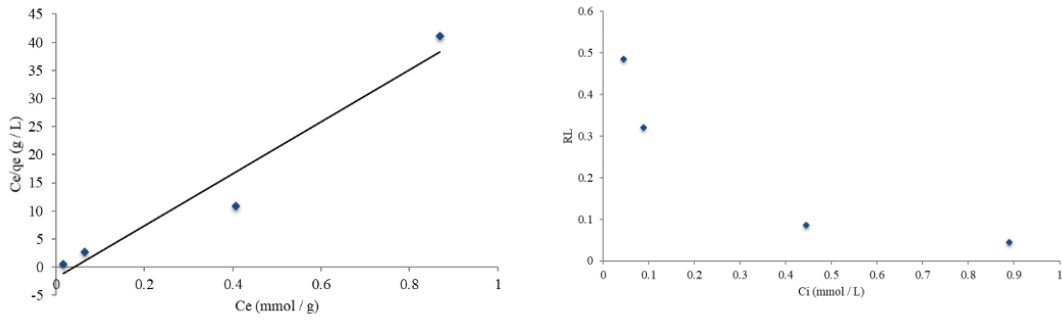


Figura 38. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado tipo TP2 (Especie: tornillo; tamaño de partícula: polvo; impregnación: 1/1.5).

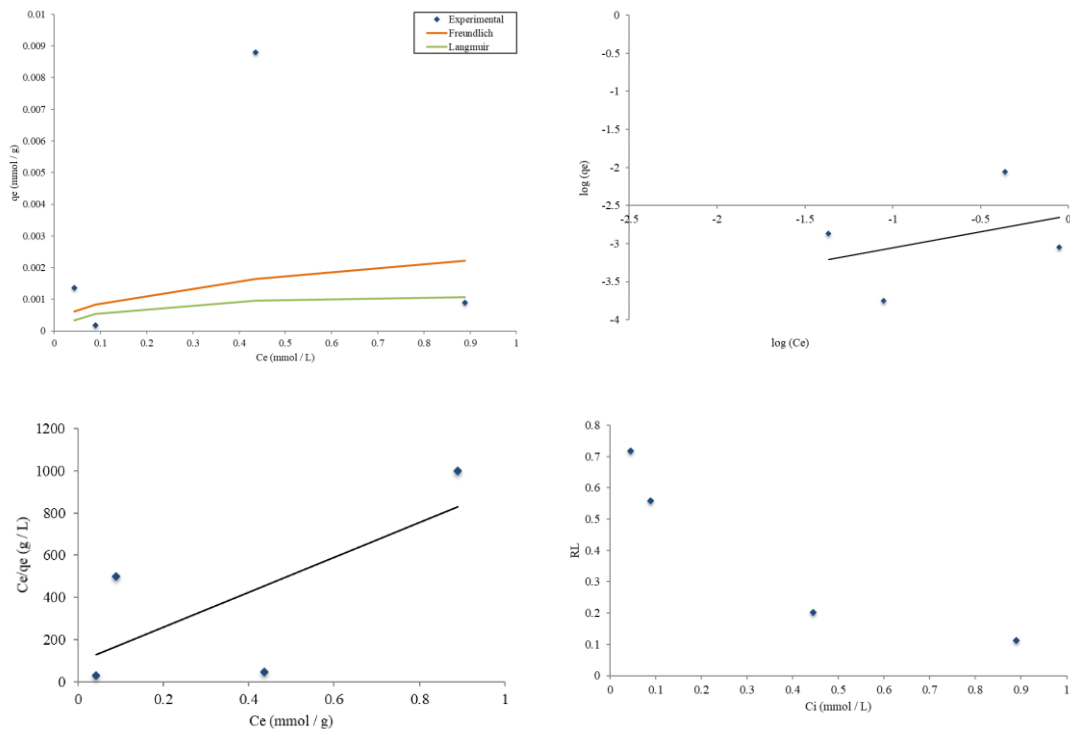


Figura 39. Isotherma de adsorción de cadmio Freundlich y Langmuir del carbón activado comercial CAI.

Anexo 9. Constancias de laboratorio



Facultad de Ingeniería de Procesos
Centro de Microscopía Electrónica

CONSTANCIA 005-2024 -CME

EL QUE SUSCRIBE EL DIRECTOR DEL CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN AGUSTÍN DE AREQUIPA.

HACE CONSTAR QUE:

LISBETH CARINA COAQUIRA HUACANI

Bachiller de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca se le ha prestado el servicio de caracterización de las muestras de Carbón Activado con el Microscopio Electrónico de Barrido para el proyecto de Investigación de Tesis "DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL AGUA CON CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE BIOMASA RESIDUAL DE ESPECIES FORESTALES LUPUNA (CHORSIA INTEGRIFOLIA ULBR) Y TORNILLO (CEDRELINGA CATENIFORMIS)" en la fecha de 14 de diciembre del 2023.

Se expide la presente constancia para los fines que estime conveniente el mismo que consta en los archivos de esta dependencia en caso de ser necesario.

Arequipa, 31 de Enero de 2024



ING. EDWIN URDAY URDAY

DIRECTOR

CENTRO DE MICROSCOPIA ELECTRÓNICA

LHT.-

ARCHIVO.-

CONSTANCIA

EL QUE SUSCRIBE, LABORATORISTA DE LA ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL Y FORESTAL DE LA UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA.

HACE CONSTAR QUE LA:

Bach. LISBETH CARINA COAQUIRA HUACANI

Egresada de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal de la Universidad Nacional de Juliaca, hizo uso de los Laboratorios y Talleres de la Escuela Profesional de Ingeniería Ambiental y Forestal para la ejecución de su proyecto de investigación de Tesis "DETERMINACIÓN DE LA EFICIENCIA DE REMOCIÓN DE PLOMO Y CADMIO EN EL AGUA CON CARBÓN ACTIVADO OBTENIDO DE BIOMASA RESIDUAL DE ESPECIES FORESTALES LUPUNA (*Chorisia integrifolia* Ulbr) Y TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis*), en el periodo de octubre de 2023 a mayo de 2024.

Se expide la presente constancia, a solicitud de la interesada, para los fines que crea conveniente.

Juliaca, 05 de Junio de 2024.



Maribel Jara Mamani
ING. AMBIENTAL Y FORESTAL
CIP. 307974

LABORATORISTA
E. P. Ingeniería Ambiental y
Forestal

Anexo 10. Panel fotográfico



Figura 40. Limpieza de los equipos antes de obtener la materia prima.



Figura 41. Obtención de la materia prima.



Figura 42. Clasificación del tamaño de partícula granular.



Figura 43. Clasificación del tamaño de partícula polvo.



Figura 44. Limpieza de la materia prima.

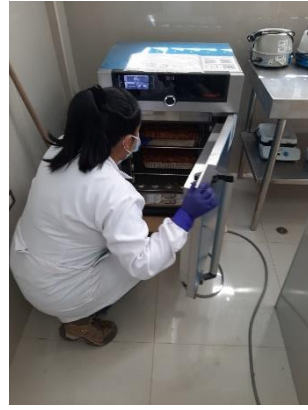


Figura 45. Deshidratación de materia prima.



Figura 46. Impregnación de la materia prima.



Figura 47. Carbón activado Comercial

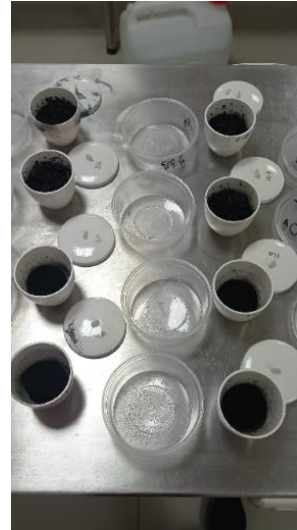


Figura 48. Calcinación de la materia prima.

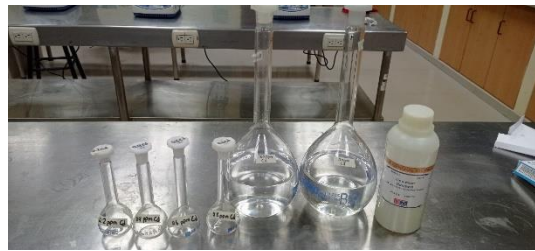
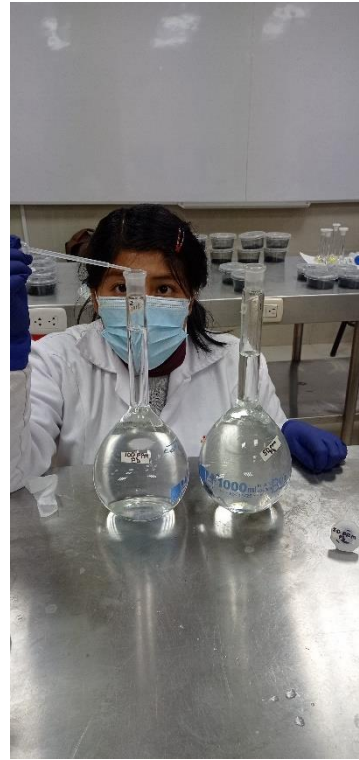
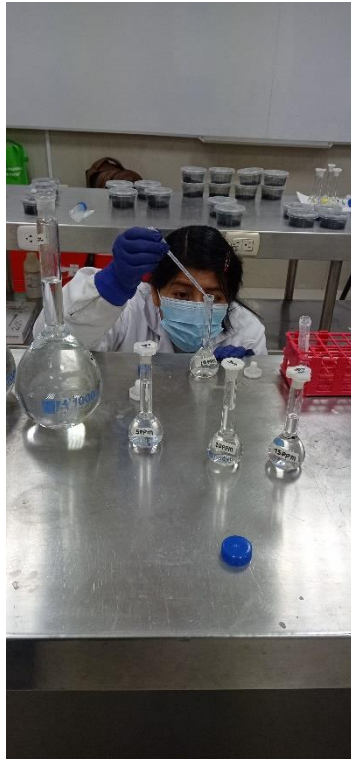


Figura 49. Preparación del agua sintética de plomo y cadmio.

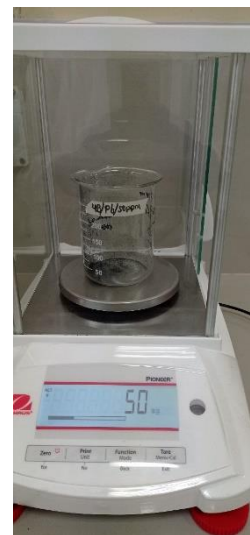


Figura 50. Pesado del adsorbente (tipos de carbón activado).

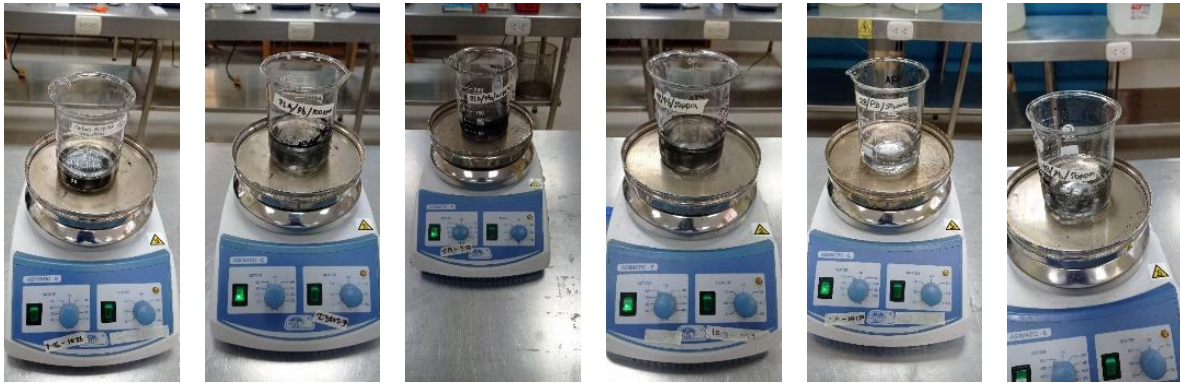
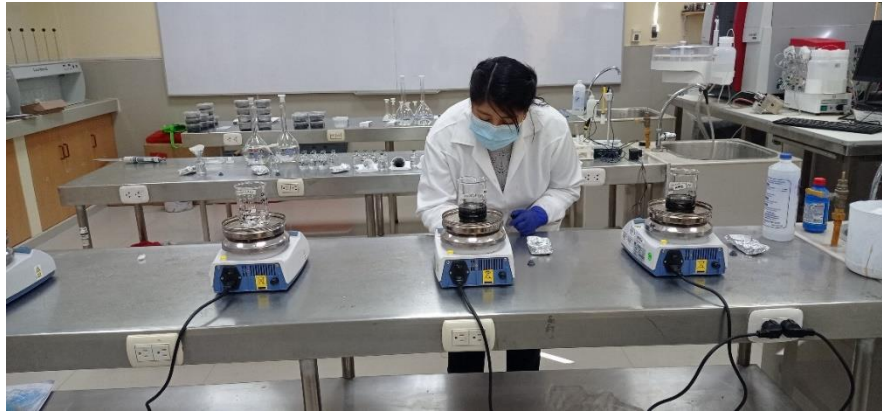


Figura 51. Agitación de las muestras.



Figura 52. Filtrado de las muestras.

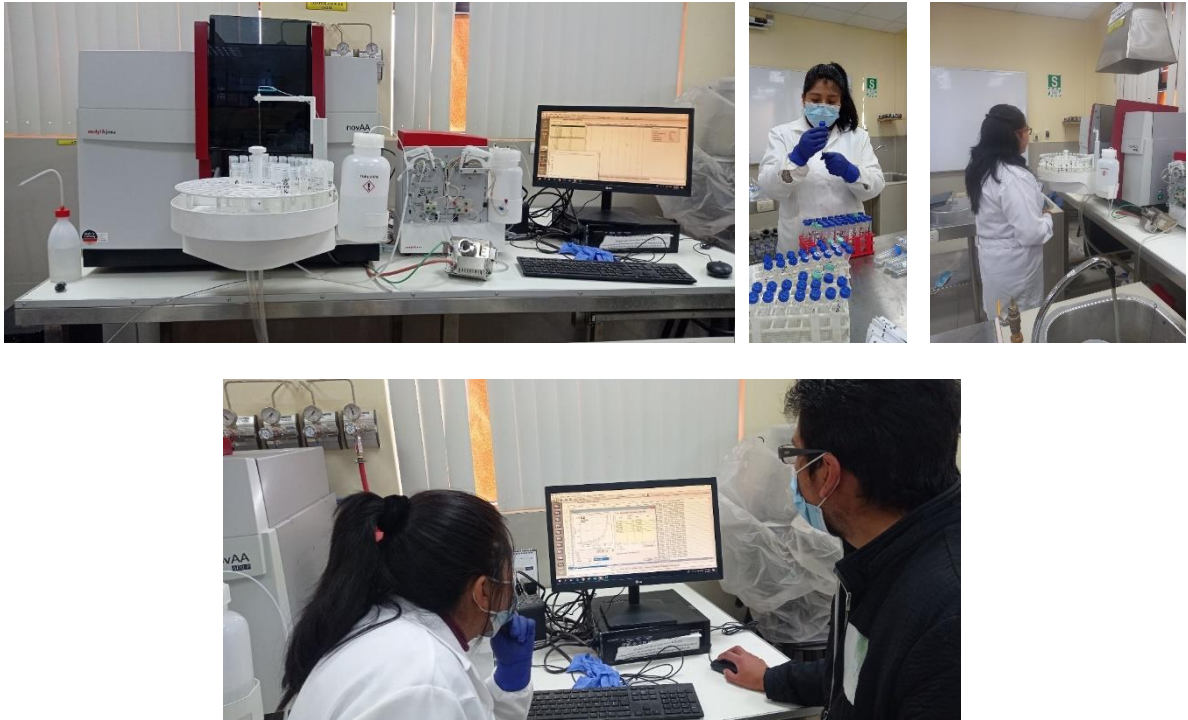
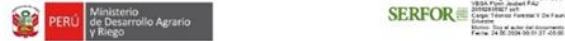


Figura 53. Análisis por Espectrometría de Adsorción Atómica.

Anexo 11. Informe N° D000037-2024-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-PUNO-FCV



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
 "Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Puno, 24 de Mayo del 2024

INFORME N° D000037-2024-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS-PUNO-FCV

Para : GROVER IDME HAÑARI
 ADMINISTRADOR TECNICO FFS (E)
 ATFFS - PUNO

Asunto : Atención a solicitud de acceso a la información pública - Solicitud 005-Puno

Referencia : PROVEIDO D001201-2024-MIDAGRI-SERFOR-ATFFS
 (23Mayo2024)

Me dirijo a usted, en relación al asunto descrito.

Al respecto, informo a su despacho lo siguiente:

I. OBJETIVOS

- 1.1. Brindar la información solicitada mediante Memorando N° D000277-2024-MIDAGRI-SERFOR-GG-AIP

II. ANTECEDENTES

- 2.1. Durante las protestas sociales ocurridas a finales del año 2022 e inicios del 2023, los manifestantes ingresaron a los ambientes de la Sede Macusani – San Gaban, quemando todo el acervo documentario, perdiendo en el la información en físico de las guías de transporte forestal registradas, anteriores a la implementación del MODULO DE CONTROL SNIFF.

III. ANÁLISIS

- 3.1. El detalle de las especies forestales maderables y volúmenes de madera por especie, que ingresaron al departamento de Puno y cuyo destino final para comercialización fue la ciudad de Juliaca de los años 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023.

- Año 2019:

No se tiene registro de información en la plataforma SNIFF

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
 Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
 T. (511) 225-9005
 www.gob.pe/serfor
 www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 004-2014-PCM, su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: URL: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
 "Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

- Año 2020:

Cuadro N° 1

N°	ESPECIE FORESTAL		JULIACA
	Nombre común	Nombre Científico	
1	Copaiba	<i>Copaifera paupera (Herzog) Dwyer</i>	30.392
2	Lupuna	<i>Ceiba pentandra (L.) Gaertn.</i>	15.558
3	Misa	<i>Cariniana domestica (Mart.) Miers</i>	2.278
TOTAL (m³)			48.228

- Año 2021:

Cuadro N° 2

N°	ESPECIE FORESTAL		JULIACA
	Nombre común	Nombre Científico	
1	Achihua	<i>Huberodendron swietenoides (Gleason) Ducke</i>	64.04
2	Achihua	<i>Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don</i>	250.799
3	Aklon	<i>Sibanea guianensis (Aubl.) Benth</i>	78.492
4	Almendrillo	<i>Caryocar amygdaliforme Ruz & Pav. ex G. Don</i>	7.075
5	Ana Caspi	<i>Apuleia leiocarpa (Vogel) J.F. Macbr.</i>	14.094
6	Azúcar Huayo	<i>Hymenaea oblongifolia Huber</i>	7.052
7	Cachimbo	<i>Ailantoma decandra (Ducke) S.A. Mont. Ya Y Huang & Franco</i>	6.342
8	Caimito	<i>Pouteria caimito (Ruz & Pav.) Radlk.</i>	42.744
9	Caimito	<i>Couma macrocarpa Barb. Rodr.</i>	5.661
10	Caraña	<i>Dacryodes peruviana (Loes.) H.J. Lam</i>	1.785
11	Caraña	<i>Trattinnickia aspera (Standl.) Swart</i>	30.195
12	Caraña	<i>Trattinnickia peruviana Loes.</i>	137.967
13	Catahua	<i>Hura crepitans L.</i>	15.146
14	Catuaba	<i>Dialium guianense (Aubl.) Sandwith</i>	4.002
15	Catuaba	<i>Erisma uncinatum Warm.</i>	28.375
16	Catuaba	<i>Erythroxylum catuaba</i>	28.583
17	Catuaba	<i>Vorchisia sp.</i>	1.271
18	Catuaba Negra	<i>Vitex excolosa Moklanke</i>	2.651
19	Caucho	<i>Hevea guianensis Aubl.</i>	2.04
20	Copaiba	<i>Copaifera officinalis (Jacq.) L.</i>	24.541
21	Copaiba	<i>Copaifera paupera (Herzog) Dwyer</i>	78.338
22	Copaiba	<i>Copaifera reticulata Ducke</i>	46.618
23	Cumala	<i>Iryanthera grandis Ducke</i>	3.344
24	Cumala	<i>Virola calophylla (Spruce) Warb.</i>	6.068

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
 Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
 T. (511) 225-9005
 www.gob.pe/serfor
 www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 004-2014-PCM, su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: URL: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

25	Cumala	<i>Vicia sobifera</i> Aubl.	17
26	Cumala Negra	<i>Vicia mollissima</i> (Poepp. ex A. DC.) Warb.	3.382
27	Fariña seca	<i>Ceñis schippii</i> Standl.	1.682
28	Goma	<i>Sapium glandulosum</i> (L.) Morong	2.778
29	Guacamayo caspi	<i>Smilax rubescens</i> (Benth.) Brenek. ex Steyerl.	63.645
30	Huayruro	<i>Ormosia amazonica</i> Ducke	1.875
31	Humba	<i>Ceiba kupuna</i> P.E. Gibbs & Semir	50.634
32	Humba	<i>Ceiba samauma</i> (Mart.) K. Schum.	151.542
33	Inca paca	<i>Inga feuillei</i> DC	4.717
34	Inca paca	<i>Inga pezzifera</i> Benth.	9.389
35	Inca paca	<i>Tachigali chrysaloides</i> van der Werff	3.012
36	Inca paca	<i>Tachigali poeppigiana</i>	34.385
37	Inca paca	<i>Tachigali polyphylla</i> Poepp. & Endl.	2.771
38	Inca paca	<i>Tachigali vasquezii</i> Pipoly	20.76
39	Inca paca	<i>Vismia baccifera</i> (L.) Triana & Planch.	1.625
40	Ispingo	<i>Amburana cearensis</i> (Alemão) A.C. Sm.	21.587
41	Isigo	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	7.963
42	Isigo	<i>Trattinnickia glazovii</i> Swart	5.5
43	Isigo	<i>Trattinnickia rhoifolia</i> Willd.	0.821
44	Lagarlo Caspi	<i>Cakophyllum brasiliense</i> Cambess.	4.481
45	Limoncillo	<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl	2.274
46	Limoncillo	<i>Zanthoxylum juniperinum</i> Poepp.	12.362
47	Limoncillo	<i>Zanthoxylum niedelianum</i> Engl.	3.523
48	Lupuna	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	960.605
49	Manchinga	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	96.636
50	Manchinga	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	7.099
51	Marañón, Marañón Del Monte	<i>Uncropis matthewsi</i> (Benth.) R.E. Fr.	4.009
52	Marupa	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	3.427
53	Mashonaste	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	33.551
54	Misa	<i>Carrizano domestica</i> (Mart.) Miers	572.708
55	Misa	<i>Carrizano estrofenensis</i> (Radcl.) Kuntze	126.955
56	Misa	<i>Couratari macrospoma</i> A.C. Sm.	380.397
57	Misa	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	610.551
58	Misa	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	14.035
59	Moena	<i>Aniba guianensis</i> Aubl.	14.857
60	Moena	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	36.104
61	Moena	<i>Ocotea bofo</i> Kunth	2.32
62	Moena	<i>Nectandra capanahuensis</i> O.C. Schmidt	3.955
63	Moena	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees & Mart.	3.75
64	Moena	<i>Nectandra reticulata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	4.466

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

65	Moena	<i>Persea caerulea</i> (Ruiz & Pav.) Mez	2.899
66	Moena	<i>Ocotea longifolia</i> Kunth	7.625
67	Moena	<i>Ocotea oblonga</i> (Meisn.) Mez	13.903
68	Moena	<i>Ocotea obovata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	0.903
69	Renaco	<i>Ficus insipida</i> Willd.	11.937
70	Renaco	<i>Ficus schultesii</i> Dugand	12.122
71	Paísangre	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	6.733
72	Palo Bastón	<i>Crepidospermum goudotianum</i> (Tul.) Triana & Planch.	24.888
73	Palo bastón	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	15.306
74	Palo santo	<i>Tachigali salfifera</i> (Ducke) Zanucchi & Herend	5.538
75	Palla moena	<i>Beltschmiedia costaricensis</i> (Mez & Pittler) C.K. Allen	5.477
76	Palla moena	<i>Beltschmiedia tovarensis</i>	3.425
77	Pashaco	<i>Macrobium saccifolium</i> (Benth.) Benth.	70.12
78	Pashaco	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	39.684
79	Pashaco	<i>Parkia nitida</i> Miq.	51.446
80	Pashaco	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	132.169
81	Pashaco	<i>Schizolobium amazonicum</i> Huber ex Ducke	250.089
82	Pashaco	<i>Senegalia tenuifolia</i> (L.) Britton & Rose	1.394
83	Pashaco	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	1.75
84	Pashaco	<i>Albizia niopodes</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	8.288
85	Pashaco	<i>Albizia subdimidiata</i> (Spilg.) Barnaby & J.W. Grimes	1.363
86	Quillobordón	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC.	50.566
87	Quinilla	<i>Manihara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	31.205
88	Renaco	<i>Ficus pertusa</i> L. f.	31.532
89	Renaco	<i>Ficus trigona</i> L. f.	12.47
90	Requia	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	2.05
91	Requia	<i>Guarea glabra</i> Vahl	2.87
92	Requia Colorado	<i>Vriola peruviana</i> (A. DC.) Warb.	2.429
93	Sepote	<i>Capparis scabrida</i> Kunth	12.052
94	Sepote	<i>Matisia cordata</i> Bonpl.	470.56
95	Sapote	<i>Pterygota amazonica</i> L.O. Williams ex Dorr	86.199
96	Sapote	<i>Storculia apetala</i> (Jacq.) H. Karst.	31.923
97	Pashaco	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	2.976
98	Tornillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i> (Ducke) Ducke	317.604
99	Yacushapana	<i>Buchenavia grandis</i> Ducke	2.134
100	Yacushapana	<i>Terminalia oblonga</i> (Ruiz & Pav.) Steud.	3.205
TOTAL (m²)			5917.19

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://sgd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



- Año 2022:

Cuadro N° 3

N°	ESPECIE FORESTAL		JULIACA
	Nombre común	Nombre Científico	Volumen (m3)
1	Achihua	<i>Huberodendron swietenoides</i> (Gleason) Ducke	193.631
2	Achihua	<i>Jacaranda copaia</i> (Aubl.) D. Don	1295.1
3	Ajo Ajo	<i>Cordia alliodora</i> (Ruiz & Pav.) Oken	3.557
4	Aleton	<i>Sloanea brachysepala</i> Ducke	15.333
5	Aleton	<i>Sloanea guianensis</i> (Aubl.) Benth.	406.702
6	Almendrillo	<i>Caryocar amygdaliforme</i> Ruiz & Pav. ex G. Don	68.493
7	Almendro, almenrillo	<i>Caryocar tessmannii</i> Pilg.	15.017
8	Ana Caspi	<i>Apuleia leocarpa</i> (Vogel) J.F. Macbr.	97.706
9	Anonillo	<i>Annona jucunda</i> (Diels) H. Rainer	3.675
10	Azúcar Huayo	<i>Hymenaea courbaril</i> L.	2.347
11	Azúcar Huayo	<i>Hymenaea oblongifolia</i> Huber	8.16
12	Caimito	<i>Micropholis egensis</i> (A. DC.) Pierre	6.434
13	Caimito	<i>Pouteria caimito</i> (Ruiz & Pav.) Radlk.	98.484
14	Caimito	<i>Pouteria neglecta</i>	5.665
15	Caimito	<i>Couma macrocarpa</i> Barb. Rodr.	11.556
16	Capirona	<i>Calycoptylum spruceanum</i> (Benth.) Hook. f. ex K. Schum	7.569
17	Capirona	<i>Capirona decorticans</i> Spruce	1.208
18	Carahuasca	<i>Guatteria elata</i> R.E. Fr.	1.769
19	Inca pacae	<i>Bursera graveolans</i> (Kunth) Triana & Planch.	8.726
20	Caraña	<i>Dacryodes peruviana</i> (Loes.) H.J. Lam	20.167
21	Caraña	<i>Tetragastris panamensis</i> (Engl.) Kuntze	29.477
22	Caraña	<i>Trattinnickia aspera</i> (Standl.) Swart	95.989
23	Caraña	<i>Trattinnickia peruviana</i> Loos	147.477
24	Catahua	<i>Hura crepitans</i> L.	112.628
25	Catuaba	<i>Dialium guianense</i> (Aubl.) Sandwith	16.633
26	Catuaba	<i>Erisma uncinatum</i> Warm.	111.427
27	Catuaba	<i>Erythroxylum catuaba</i>	54.4
28	Catuaba	<i>Erythroxylum reticulatum</i> Nottf.	1.351
29	Catuaba	<i>Qualea paraensis</i> Ducke	39.513
30	Catuaba	<i>Qualea tessmannii</i> Mikbr.	4.116
31	Catuaba Negra	<i>Vitex excelsa</i> Moldenke	2.382

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Oromonte, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://gd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



32	Caucho	<i>Hevea guianensis Aubl</i>	5.542
33	Copaiba	<i>Copaifera officinalis</i> (Jacq.) L.	100.562
34	Copaiba	<i>Copaifera paupera</i> (Herzog) Dwyer	431.92
35	Copaiba	<i>Copaifera reticulata</i> Ducke	822.223
36	Cumala	<i>Iryanthera grandis</i> Ducke	6.91
37	Cumala	<i>Iryanthera hostmannii</i> (Benth.) Warb	1.972
38	Cumala	<i>Iryanthera juruensis</i> Warb.	20.976
39	Cumala	<i>Iryanthera lancifolia</i> Ducke	17.821
40	Cumala	<i>Iryanthera paraensis</i> Huber	16.13
41	Cumala	<i>Virola calophylla</i> (Spruce) Warb.	6.368
42	Cumala	<i>Virola pavonis</i> (A. DC.) A.C. Sm.	37.018
43	Cumala	<i>Virola sebifera</i> Aubl.	147.643
44	Cumala	<i>Virola lorentensis</i> A.C. Sm.	9.337
45	Cumala	<i>Virola surinamensis</i> (Rol. ex Roth.) Warb.	5.125
46	Fañña seca	<i>Callis schippii</i> Standl.	2.108
47	Guacamayo caspi	<i>Simira rubescens</i> (Benth.) Bremek. ex Steyerf.	342.032
48	Guacamayo caspi	<i>Barnabydendron riedeli</i>	1.172
49	Guacamayo caspi	<i>Sickingia tinctoria</i>	3.785
50	Huayuro	<i>Ormosia amazonica</i> Ducke	5.531
51	Huayuro	<i>Ormosia coccinea</i> (Aubl.) Jacks.	3.002
52	Huimba	<i>Ceiba lupuna</i> P.E. Gibbs & Semir	448.663
53	Huimba	<i>Ceiba samauma</i> (Mart.) K. Schum.	620.734
54	Inca pacae	<i>Inga peozifera</i> Benth.	40.894
55	Inca pacae	<i>Tachigai chrysaloides</i> van der Werff	11.927
56	Inca pacae	<i>Tachigai poeppigiana</i>	17.407
57	Inca pacae	<i>Tachigai polyphylla</i> Poapp. & Endl.	2.34
58	Inca pacae	<i>Tachigai vasquezii</i> Pipoly	71.679
59	Inca pacae	<i>Vismia amazonica</i> Ewan	5.759
60	Inca pacay	<i>Vismia bacifera</i> (L.) Triana & Planch.	4.191
61	Ishpingo	<i>Amburana cearensis</i> (Allemão) A.C. Sm.	111.414
62	Ishpinguillo	<i>Ocotea jelskii</i> Mez	4.877
63	Itahuba	<i>Mezlasurus itahuba</i> (Meisn.) Taub. ex Mez	5.754
64	Isigo	<i>Tetragastris altissima</i> (Aubl.) Swart	24.365
65	Isigo	<i>Trattinnickia glaziovii</i> Swart	0.608
66	Lagarto Caspi	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	9.408
67	Limoncillo	<i>Pterocarpus rohrii</i> Vahl	3.39

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Oromonte, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 25 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://gd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
 "Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

68	Limoncillo	<i>Zanthoxylum juniperinum</i> Poepp.	28.551
69	Limoncillo	<i>Ximenia americana</i> L.	8.825
70	Lupuna	<i>Coiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	6289.777
71	Lupuna	<i>Coiba insignis</i> (Kunth) P.E. Gibbs & Semir	48.953
72	Lupuna	<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr.	20.252
73	Lupuna	<i>Pseudobombax septenatum</i> (Jacq.) Dugand	19.458
74	Machinga	<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Berg	62.119
75	Machinga	<i>Brosimum alicastrum</i> Sw.	135.958
76	Machinga	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	50.455
77	Marupa	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	12.757
78	Mashonaste	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	257.412
79	Misa	<i>Cariniana domestica</i> (Mart.) Miers	2447.19
80	Misa	<i>Cariniana estroliensis</i> (Radlk.) Kurtze	118.587
81	Misa	<i>Couratari domestica</i> Mart.	12.229
82	Misa	<i>Couratari macrosperma</i> A.C. Sm.	1831.117
83	Misa	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	2339.244
84	Moena	<i>Nectandra discolor</i> (Kunth) Nees	6.314
85	Misa	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	171.788
86	Moena	<i>Aniba canella</i> (Kunth) Mez	2.363
87	Moena	<i>Aniba guianensis</i> Aubl.	53.673
88	Moena	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	104.361
89	Moena	<i>Ocotea bofo</i> Kunth	4.132
90	Moena	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees & Mart.	68.535
91	Moena	<i>Nectandra reticulata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	14.276
92	Moena	<i>Ocotea acphylla</i> (Nees & Mart.) Mez	1.429
93	Moena	<i>Ocotea asyrophylla</i> Ducke	3.667
94	Moena	<i>Nectandra ossiflora</i> Nees	4.257
95	Moena	<i>Porsea caerulea</i> (Ruiz & Pav.) Mez	3.368
96	Moena	<i>Ocotea longifolia</i> Kunth	21.441
97	Moena	<i>Ocotea oblonga</i> (Meisn.) Mez	51.591
98	Moena	<i>Ocotea obovata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	1.153
99	Moena	<i>Cinnamomum triplinerve</i> (Ruiz & Pav.) Kosterm.	1.255
100	Renaco	<i>Ficus insipida</i> Willd.	29.224
101	Renaco	<i>Ficus schultesii</i> Dugand	19.347
102	Palo Bastón	<i>Crepidospermum goudotianum</i> (Tul.) Triana & Planch.	36.858
103	Palo bastón	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	6.889

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
 Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
 T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 1305-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://igd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
 "Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

104	Palo santo	<i>Tachigai setifera</i> (Ducke) Zarucchi & Herend	2.672
105	Palta moena	<i>Beilschmiedia costaricensis</i> (Mez & Pittier) C.K. Allen	12.101
106	Palta moena	<i>Beilschmiedia latifolia</i> (Nees) Sach. Nishida	1.462
107	Palta moena	<i>Beilschmiedia tovaransis</i>	2.014
108	Pashaco	<i>Acacia kuhlmannii</i> Ducke	18.398
109	Pashaco	<i>Machaerium inurdatum</i> (Mart. ex Benth.) Ducke	0.868
110	Pashaco	<i>Macrobbium acacifolium</i> (Benth.) Benth.	192.063
111	Pashaco	<i>Parkia multijuga</i> Benth.	324.941
112	Pashaco	<i>Parkia nitida</i> Miq.	537.034
113	Pashaco	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	153.562
114	Pashaco	<i>Schizolobium amazoreum</i> Huber ex Ducke	1199.516
115	Pashaco	<i>Schizolobium parahyba</i> (Vell.) S.F. Blake	24.083
116	Pashaco	<i>Senegalia lorentensis</i> (J.F. Macbr.) Seigler & Ebinger	18.449
117	Pashaco	<i>Senegalia tenuifolia</i> (L.) Bratton & Rose	10.783
118	Pashaco	<i>Enteolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	51.358
119	Pashaco	<i>Albizia niopoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	2.245
120	Pashaco	<i>Pseudoptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W. Grimes	20.315
121	Pumaquiro	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	2.719
122	Quillobordón	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC.	223.008
123	Quillobordón	<i>Aspidosperma schultesii</i> Woodson	8.885
124	Quinilla	<i>Manikara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	57.493
125	Quinilla	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	149.878
126		<i>Ficus gonelleira</i> Kunth & C.D. Bouché	2.304
127	Renaco	<i>Ficus guianensis</i> Desv. ex Ham.	12.042
128	Renaco	<i>Ficus pertusa</i> L. f.	41.015
129		<i>Ficus trigona</i> L. f.	6.75
130	Requia	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.	11.41
131	Requia	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	0.689
132	Requia	<i>Guarea glabra</i> Vahl	2.137
133	Requia	<i>Guarea trichiloides</i> L.	1.087
134	Sapote	<i>Capparis scabrida</i> Kunth	8.677
135	Sapote	<i>Matisia bicolor</i> Ducke	48.798
136	Sapote	<i>Matisia cordata</i> Bonpl.	2045.533
137	Sapote	<i>Pterygota amazonica</i> L.O. Williams ex Dorr	347.027
138	Sapote	<i>Sterculia apetala</i> (Jacq.) H. Karst.	97.463
139	Shimbillo colorado	<i>Inga alba</i> (Sw.) Willd.	2.755

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
 Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
 T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 1305-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://igd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

140	Tomillo	<i>Cedrelina catarinensis (Ducke) Ducke</i>	900.317
141	Ubos	<i>Spondias mombin L.</i>	7.047
142	Uvilla	<i>Pourouma cecropifolia Mart.</i>	1.462
143	Yacushapana	<i>Terminalia oblonga (Ruiz & Pav.) Steud.</i>	11.526
144	Yacushapana	<i>Terminalia amazonia (J.F. Gmel.) Exell</i>	4.026
145	Yutubanco	<i>Drypetes amazonica var. peruviana J.F. Macbr.</i>	0.425
TOTAL (m ³)			27113

• Año 2023:

Cuadro N° 4

N°	ESPECIE FORESTAL		JULIACA
	Nombre común	Nombre Científico	
1	Achihua	<i>Huberodendron swietenoides (Gleason) Ducke</i>	339.977
2	Achihua	<i>Jacaranda copaia (Aubl.) D. Don</i>	1380.729
3	Ajo Ajo	<i>Cordia alliodora (Ruiz & Pav.) Oken</i>	8.613
4	Aleton	<i>Sloanea guianensis (Aubl.) Benth.</i>	300.581
5	Almendrillo	<i>Glycydendron amazonicum Ducke</i>	5.785
6	Almendrillo	<i>Protium punctulatum J.F. Macbr.</i>	2.854
7	Almendrillo	<i>Caryocar amygdaliforme Ruiz & Pav. ex G. Don</i>	37.532
8	Almendro, almendrillo	<i>Caryocar tessmannii Pilg.</i>	17.107
9	Ana Caspi	<i>Apuleia leucocarpa (Vogel) J.F. Macbr.</i>	133.565
10	Azuñar Huayo	<i>Hymenaea oblongifolia Huber</i>	78.433
11	Cachimbo	<i>Carniera decandra Ducke</i>	10.097
12	Caimillo	<i>Pouteria bilocularis (H.J.P. Winkl.) Baehni</i>	2.526
13	Caimito	<i>Pouteria caimito (Ruiz & Pav.) Radlk.</i>	66.721
14	Caimito	<i>Pouteria neglecta</i>	16.303
15	Caimito	<i>Couma macrocarpa Barb. Rodr.</i>	13.968
16	Palo santo	<i>Bursera graveolens (Kunth) Triana & Planch.</i>	13.283
17	Caraña	<i>Trattinnickia aspera (Standl.) Swart</i>	182.452
18	Caraña	<i>Trattinnickia peruviana Loes.</i>	188.538
19	Catahua	<i>Hura crepitans L.</i>	86.438
20	Palisangro	<i>Dialium guianense (Aubl.) Sandwith</i>	6.682
21	Catuaba	<i>Erisma uncinatum Warm.</i>	133.547
22	Catuaba	<i>Erythroxylum catuaba</i>	46.934
23	Catuaba	<i>Qualea paraensis Ducke</i>	0.756
24	Caucho	<i>Hevea brasiliensis (Willd. ex A. Juss.) Muill. Arg.</i>	1.226

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://gd1.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

25	Caucho	<i>Hevea guianensis Aubl.</i>	7.521
26	Cedro	<i>Cedrela odorata L.</i>	11.558
27	Copaiba	<i>Copaifera officinalis (Jacq.) L.</i>	66.508
28	Copaiba	<i>Copaifera paupera (Herzog) Dwyer</i>	612.049
29	Copaiba	<i>Copaifera reticulata Ducke</i>	270.105
30	Copal	<i>Protium tenuifolium (Engl.) Engl.</i>	1.974
31	Cumala	<i>Iryanthera grandis Ducke</i>	13.394
32	Cumala	<i>Iryanthera laevis Markgr.</i>	2.601
33	Cumala	<i>Iryanthera hostmannii (Benth.) Warb.</i>	3.665
34	Cumala	<i>Iryanthera juruensis Warb.</i>	3.255
35	Cumala	<i>Oloba glycyarpa (Ducke) W.A.Rodrigues & T.S.Jaram.</i>	6.226
36	Cumala	<i>Virola albidiflora Ducke</i>	12.064
37	Cumala	<i>Virola flexuosa A.C. Sm.</i>	3.945
38	Cumala	<i>Virola calophylla (Spruce) Warb.</i>	13.232
39	Cumala	<i>Virola pavonis (A. DC.) A.C. Sm.</i>	54.985
40	Cumala	<i>Virola sebifera Aubl.</i>	79.78
41	Estoraque	<i>Myroxylon balsamum (L.) Harms</i>	22.674
42	Goma goma	<i>Parka oppositifolia Spruce ex Benth.</i>	5.236
43	Guacamayo caspi	<i>Simira rubescens (Benth.) Bronek. ex Steyerl.</i>	213.919
44	Guacamayo caspi	<i>Bamebydendron riedelii</i>	10.097
45	Huacaycha	<i>Hiaronyma alchorneoides Allemão</i>	3.656
46	Huayuro	<i>Ormosia amazonica Ducke</i>	1.736
47	Huimba	<i>Caiba lupuna P.E. Gibbs & Sennr</i>	263.969
48	Huimba	<i>Caiba samauma (Mart.) K. Schum.</i>	565.926
49	Shimbillo colorado	<i>Inga pezzifera Benth.</i>	37.933
50	Inca pacae	<i>Tachigai chrysaloides van der Werff</i>	35.146
51	Inca pacae	<i>Tachigai paniculata Aubl.</i>	4.278
52	Inca pacae	<i>Tachigai poeppigiana</i>	79.268
53	Shimbillo colorado	<i>Inga sertulifera DC.</i>	5.35
54	Inca pacae	<i>Tachigai setifera (Ducke) Zarouchi & Herend</i>	1.212
55	Inca pacae	<i>Tachigai vasquezii Pipoly</i>	30.208
56	Inca pacae	<i>Vismia amazonica Ewan</i>	13.686
57	Inca pacae	<i>Tachigai amarumayo Huamantupa, H.C. Lima & D.B. O.S. Cardoso</i>	1.557
58	Ishpingo	<i>Amburana cearensis (Allemão) A.C. Sm.</i>	97.531
59	Ishpinguito	<i>Ocotea jelskii Mez</i>	7.087
60	Ithaba	<i>Mezilaurus itaba (Meisn.) Taub. ex Mez</i>	1.943
61	Isigo	<i>Tetragastris allissima (Aubl.) Swart</i>	24.335

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Orantía, Magdalena del Mar – Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://gd1.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

62	Ispingullo	<i>Hymenocobium pulcherrimum</i> Ducke	12.498
63	Lagarto Caspi	<i>Calophyllum brasiliense</i> Cambess.	19.126
64	Limoncillo	<i>Zanthoxylum junipenium</i> Poepp.	44.033
65	Limoncillo	<i>Ximena americana</i> L.	7.663
66	Limoncillo	<i>Zanthoxylum ellipticum</i> D.M. Porter	2.528
67	Lupuna	<i>Ceiba pentandra</i> (L.) Gaertn.	6031.973
68	Lupuna	<i>Ceiba insignis</i> (Kunth) P.E. Gibbs & Semir	486.337
69	Machinga	<i>Brosimum lactescens</i> (S. Moore) C.C. Berg	3.21
70	Manchinga	<i>Brosimum alcastrum</i> Sw.	207.978
71	Manchinga	<i>Brosimum guianense</i> (Aubl.) Huber	173.764
72	Marañón	<i>Anacardium occidentale</i> L.	10.785
73	Marupa	<i>Simarouba amara</i> Aubl.	14.145
74	Mashoneste	<i>Brosimum rubescens</i> Taub.	3.062
75	Mashoneste	<i>Clarisia racemosa</i> Ruiz & Pav.	354.858
76	Misa	<i>Carrizosa domestica</i> (Mart.) Miers	2794.254
77	Misa	<i>Carrizosa estrellensis</i> (Radcl) Kunze	210.883
78	Misa	<i>Couratari macrocarpa</i> A. C. Sm.	1747.188
79	Misa	<i>Couratari guianensis</i> Aubl.	3085.633
80	Moena	<i>Nectandra descocksii</i> (Kunth) Nees	40.896
81	Misa	<i>Eschweilera coriacea</i> (DC.) S.A. Mori	26.459
82	Moena	<i>Aniba guianensis</i> Aubl.	40.823
83	Moena	<i>Aniba panurensis</i> (Meisn.) Mez	73.669
84	Moena	<i>Ocotea bofo</i> Kunth	3.535
85	Moena	<i>Nectandra cuspidata</i> Nees & Mart.	48.516
86	Moena	<i>Nectandra pulverulenta</i> Nees	6.61
87	Moena	<i>Nectandra reticulata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	17.982
88	Moena	<i>Ocotea aciphylla</i> (Nees & Mart.) Mez	1.738
89	Moena	<i>Ocotea cornuta</i> (Nees) Mez	3.545
90	Moena	<i>Ocotea longifolia</i> Kunth	13.389
91	Moena	<i>Ocotea oblonga</i> (Meisn.) Mez	32.718
92	Moena	<i>Ocotea obovata</i> (Ruiz & Pav.) Mez	6.78
93	Nogal	<i>Juglans neotropica</i> Diels	2.134
94	Renaco	<i>Ficus schultesii</i> Dugand	10.075
95	Palo Bastón	<i>Crotophaga sulcirostris</i> (L.) Trinani & Planch.	35.104
96	Palo bastón	<i>Astronium graveolens</i> Jacq.	14.621
97	Palo santo Negro	<i>Tachigala schultesiana</i> Dwyer	2.382
98	Palta moena	<i>Beilschmiedia costaricensis</i> (Mez & Pittier) C.K. Allen	17.463

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Orantía, Magdalena del Mar - Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://gd1.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

99	Palta moena	<i>Beilschmiedia latifolia</i> (Nees) Sach. Nishida	1.182
100	Palta moena	<i>Beilschmiedia tovarensis</i>	3.448
101	Pashaco	<i>Acacia kuhlmannii</i> Ducke	15.233
102	Pashaco	<i>Machaenium inundatum</i> (Mart. ex Benth.) Ducke	3.561
103	Pashaco	<i>Parkia igniflora</i> Ducke	8.304
104	Pashaco	<i>Macrolobium acacifolium</i> (Benth.) Benth.	233.975
105	Pashaco	<i>Parkia multiguga</i> Benth.	194.578
106	Pashaco	<i>Parkia nitida</i> Miq.	265.234
107	Pashaco	<i>Parkia pendula</i> (Willd.) Benth. ex Walp.	149.767
108	Pashaco	<i>Schizobolium amazonicum</i> Huber ex Ducke	1044.759
109	Pashaco	<i>Schizobolium parahyba</i> (Vahl) S.F. Blake	34.42
110	Pashaco	<i>Senegalia lorentensis</i> (J.F. Macbr.) Seigler & Ebinger	1.297
111	Pashaco	<i>Senegalia tenuifolia</i> (L.) Britton & Rose	40.025
112	Pashaco	<i>Enterolobium schomburgkii</i> (Benth.) Benth.	13.967
113	Pashaco	<i>Albizia nepoides</i> (Spruce ex Benth.) Burkart	12.045
114	Pashaco	<i>Pseudopiptadenia suaveolens</i> (Miq.) J.W. Grimes	6.262
115	Pumaquiro	<i>Aspidosperma macrocarpon</i> Mart.	6.842
116	Quilobordón	<i>Aspidosperma vargasii</i> A. DC.	1.132
117	Quilobordón	<i>Aspidosperma parvifolium</i> A. DC.	226.061
118	Quilobordón	<i>Aspidosperma schultesii</i> Woodson	3.384
119	Quinilla	<i>Manikara bidentata</i> (A. DC.) A. Chev.	72.068
120	Quinilla	<i>Manikara inundata</i> (Ducke) Ducke	4.215
121	Quinilla	<i>Pouteria procera</i> (Mart.) K. Hammer	18.045
122	Quinilla	<i>Pouteria reticulata</i> (Engl.) Eyma	323.623
123	Renaco	<i>Ficus gomelleira</i> Kunth & C.D. Bouché	12.38
124	Renaco	<i>Ficus guianensis</i> Desv. ex Ham.	2.165
125	Renaco	<i>Ficus insipida</i> Willd.	31.071
126	Renaco	<i>Ficus pertusa</i> L. f.	71.45
127	Renaco	<i>Ficus trigona</i> L. f.	18.126
128	Requia	<i>Guarea guidonia</i> (L.) Sleumer	4.241
129	Requia	<i>Guarea kunthiana</i> A. Juss.	7.795
130	Requia	<i>Guarea macrophylla</i> Vahl	6.882
131	Requia	<i>Guarea pterorhachis</i> Harms	1.215
132	Requia	<i>Guarea trichiloides</i> L.	1.929
133	Requia	<i>Trichilia quadrifida</i> Kunth	1.219
134	Sangre de toro	<i>Machaenium acutifolium</i> Vogel	2.611
135	Sapote	<i>Quararibea asterolepis</i> Pittier	11.956

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Orantía, Magdalena del Mar - Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2010-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: <https://gd1.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

Nº	Localidad	Especie Forestal	Volumen (m3)
136	Sapote	<i>Capparis scabrata Kunth</i>	8.767
137	Sapote	<i>Matisia bicolor Ducke</i>	21.566
138	Sapote	<i>Matisia cordata Bonpl.</i>	1799.211
139	Sapote	<i>Pterygota amazonica L. O. Williams ex Dorr</i>	882.488
140	Sapote	<i>Sterculia apetala (Jacq.) H. Karst.</i>	27.072
141	Shimbillo colorado	<i>Inga alba (Sw.) Willd.</i>	5.741
142	Shihuahuaco	<i>Dipteryx micrantha Harms</i>	0.141
143	Tahuari	<i>Hemiroanthus serratifolius (Vahl) S. O. Groen.</i>	4.213
144	Tomillo	<i>Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke</i>	1930.708
145	Uvilla	<i>Pourouma minor Benoit</i>	0.309
146	Yacushapana	<i>Terminalia oblonga (Ruiz & Pav.) Steud.</i>	10.378
147	Yacushapana	<i>Terminalia amazonia (L.F. Gmel.) Exell</i>	8.886
148	Yutubanco	<i>Myrsine pellucida (Ruiz & Pav.) Spreng.</i>	2.613
149	Yemón prueba	<i>Clamarthus gentryana Delpreto.</i>	3.814
TOTAL (m³)			28834.986

3.2. El volumen de madera que ingreso al departamento de Puno y cuyo destino final para comercialización fue la ciudad de Juliaca, de las especies forestales maderables: LUPUNA (*Chorisia integrifolia* Ulbr) sinónimo botánico *Ceiba insignis*; y TORNILLO (*Cedrelinga cateniformis*), de los años 2019, 2020, 2021, 2022 y 2023.

- Año 2019:

No se tiene registro de información en la plataforma SNIFF

- Año 2020:

Cuadro N° 5

Nº	ESPECIE FORESTAL		JULIACA
	Nombre común	Nombre Científico	Volumen (m3)
1	Lupuna	<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr.	0
2	Lupuna	<i>Ceiba insignis</i> (Kunth) P.E. Gibbs & Semir	0
3	Tomillo	<i>Cedrelinga cateniformis</i>	0
TOTAL (m³)			0



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"
"Año del Bicentenario, de la consolidación de nuestra Independencia, y de la conmemoración de las heroicas batallas de Junín y Ayacucho"

- Año 2021:

Cuadro N° 6

Nº	ESPECIE FORESTAL		JULIACA
	Nombre común	Nombre Científico	Volumen (m3)
1	Lupuna	<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr.	0
2	Lupuna	<i>Ceiba insignis</i>	0
3	Tomillo	<i>Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke</i>	317.604

- Año 2022:

Cuadro N° 7

Nº	ESPECIE FORESTAL		JULIACA
	Nombre común	Nombre Científico	Volumen (m3)
1	Lupuna	<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr.	20.252
2	Lupuna	<i>Ceiba insignis (Kunth) P.E. Gibbs & Semir</i>	48.953
3	Tomillo	<i>Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke</i>	900.317

- Año 2023:

Cuadro N° 8

Nº	ESPECIE FORESTAL		JULIACA
	Nombre común	Nombre Científico	Volumen (m3)
1	Lupuna	<i>Chorisia integrifolia</i> Ulbr.	0
2	Lupuna	<i>Ceiba insignis (Kunth) P.E. Gibbs & Semir</i>	486.337
3	Tomillo	<i>Cedrelinga cateniformis (Ducke) Ducke</i>	1930.708

IV. CONCLUSIONES

- 4.1. Se brinda la información solicitada conforme a lo indicado.

V. RECOMENDACIONES

- 5.1. Derivar el presente informe al área de acceso a la información pública para los fines correspondientes.





Ministerio de Desarrollo Agrario y Riego



"Decenio de la Igualdad de Oportunidades para Mujeres y Hombres"

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

Es cuanto informo a usted, para los fines pertinentes.

Atentamente

Documento firmado digitalmente

FLYNN JOUBERT CARLOS VEGA
TÉCNICO FORESTAL Y DE FAUNA SILVESTRE
ATFFS - PUNO

Exp: 2024-0023444

Av. Javier Prado Oeste N° 2442
Urb. Oromonte, Magdalena del Mar - Lima 17
T. (511) 225-9005
www.gob.pe/serfor
www.gob.pe/midagri



BICENTENARIO DEL PERU 2021 - 2024

Esta es una copia auténtica imprimible de un documento electrónico archivado en el Servicio Nacional Forestal y de Fauna Silvestre, aplicando lo dispuesto por el Art. 20 de D.S. 070-2013-PCM y la Tercera Disposición Complementaria Final del D.S. 005-2016-PCM. Su autenticidad e integridad pueden ser contrastadas a través de la siguiente dirección web: Url: <https://ggd.serfor.gob.pe/validadorDocumental/> Clave:





UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA



UNIVERSIDAD NACIONAL DE JULIACA

"Universidad Pública de Calidad"