



FACULTAD DE INGENIERÍA GEOGRÁFICA, AMBIENTAL Y ECOTURISMO

**REMOCIÓN DE CADMIO (II) DE UNA SOLUCIÓN ACUOSA CON CARBÓN
ACTIVADO A PARTIR DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*)**

Línea de investigación:

Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar el título profesional de Ingeniero Ambiental

Autora:

Oblitas Alcarraz, Diana Jhoselyn

Asesora:

Aylas Humareda, María del Carmen

ORCID: 0000-0002-2063-0005

Jurado:

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara

Paricoto Simon, María Mercedes

Alvarado Pérez, Karina Milagros

Lima - Perú

2025



REMOCIÓN DE CADMIO (II) DE UNA SOLUCIÓN ACUOSA CON CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE EUCALIPTO (Eucalyptus globulus)

INFORME DE ORIGINALIDAD

18%

INDICE DE SIMILITUD

18%

FUENTES DE INTERNET

3%

PUBLICACIONES

8%

TRABAJOS DEL
ESTUDIANTE

FUENTES PRIMARIAS

1

hdl.handle.net

Fuente de Internet

3%

2

repositorio.unfv.edu.pe

Fuente de Internet

2%

3

www.aidic.it

Fuente de Internet

1%

4

repositorio.uncp.edu.pe

Fuente de Internet

1%

5

www.raco.cat

Fuente de Internet

1%

6

core.ac.uk

Fuente de Internet

1%

7

repositorio.udec.cl

Fuente de Internet

1%

8

www.coursehero.com

Fuente de Internet

<1%



**Universidad Nacional
Federico Villareal**

VRIN | VICERRECTORADO
DE INVESTIGACIÓN

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

**REMOCIÓN DE CADMIO (II) DE UNA SOLUCIÓN
ACUOSA CON CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE
EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*)**

Línea de investigación:
Biodiversidad, ecología y conservación

Tesis para optar el Título Profesional de
Ingeniero Ambiental

Autora:

Oblitas Alcarraz, Diana Jhoselyn

Asesora:

Aylas Humareda, María del Carmen
ORCID: 0000-0002-2063-0005

Jurado:

Aparicio Ilazaca, Roxana Clara

Paricoto Simon, María Mercedes

Alvarado Pérez, Karina Milagros

Lima - Perú

2025

Dedicatoria

A Miguel Ángel Oblitas y Rosa María Alcarraz,
mis queridos padres, por ser mi faro y sostén en
la travesía universitaria y en esta investigación.
Vuestra dedicación y amor incondicional
hicieron posible mis sueños de ser Ingeniero
Ambiental.

Agradecimiento

Al Dr. Mariano Sal y Rosas Julca, gracias por su apoyo inquebrantable y aliento constante, fueron el motor detrás de este logro, su soporte iluminó cada paso de mi camino en esta investigación.

ÍNDICE

RESUMEN	11
ABSTRACT.....	12
I. INTRODUCCIÓN.....	13
1.1. Descripción y formulación del problema.....	15
1.1.1. Problema general	27
1.1.2. Problemas específicos	27
1.2. Antecedentes	28
1.2.1. Investigaciones internacionales	28
1.2.2. Investigaciones nacionales.....	29
1.3. Objetivos	31
1.3.1. Objetivo general.....	31
1.3.2. Objetivos específicos	31
1.4. Justificación	31
1.5. Hipótesis.....	33
1.5.1 Hipótesis general.....	33
1.5.2. Hipótesis específicas	33
II. MARCO TEÓRICO	34
2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación	34
2.1.1. Eucalipto	34
2.1.2. Carbón activado	35
2.1.3. Cadmio (II)	39
2.1.4. Isoterma de Langmuir	42
2.1.5. Marco legal	43

2.2. Marco conceptual.....	44
III. MÉTODO	46
3.1. Tipo de investigación	46
3.2. Ámbito temporal y espacial	47
3.3. Variables	48
3.4. Población y muestra	51
3.5. Instrumentos.....	52
3.6. Procedimientos.....	53
3.7. Análisis de datos	54
IV. RESULTADOS	56
4.1. Obtención del carbón activado.....	56
4.2. Influencia de la temperatura de carbonización del precursor	70
4.3. Influencia del pH para remover Cd (II)	88
V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	96
5.1. Bioacumulación del Cd.....	96
5.2. Carbón activado	96
5.3. Temperatura de carbonización	97
5.4. Influencia del pH.....	97
VI. CONCLUSIONES.....	98
VII. RECOMENDACIONES	99
VIII. REFERENCIAS	100
IX. ANEXOS	105
Anexo A. Matriz de consistencia	106
Anexo B Autorización para desarrollar la investigación	107
Anexo C Ficha Técnica del eucalipto	108

Anexo D Densidades del ácido fosfórico.....	113
Anexo E Ficha técnica de STARTER 5000.....	114
Anexo F Ficha técnica de CONTRAA 800	118

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 VMA para descarga al sistema de alcantarillado	43
Tabla 2 ECA para aguas superficiales para agua potable	43
Tabla 3 ECA para cuerpos naturales de aguas superficiales.....	44
Tabla 4 LMP para actividades minero-metalúrgicos	44
Tabla 5 Operacionalización de variables	50
Tabla 6 Obtención del carbón activado.....	69
Tabla 7 Solución acuosa de Cd (II) (r1,00; T400; pH4,2)	71
Tabla 8 Cd (II) en la solución remanente (r1,00; T400; pH4,2)	72
Tabla 9 Cd (II) retenido en el carbón activado (r1,00; T400; pH4,2).....	73
Tabla 10 Capacidad de adsorción q_e (r1,00; T400; pH4,2)	74
Tabla 11 Isoterma de adsorción Cd (II) en carbón activado (r1,00; T400; pH4,2)	74
Tabla 12 Remoción de Cd (II) (r1,00; T400; pH4,2).....	76
Tabla 13 Correlación de variables (r1,00; T400; pH4,2).....	77
Tabla 14 Solución acuosa de Cd (II) (r1,00; T500; pH4,2)	79
Tabla 15 Cd (II) en la solución remanente (r1,00; T500; pH4,2)	79
Tabla 16 Cd (II) retenido en el carbón activado (r1,00; T500; pH4,2).....	80
Tabla 17 Capacidad de adsorción q_e (r1,00; T500; pH4,2)	81
Tabla 18 Isoterma de adsorción Cd (II) en carbón activado (r1,00; T500; pH4,2)	81
Tabla 19 Solución acuosa de Cd (II) (r1,00; T600; pH4,2)	83
Tabla 20 Cd (II) en la solución remanente (r1,00; T600; pH4,2)	84
Tabla 21 Cd (II) retenido en el carbón activado (r1,00; T600; pH4,2).....	84
Tabla 22 Capacidad de adsorción q_e (r1,00; T600; pH4,2)	85
Tabla 23 Isoterma de adsorción Cd (II) en carbón activado (r1,00; T600; pH4,2)	85

Tabla 24 Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 1.....	92
Tabla 25 Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 2.....	93
Tabla 26 Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 3.....	94
Tabla 27 Matriz de consistencia.....	106

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1 Contaminación del río Danubio por metales pesados	16
Figura 2 Contaminación del río Tinto y Odiel por metales pesados	17
Figura 3 Contaminación del río Sonora por metales pesados.....	18
Figura 4 Contaminación de la presa del río Aulencia por metales pesados	19
Figura 5 Contaminación por minera Cobre Las Cruces	20
Figura 6 Contaminación del río Bogotá por metales pesados	21
Figura 7 Contaminación de La Oroya por metales pesados	22
Figura 8 Contaminación del río Chillón por metales pesados	23
Figura 9 Contaminación del lago Titicaca por metales pesados.....	24
Figura 10 Contaminación de comunidad José Olaya por metales pesados	25
Figura 11 Eucalyptus globulus	34
Figura 12 Carbón activado.....	38
Figura 13 Toxicidad del cadmio	40
Figura 14 Comportamiento del Cd en una solución acuosa	41
Figura 15 Isotermas de Langmuir.....	42
Figura 16 Laboratorio de Operaciones unitarias de la FIQT de la UNI	47
Figura 17 Laboratorio de Química General e Inorgánica de la FIQT de la UNI.....	48
Figura 18 Trozos de eucalipto	56
Figura 19 Secado del eucalipto.....	57
Figura 20 Obtención del precursor	58
Figura 21 Activación química del precursor.....	59
Figura 22 Razón de impregnación	60
Figura 23 Agitación en la impregnación.....	61

Figura 24 Carbonización del precursor impregnado.....	62
Figura 25 Enfriamiento del carbón activado.....	63
Figura 26 Molienda del carbón activado	64
Figura 27 Tamizado del carbón activado.....	65
Figura 28 Lavado del carbón activado.....	66
Figura 29 Secado del carbón activado	67
Figura 30 Obtención del carbón activado	68
Figura 31 Preparación de soluciones de Cd (II)	70
Figura 32 Espectrofotómetro de adsorción atómica	71
Figura 33 Isotherma de adsorción Cd (II) (r1,00; T400; pH4,2)	75
Figura 34 Correlación de variables (r1,00; T400; pH4,2)	78
Figura 35 Isotherma de adsorción Cd (II) (r1,00; T500; pH4,2)	82
Figura 36 Isotherma de adsorción Cd (II) (r1,00; T600; pH4,2)	86
Figura 37 Isotherma de adsorción Cd (II) en carbón activado (r1,00; T400/500/600; pH4,2).87	
Figura 38 Calibración del equipo de medición de pH	89
Figura 39 Obtención de la solución de Cd (II)	90
Figura 40 Obtención de la solución de Cd (II) a diferentes pH.....	91
Figura 41 Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 1	92
Figura 42 Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 2	93
Figura 43 Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 3	94
Figura 44 Influencia del pH en solución de Cd (II).....	95

RESUMEN

La contaminación por Cd (II) puede ser causada por ||emisiones industriales, ya que las actividades industriales como la minería, la fundición de metales, la producción de baterías, la producción de plásticos y productos electrónicos pueden ser una fuente importante de contaminación. La contaminación de Cd en los ríos, pueden contaminar los suelos agrícolas, y estos contaminar los cultivos que son ingeridos por los pobladores, a lo largo de la cadena alimentaria. La presente investigación *Remoción de cadmio (II) de una solución acuosa con carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)*, tuvo por **Objetivo general:** Emplear carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), para remover cadmio (II) de una solución acuosa. **Metodología:** Investigación del tipo descriptivo, nivel correlacional, diseño experimental y enfoque cuantitativo. **Resultados:** Se obtiene carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), el cual permitió la remoción de cadmio (II). **Conclusiones:** Empleando carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*), se remueve 3,07% de Cd (II) de una solución acuosa con Cd (II). Se obtuvo carbón activado a partir de (*Eucalyptus globulus*) mediante activación química con H_3PO_4 . La temperatura ideal para la carbonización del precursor impregnado con H_3PO_4 , es de $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, la impregnación duró $t = 8\text{ hr}$ (agitador magnético). El pH ideal para la adsorción de Cd (II) es de 7,74 unidades, con una agitación de $t = 4\text{ hr}$, velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

Palabras clave: precursor, eucalipto, carbón activado, contaminación, cadmio.

ABSTRACT

Cd(II) pollution can be caused by industrial emissions, as industrial activities such as mining, metal smelting, battery production, plastics and electronics production can be a major source of pollution. Cd contamination in rivers can contaminate agricultural soils, and these contaminate the crops that are ingested by residents throughout the food chain. The present research, *Removal of cadmium (II) from an aqueous solution with activated carbon from eucalyptus (Eucalyptus globulus)*, had the **General objective:** Of using activated carbon from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), to remove cadmium (II) from an aqueous solution. **Methodology:** Descriptive research, correlational level, experimental design and quantitative approach. **Results:** Activated carbon was obtained from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), which allowed the removal of cadmium (II). **Conclusions:** Using activated carbon from eucalyptus (*Eucalyptus globulus*), 3.07% of Cd (II) was removed from an aqueous solution containing Cd (II). Activated carbon was obtained from (*Eucalyptus globulus*) by chemical activation with H₃PO₄. The ideal temperature for carbonization of the precursor impregnated with H₃PO₄ is T = 400 °C, the impregnation lasted t = 8 hr (magnetic stirrer). The ideal pH for Cd (II) adsorption is 7.74 units, with stirring for t = 4 hr and stirring speed v = 300 rpm.

Keywords: precursor, eucalyptus, activated carbon, pollution, cadmium.

I. INTRODUCCIÓN

La contaminación por Cd (II) en los ríos se refiere al contenido excesivo de iones de cadmio (Cd^{2+}) en los cuerpos de agua, lo que conduce a un desequilibrio ambiental y puede tener un impacto negativo en la salud humana y el ecosistema acuático en general. El cadmio es un metal pesado muy tóxico que ingresa al medio ambiente a través de diversas fuentes antropogénicas y naturales.

La contaminación por Cd (II) puede ser causada por emisiones industriales, ya que las actividades industriales como la minería, la fundición de metales, la producción de baterías, la producción de plásticos y productos electrónicos pueden ser una fuente importante de contaminación.

El uso de fertilizantes y pesticidas que contienen Cd (II) pueden contaminar los campos agrícolas durante las lluvias y entrar en los ríos, contribuyendo a la contaminación.

En algunos casos, el Cd (II) puede ingresar a los ríos debido a las descargas de desechos sólidos y aguas residuales sin tratar.

Las consecuencias de la contaminación por Cd (II) en la agricultura pueden ser causadas por:

- Contaminación de suelos: el Cd puede acumularse en los suelos agrícolas con el tiempo debido al empleo de fertilizantes y pesticidas contaminantes. Esto puede reducir la calidad del suelo y afectar negativamente la producción de cultivos.
- Acumulación en cultivos: las plantas pueden adsorber Cd del suelo y acumularse en sus tejidos comestibles. Los alimentos contaminados con Cd pueden suponer un riesgo para la salud humana a lo largo de la cadena alimentaria.

Las consecuencias de la contaminación por Cd (II) en humanos pueden tener las siguientes consecuencias:

- Salud humana: la exposición largo plazo al cadmio puede dañar los riñones, los huesos, los pulmones y otros órganos. También se ha relacionado con problemas respiratorios, trastornos reproductivos y posibles efectos cancerígenos.
- Contaminación del agua potable: si se utilizan ríos contaminados con Cd se utilizan para suministrar agua potable, existe el riesgo de que las personas consuman cantidades peligrosas de Cd.
- Acumulación en la cadena alimentaria: el Cd puede entrar en la cadena alimentaria al consumir alimentos contaminados, aumentando así la exposición humana.

La adsorción de Cd por carbón activado químicamente modificado puede tener un efecto significativo en la reducción de la contaminación ambiental. El cadmio es un metal pesado tóxico que puede tener efectos adversos en la salud humana y en los ecosistemas acuáticos. La posibilidad de desarrollar un material adsorbente altamente eficiente y económico basado en recursos naturales como el eucalipto puede contribuir a la adopción de tecnologías de tratamiento de agua y la restauración de sitios contaminados.

El uso de recursos naturales renovables como el eucalipto en la producción de carbón activado refleja un enfoque sostenible para la gestión de materiales y la protección del medio ambiente. La investigación en esta área puede conducir a la optimización de procesos de producción que minimicen el impacto ambiental y reduzcan la dependencia de recursos naturales no renovables en la producción de materiales adsorbentes.

La remoción de Cd (II) de una solución acuosa utilizando carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) puede llevarse a cabo mediante un proceso denominado

adsorción, el carbón activado se emplea como material adsorbente capaz de capturar y retener iones Cd (II) presentes en solución acuosa.

La eliminación de Cd (II) mejora la calidad del suelo, ya que este metal pesado es tóxico y puede acumularse en el suelo debido al uso de fertilizantes y pesticidas contaminados, lo que puede afectar la salud del suelo y reducir su calidad y fertilidad; el uso de carbón activado de eucalipto tratado con ácido fosfórico para eliminar el cadmio del suelo, puede mejorar la calidad del suelo al reducir su concentración de cadmio, aumentando su capacidad para mantener un cultivo saludable.

La eliminación de Cd (II) del suelo utilizando carbón activado derivado del eucalipto puede contribuir a una producción de alimentos más segura y saludable, al minimizar la presencia de cadmio en los cultivos, se puede reducir la exposición humana a este metal pesado a través de la cadena alimentaria, necesaria para garantizar la seguridad alimentaria y la salud pública.

1.1. Descripción y formulación del problema

En Europa, el Danubio, el segundo río más largo de ese continente, que lucía tan hermoso y azul hace más de 155 años, de veía tan *bello* ahora la industrialización intensiva y la agricultura y ganadería que desembocaba en sus aguas, provocó el descubrimiento de estos desechos, contaminado con Cd, Pb o Fe (Bayón, 2022).

Los ricos nutrientes fomentan el crecimiento de algas que enturbian el agua e impiden que la del Sol llegue a las partes más profundas. Allí las plantas ya no realizan la fotosíntesis, mueren y se descomponen. Con el tiempo, el oxígeno se agota y el ecosistema en su conjunto se vuelve desagradable para los animales que alguna vez vivieron allí.

Figura 1

Contaminación del río Danubio por metales pesados



Nota. La industrialización intensiva, así como las actividades agrícolas y ganaderas ha contaminado sus aguas, <https://www.muyinteresante.es/naturaleza/16225.html>

En Portugal y España, en la década de 1980, se descubrió que las aguas de Portugal y España, en la costa suroeste de la Península Ibérica estaban más contaminadas de Zn, Cd, Ar y Cu que en otras aguas del mundo (The Conversation, 2013).

Tras analizar inicialmente los principales ríos ibéricos que drenan esta región, los investigadores descartaron el origen fluvial de los contaminantes, revelando posteriormente que los metales proceden de los ríos Tinto y Odiel. Aproximadamente 5.000 años de relaves mineros ricos en sulfuros en la Faja pirítica ibérica producen un lixiviado conocido como drenaje ácido de mina, se trata de un agua muy ácida y cargada en metales que contamina los ríos Tinto y Odiel.

Figura 2

Contaminación del río Tinto y Odiel por metales pesados



Nota. El drenaje ácido de actividad minera por más de 5.000 años, contamina los ríos Tinto y Odiel, <https://theconversation.com/rios-tinto-y-odiel-el-principal-aporte-de-contaminantes-toxicos-de-origen-minero-a-los-oceanos-del-mundo-207566>

En México, se acaban de cumplir 9 años del derrame de sulfato de cobre y metales pesados en un afluente del río Sonora, en el noroeste de México, provocado por la empresa Grupo México (Arellano, 2023).

El incidente fue considerado el mayor desastre ambiental del país causado por la minería. Nueve años después del derrame, los problemas de salud de los ríos, de la tierra y de los habitantes de la cuenca se agravan ante la indiferencia de las autoridades mexicanas y de la empresa responsable. La empresa vertió 40.000 m³ de sulfato de cobre acidificado y metales pesados provenientes de la mina Buenavista del Cobre, en el municipio de Cananea, en el afluente de este río que atraviesan 8 municipios del estado de Sonora. Hasta ahora algunas personas han sido contaminadas con As, otras con Cd y Mn.

Figura 3

Contaminación del río Sonora por metales pesados



Nota. El derrame de sulfato de cobre y metales pesados ha contaminado a pobladores de la zona, <https://es.mongabay.com/2023/08/impacto-derrame-minera-grupo-mexico-entrevista-martha-velarte/>

En España, el Centro de Estudios y Experimentación de Obras Públicas (CEDEX) realizó un estudio de materiales de las aguas residuales de Valmayor y las aguas residuales de Colmenarejo, en el que se encontraron cantidades importantes de bario, cadmio, y otros elementos pesados (Cabañero, 2022).

La presa fue construida en 1945 por la Dirección General de Regiones Devastadas, organismo franquista, y abasteció a las localidades de Villanueva de la Cañada, Villanueva del Pardillo, Brunete y Quijorna hasta el año 1975, en que fue cancelada al ponerse en servicio el Embalse de Valmayor. Su falta de uso hizo que la presa acumulara sedimentos de Colmenarejo con el paso de los años. Unos 300.000 m³ de lodos tóxicos cubren toda la superficie del río. Esta colmatación de sedimentos tóxicos impide la continuidad del río Aulencia.

Figura 4

Contaminación de la presa del río Aulencia por metales pesados



Nota. Los peligros de las presas en desuso: lodos tóxicos y destrucción del ecosistema fluvial, <https://www.madridiario.es/peligros-presas-desuso-lodos-toxicos-destruccion-ecosistema-fluvial>

En España, ecologistas simularon un bloqueo en el tubo de vertido en la mina Cobre Las Cruces, que hace más de 13 años supone la introducción al país de metales pesados bioacumulables como cadmio y arsénico, además de plomo, cobre, zinc, níquel y mercurio (M. H., 2022).

Estos metales pesados llegan en nuestros platos a través de la pesca y la producción de frutas y hortalizas en el Golfo de Cádiz y del arroz de regadío en el río. A lo largo de los años, casi 4.800 kg de Zn, 1.800 kg de As, Pb y Cu, 1.200 kg de Ni y 120 kg de Hg de metales altamente tóxicos ingresaron a la desembocadura del Guadalquivir, en su punto de vertido, están contaminando la biodiversidad, los arrozales y Doñana, afectan a las actividades socioeconómicas y humedal más importante de Andalucía. Los ambientalistas también dicen que, Cobre las Cruces planea continuar descargando

durante otros 14 años a medida que la mina se expande con el conocido proyecto de minería subterránea PMR y nueva planta de beneficio de polimetales.

Figura 5

Contaminación por minera Cobre Las Cruces



Nota. Actividades de minera Las Cruces contaminan con metales pesados bioacumulables, <https://www.ecologistasenaccion.org/188237/cobre-las-cruces-mas-de-10-anos-de-saqueo-del-acuifero-de-gerena-posadas/>

En Colombia, el río Bogotá, uno de los más contaminados del mundo, tiene como afluentes a los ríos Tunjuelo, Salitre, Torca y Fucha, que reciben aguas residuales e industriales contaminados con la presencia de metales pesados, como Pb, Cd y Hg, entre otros (Godoy, 2022).

El río nace en el páramo de Guacheneque, en el municipio de Villapinzón, al noreste de Bogotá, en el mismo departamento central de Cundinamarca. Y luego de recorrer 380 km, desemboca en el río Magdalena, el cual es considerado la arteria fluvial más grande del país y cuyas aguas desembocan en el mar Caribe, al norte de Colombia. Este páramo es un ecosistema seco habitado por arbustos y matorrales, ubicado a una altitud

de más de 3000 msnm. En sus aguas se pueden observar montones de desechos de las industrias minera, curtiembre y de los habitantes de la ciudad y sus municipios aledaños, que producen metales pesados, como Pb, Cd y Hg.

Figura 6

Contaminación del río Bogotá por metales pesados



Nota. Se aprecia el muestreo del río Bogotá, uno de los más contaminados del mundo, recibe las descargas de viviendas, industrias y actividades agrícolas, <https://ipsnoticias.net/2022/11/el-rio-bogota-fluye-entre-la-suciedad-el-saneamiento-y-la-incertidumbre/>

En Perú, la enfermera peruana Maricruz Aliaga, de 28 años, vive junto al complejo La Oroya, en los Andes, desde muy temprana edad tuvo que vivir con la contaminación provocada por el cadmio y otros metales pesados, debido a las actividades tóxicas de la empresa. Sus padres estaban entre las decenas de personas que demandaron al Estado peruano en 2006 ante la Comisión Interamericana de Derechos Humanos (CIDH) por la violación de sus derechos (Fowks, 2022).

La semana pasada, en la apertura de la etapa final del juicio, una joven testificó ante la Corte IDH sobre lo que es vivir con metales pesados en el cuerpo, en un ambiente tóxico y ser acosada por reclamar. Se espera que los jueces emitan una decisión en los próximos meses que podría sentar un precedente en la región para el derecho a un medio ambiente saludable y para las obligaciones de los estados con contaminantes. En el caso de él y su hermana, sus ojos brillaban y sufrían frecuentemente de alergias y granos en la piel, lo que también les valió las burlas de sus compañeros. Según su testimonio en el juicio, esa discriminación hizo que sus padres cambiaran de escuela cinco veces. Aunque el acoso aumentó y en ocasiones se tornó violento contra su familia por ser parte del Movimiento por la Salud de La Oroya, presentaron una denuncia ante la CIDH. Algunos residentes no creían que la fundición los contaminaría y no entendían por qué se oponían a un proyecto que traería empleos a la zona.

Figura 7

Contaminación de La Oroya por metales pesados



Nota. La Oroya, es la quinta ciudad más contaminada del planeta, los pobladores viven con elevados niveles de metales tóxicos en el cuerpo, Modal (15 de junio de 2023),

<https://www.nodal.am/2017/11/peru-senalan-la-ciudad-la-oroya-la-quinta-mas-contaminada-del-mundo/>

En Perú, El Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental (OEFA) da a conocer los resultados de un derrame de concentrado de zinc en la parte alta de la cuenca del río Chillón provocado por el volcamiento de un camión perteneciente a Wari Service SAC, encontrando, As, Cd y Pb (Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA], 2022).

Respecto a los resultados de laboratorio de la muestra del concentrado recuperado del río Chillón, se señala que los resultados de los parámetros As, Cd y Pb, superaron referencialmente los valores establecidos en el ECA para suelos agrícolas, residenciales e industriales en 2017 y Guía Canadiense de suelo agrícola. De manera similar, los resultados para los parámetros de Cu y Zn superaron los valores establecidos por las Guías canadienses de tierras agrícolas.

Figura 8

Contaminación del río Chillón por metales pesados



Nota. Se aprecia el muestreo del río Chillón, por metales pesados, fotografía cortesía del OEFA, <https://elperuano.pe/noticia/163469-oefta-estos-son-los-resultados-de-analisis-de-muestras-de-agua-del-rio-chillon-ante-el-derrame>

En Perú, la contaminación del lago Titicaca amenaza a los peces, ranas y aves, ya que las descargas de aguas residuales y las operaciones mineras circundantes contaminan el lago y toda la cuenca, que ya se ha confirmado la existencia de Cd en sus aguas (Jabiel, 2022).

Después de una muerte masiva de ranas en 2015, un equipo de emergencia rescató a las sobrevivientes en el Lago Menor del Titicaca para mantenerlos en cautiverio en el Centro K'ayra, el único en Bolivia que protege especies de anfibios en peligro de extinción. Las ranas con una piel tan permeable son guardianas del medio ambiente.

Figura 9

Contaminación del lago Titicaca por metales pesados



Nota. Se aprecia las ranas en cautiverio, al ser rescatadas del lago Titicaca, por cadmio, <https://dialogochino.net/es/clima-y-energia-es/57223-mujeres-indigenas-lideran-la-defensa-de-la-vida-que-se-extingue-en-el-lago-titicaca/>

En José Olaya, Perú, los nativos Achuari viven en zonas afectadas por la actividad petrolera dentro y alrededor de su territorio donde se han detectado metales tóxicos como Cd, As y Pb, según informes de una agencia ambiental (Alvitres, 2023).

Según la Agencia Ambiental, José Olaya posee ocho de los 171 campos petroleros contabilizados por el gobierno peruano. S Hoy, las tres las zonas que parecen más dañadas, resultado de cinco décadas de actividad petrolera en la zona, están a solo 20 min de la comunidad, cerca de la quebrada Huayuri, donde se encuentran animales silvestres que los achuares consumen, como el venado y el añuje, llegan a beber agua. Según el informe de agua tomada del arroyo Shiviayacu se encontró Pb y Cd; mientras que los análisis de suelo también revelaron la presencia de hidrocarburos en la zona.

Figura 10

Contaminación de comunidad José Olaya por metales pesados



Nota. Se aprecia la contaminación de la comunidad José Olaya por metales pesados, fotografía cortesía de la Sociedad Peruana de Derecho Ambiental (SPD),

<https://www.actualidadambiental.pe/loreto-apus-de-río-corrientes-se-reunieron-con-titular-del-minam-para-solucionar-problemas-de-contaminacion/>

El cadmio es uno de los metales pesados más tóxicos por sus propiedades bioacumulativas y persistencia ambiental, el cual es nocivo por su alta toxicidad y capacidad acumulativa y persistencia ambiental, lo que perjudica la calidad y rendimiento del suelo (García et al., 2021).

En el año 2014, la Unión Europea impuso estándares máximos de tolerancia en Cd, para la importación de productos a base de cacao, lo que causó preocupación entre países. Se analizaron estudios globales sobre *Theobroma cacao*. En 2019, las concentraciones de Cd en granos de cacao de diversas procedencias, especialmente de América Latina, superaron las nuevas regulaciones establecidas por la Unión Europea.

Este estudio sobre la captación de Cd (II) utilizando eucalipto como precursor para la producción de carbón activado químicamente con H_3PO_4 tiene una fuerte motivación medioambiental, ya que aborda este problema medioambiental de forma eficaz y sostenible.

Después de la impregnación del eucalipto con H_3PO_4 , se obtuvo el carbón activado, este material, será el responsable de “capturar” el Cd (II), mediante el proceso de adsorción, contaminante ambiental, de la flora, fauna y el ser humano.

Este estudio de carbón activado tratado con H_3PO_4 para la eliminación Cd (II) es un remedio eficaz contra la contaminación ambiental provocada por este metal pesado. Al abordar este desafío de manera integral, la investigación puede mejorar significativamente a la mejora

de la calidad del agua, la salud humana y la sostenibilidad de los ecosistemas acuáticos y terrestres.

1.1.1. Problema general

¿Es factible el empleo de carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) para remover cadmio (II) de una solución acuosa?

1.1.2. Problemas específicos

- ¿Cuál es la factibilidad del carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) mediante activación química con H_3PO_4 ?
- ¿Cuál es la influencia de temperatura de carbonización del precursor para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)?
- ¿Cuál es la influencia del pH para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)?

1.2. Antecedentes

1.2.1. Investigaciones internacionales

Retamal (2017) preocupado por la contaminación de metales pesados liberados desde la industria o la agricultura, realizó una investigación en Chile, titulada: *Adsorción y bioacumulación del cadmio en tres cultivares de maíz (Zea mays L.) para diferentes medioambientes de Chile*.

Objetivo general, evaluar la respuesta de tres cultivares de maíz sembrados en tres ambientes de Chile a diferentes dosis de Cd. **Objetivos específicos:** a) determinar el riesgo de contaminación por Cd en tres suelos de Chile utilizados para el cultivo de maíz en Chile; b) elegir variedades de maíz con menor riesgo de adsorción y acumulación de Cd; c) identificar variedades de maíz con baja acumulación de Cd para las diferentes regiones agroclimáticas de Chile. **Metodología**, se realizó análisis comparativo con muestras patrón, se realizaron experimentos en tres parcelas. **Resultados**, la distribución de Cd entre las tres estructuras de la planta de maíz, fue mayor en el residuo. **Conclusiones principales:** para todos los tratamientos, las mayores concentraciones de Cd y niveles de extracción obtuvieron del aire, principalmente en el residuo (tallo y hojas).

Peña (2016) preocupada por la contaminación de agua por Cd, que implica efectos dañinos para el hombre, realizó una investigación, en México, titulada: *Remoción de Cd por Musa cavendishii, L [plátano]*.

Objetivo general, analizar y determinar la tasa de remoción del Cd presente en soluciones acuosas por adsorción utilizando el biomaterial *Musa cavendishii, L*.

Objetivos específicos: a) preparar soluciones sintéticas con diferentes concentraciones de Cd, que se utilizan para estudios de adsorción; b) determinar las fluctuaciones de concentración de Cd en las soluciones sintéticas; c) utilizar el biomaterial *Musa cavendishii*, L. de dos formas, de manera natural y químicamente, para realizar el proceso de adsorción con las soluciones sintéticas de Cd; llevar a cabo contactos entre dos tipos de biomateriales y las soluciones sintéticas para eliminar Cd de una solución acuosa d) cuantificar la concentración del Cd después del contacto en la fase acuosa para determinar la tasa de eliminación de Cd esta sustancia; f) determinar el comportamiento de la adsorción entre el Cd y el biomaterial utilizado en el experimento. Metodología, experimental, se prepararon soluciones de Cd, luego se trató químicamente el plátano. **Conclusión principal:** los primeros cinco minutos son decisivos en el proceso de adsorción, porque durante este tiempo se alcanza la máxima concentración de los iones Cd a ser adsorbidos por los biomateriales, lo que significa que la mayoría de los lugares disponibles se llenan rápidamente.

1.2.2. Investigaciones nacionales

Vanet y Dorregaray (2018) interesados en emplear la cáscara de piña para ser empleado como precursor para la preparación de carbón activado, realizaron una investigación en Huancayo, Perú, titulada: *Aplicación de adsorbentes de carbón preparados desde las cáscaras de la fruta piña (Ananas comosus) para remover metales pesados (Cd^{2+} , Pb^{2+}) desde soluciones acuosas.*

Objetivo general, aplicar los adsorbentes de carbón preparados de cáscaras de piña (*Ananas comosus*) para eliminar plomo (Pb^{2+}) y el cadmio (Cd^{2+}) desde las soluciones acuosas. **Objetivos específicos:** a) producir adsorbentes de carbón desde las cáscaras de

la fruta piña (*Ananas comosus*); b) medición de la remoción de Pb y Cd por medio de carbón obtenidos de soluciones acuosas; c) comparar las propiedades de adsorción del carbón producido en diferentes tipos de atmósferas y temperaturas de pirólisis. **Metodología**, del tipo experimental, en la etapa inicial se realizaron varios experimentos con el precursor. **Conclusión principal:** se prepararon carbones activados a partir de las cáscaras de piña (*Ananás comosus*) a 400 °C, 500 °C y 600 °C. este proceso se llevó a cabo mediante activación física. los mayores rendimientos en los carbones CN400 (32,76%) y CC400 (30,45%).

Luna y Rodríguez (2015) conocedores de que las actividades antropogénicas (industriales, mineras, agrícolas, etc.) arrojan metales pesados al medio ambiente, realizaron una investigación en Cajamarca, Perú, titulada: *Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (Solanum tuberosum) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chota - Cajamarca*.

Objetivo general, determinar y comparar la concentración de Cd y Pb en papas (*Solanum tuberosum*, variedades: Peruanita, Huagalina, Yungay y Perricholi) cosechadas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta - Cajamarca. **objetivos específicos:** a) determinar las concentraciones de Cd y Pb en papas cosechadas en la cuenca del río Mashcón; b) determinar las concentraciones de Cd y Pb en papas cosechadas en la cuenca del río Chonta; c) comparar las concentraciones de Cd y Pb en papas cosechadas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chonta; d) evaluar y comparar las concentraciones de Pb y Cd obtenidas con el límite máximo permisible (LMP). **Metodología**, se recolectaron 40 muestras de papa, cada muestra de un kilo, en 40 puntos de muestreo. **Conclusión principal:** la concentración promedio de Cd en papa

cosechada de la cuenca del río Mashcón y río Chonta es de 0.3095 ppm y 3078 ppm, respectivamente.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Emplear carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) para remover cadmio (II) de una solución acuosa.

1.3.2. Objetivos específicos

- Obtener carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) mediante activación química con H_3PO_4
- Determinar la influencia de temperatura de carbonización del precursor para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) . .
- Determinar la influencia del pH para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) . .

1.4. Justificación

A continuación, se enumera las razones por las cuales se desarrolló presente investigación:

- **Teórica.** El desarrollo de la presente investigación permitirá demostrar que la adsorción admite disminuir las concentraciones de Cd en una solución acuosa, empleando eucalipto como precursor para carbón activado químicamente con H_3PO_4 .

Desde una perspectiva teórica, la adsorción de Cd por H_3PO_4 en carbón activado de eucalipto químicamente activado, es un campo de investigación multidisciplinario que involucra la química de superficie, termodinámica de adsorción y la química ambiental. Una comprensión profunda de los mecanismos básicos de la interacción de los grupos funcionales del ácido fosfórico entre el carbón activado y los iones de cadmio en solución brinda la oportunidad de avanzar en la teoría de la adsorción de metales pesados en medios acuosos. Esto puede conducir a la formulación de modelos cinéticos y termodinámicos más precisos para describir y predecir el proceso de adsorción.

- **Práctica.** El desarrollo de la presente investigación permitirá demostrar que se puede disminuir las concentraciones de Cd de una solución acuosa, empleando carbón activado proveniente del árbol de eucalipto.

Desde un punto de vista práctico, la adsorción de Cd sobre carbón activado derivado del eucalipto, recurso abundante en muchas regiones del Perú, ofrece la posibilidad de convertirlo en un material adsorbente eficiente por activación química con H_3PO_4 , esto puede proporcionar una solución de eliminación factible y rentable de remoción de Cd y otros metales pesados del agua y suelos contaminados. Esto sería particularmente importante en sectores donde hay recursos financieros limitados para implementar métodos de procesamiento convencionales.

- **Ambiental.** Respirar aire con niveles altos de Cd puede dañar gravemente el medioambiente, ya sea, tierra, agua o aire, en tal sentido, la disminución del Cd en los efluentes mineros o de ciertas industrias, mitigará los efectos nocivos en la tierra, en las plantas y en el organismo humano.

Desde una perspectiva ambiental, el consumo de Cd utilizando eucalipto como precursor para la producción de carbón activado químicamente con H_3PO_4 representa una fuerte protección ambiental contra la contaminación del agua, la protección de los ecosistemas acuáticos y la promoción de enfoques sostenibles para resolver problemas críticos de remediación ambiental. reducción y protección de la contaminación del agua, promoción de enfoques naturales y sostenibles mitigación de contaminantes que contribuyen a la restauración ambiental.

1.5. Hipótesis

1.5.1 Hipótesis general

El carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) remueve cadmio (II) de una solución acuosa.

1.5.2. Hipótesis específicas

- Se obtiene carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) mediante activación química con H_3PO_4 .
- Se determina la influencia de temperatura de carbonización del precursor para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).
- Se determina la influencia del pH para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*).

II. MARCO TEÓRICO

2.1. Bases teóricas sobre el tema de investigación

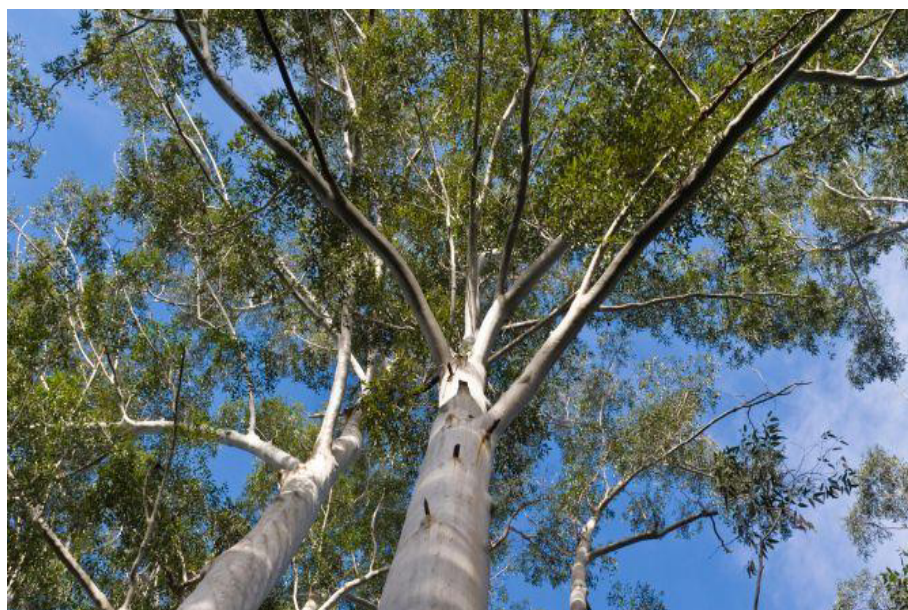
2.1.1. Eucalipto

El eucalipto es un árbol de gran desarrollo; de corteza de color gris; que alcanza alturas que pueden rebasar los 100 mts. sus hojas son dimorfas, con fuerte olor a cineol; son opuestas en las ramas jóvenes y luego son alternas y pecioladas; de color verde; de 10 a 20 cm. de largo Ministerio de Agricultura y Riego [MIDAGRI] (24 de marzo de 2025).

Las flores son grandes, blancas y axilares generalmente solitarias. El fruto es capsular de 1.5-3 cm. de diámetro. Formas de uso: cocimiento, infusión, tintura, vapores y aceite esencial. La Ficha técnica se encuentra en el **Anexo C**.

Figura 11

Eucalyptus globulus



Nota. El eucalipto se emplea como precursor para obtener el carbón activado vía activación, de Jardín, <https://www.hogarmania.com/jardineria/mantenimiento/jardin/eucalipto-4916.html>

2.1.2. Carbón activado

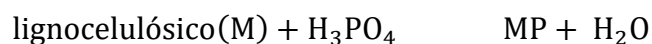
- **Definición de carbón activado.** Es un material para muchas aplicaciones de adsorción, que combina propiedades de bajo costo y alta calidad. Existen diversas fuentes de carbón activado, cenizas volantes (residuos sólidos que se obtienen por precipitación de los polvos que acompañan a los gases de combustión de los quemadores de centrales térmicas), el lignito, el carbón, la brea de petróleo, la cáscara de coco otras cáscaras. La biomasa lignocelulósica está ganando cada vez más atención porque se puede obtener fácilmente a partir de una amplia variedad de productos agrícolas y sus derivados (Kosheleva et al., 2018).
- **Rendimiento carbón/leña.** Según la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación (FAO), las bajas temperaturas de carbonización resultan en mayores rendimientos de carbón vegetal, pero el producto es de mala calidad porque es corrosivo porque contiene alquitranes ácidos que no queman con una llama limpia sin humo. Un buen carbón vegetal comercial debe contener carbono sólido, carbono puro, alrededor del 75%, cuyo proceso de carbonización debe alcanzar una temperatura de 500 °C; en el proceso de carbonización, la temperatura se puede aumentar hasta 800 °C (Barbarán, 2019).

- **Precursor del carbón activado.** El eucalipto es un árbol bien desarrollado, de corteza gris; que alcanza una altura de más de 100 m, sus hojas son dimorfas y tienen un fuerte olor a cineol (mentolado); son opuestas en las ramas jóvenes y luego son alternas y pecioladas, de color verde, de 10 a 20 cm de largo; es muy común por su adaptabilidad, ya que es capaz de desarrollarse en diferentes ambientes climáticos (Jardín, 2022).
- **Activación química del precursor.** Se trata principalmente de mezclar la materia prima con un compuesto químico (solución acuosa), seguido de la carbonización correspondiente. Para lograr una homogenización suficiente entre el precursor y el activador, la mezcla se agita durante un cierto tiempo dependiendo del agente a utilizado, siendo los más comunes H_2SO_4 , ZnCl_2 , H_3PO_4 , KOH y NaOH (Vanet y Dorregaray, 2018).
- **Carbonización del precursor.** Después de impregnar al precursor con una solución definida, se procede a someterlo a una temperatura de 500 °C (Rincon et al., 2015).
- **Algunas reacciones químicas en la carbonización del precursor.**

Los autores no se ponen de acuerdo en cuáles son las reacciones químicas que se producen al momento de carbonizar el precursor impregnado de H_3PO_4 .

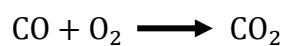
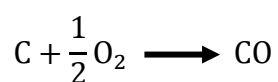
La carbonización implica calentar **un** precursor impregnado a **una temperatura alta**. Durante este proceso, los componentes orgánicos del precursor se descomponen térmicamente.

La primera etapa representa la reacción entre el precursor lignocelulósico y el H_3PO_4 (Manjarrez, 2017):





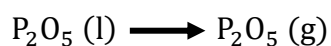
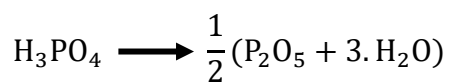
Las reacciones involucradas en esta descomposición pueden incluir la ruptura de enlaces C-C y C-H (Manjarrez, 2017):



El agua contenida, cambia de estado:



El H_3PO_4 presente, también reacciona (Rincon et al., 2015):



La presente investigación está abocado al análisis cuantitativo de Cd (II) retenido en el carbón activado, gracias a la función del H_3PO_4 , y no así, a las reacciones químicas ocurridas

durante la carbonización del precursor, en ese sentido, estas reacciones precedentes solo tienen un carácter enunciativo y meramente informativo.

- **Aplicación del carbón activado.** Tiene 2 propiedades que han hecho que su utilidad en el tratamiento del agua sea óptima. La primera es atrapar todo tipo de contaminante orgánico en sus paredes con una acidez, lo que deja al agua casi libre de estos compuestos. El segundo, destruye el cloro libre remanente que no reaccionó tras la adición de carbón (Vanet y Dorregaray, 2018).

Figura 12

Carbón activado



Nota. Obtención del carbón activado después de una serie de procesos, fotografía cortesía de Eurocarb, <https://www.eurocarb.com/es/productos/que-es-el-carbon-activado/>

2.1.3. Cadmio (II)

- **Cd y su adsorción.** En condiciones normales, la adsorción de Cd administrado a través del tracto gastrointestinal es de alrededor de 2%-6%, a través de las vías respiratorias es la mayor, 10%-50% de las partículas inhaladas se acumulan en la parte alveolar de los pulmones y la mayoría en el resto de la mucosa traqueobronquial. Provoca problemas en los riñones, pulmones, hígado, sistema cardiovascular, huesos y efectos mutagénicos (Luna y Rodríguez, 2015).
- **Cd y el cuerpo humano.** El cuerpo humano puede adsorber Cd en dosis más pequeñas a través de los alimentos, especialmente hojas y granos, agua o aire, donde se acumula y permanece por mucho tiempo, provocando problemas de salud (Retamal, 2017).
- **Cd y los alimentos.** El Cd es un elemento no esencial para los sistemas biológicos, está presente como contaminante en algunos alimentos, el agua y el aire (recorre largas distancias en el agua y aire) (Luna y Rodríguez, 2015).
- **Cd y el suelo.** El contenido de Cd en el suelo depende principalmente de las propiedades físicas y químicas del suelo, como el contenido de arcilla, acidez, salinidad, Zn y materia orgánica (MO) (Retamal, 2017).

Figura 13

Toxicidad del cadmio

El cadmio, un tóxico que puede ser mortal

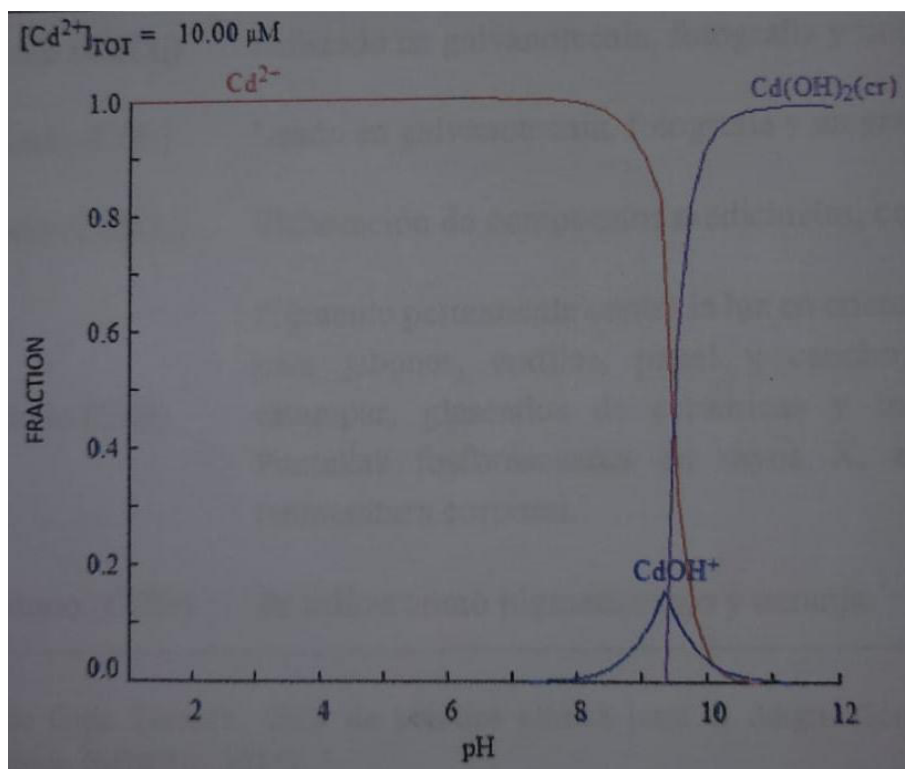


Nota. Muestra la toxicidad en el organismo y la forma de transmisión, imagen cortesía de Diario Nacional, <https://www.20minutos.es/noticia/5012279/0/el-cadmio-un-metal-pesado-que-asimilamos-a-traves-de-la-comida-y-que-puede-ser-mortal/>

- **Cd y el pH.** El Cd tiene un comportamiento químico según el pH de su solución, para un pH ácido, se presenta en estado líquido, como Cd^{2+} , para pH alcalino, se presenta en estado sólido, como CdOH^+ (Peña, 2021).

Figura 14

Comportamiento del Cd en una solución acuosa



Nota. Muestra el comportamiento del cadmio según el pH de la solución, con un pH menor a 9.35, el Cd se presenta en iones, con un pH mayor, el Cd se presenta en estado sólido, Peña (2021).

La **Figura 14** permitió determinar el rango de trabajo para los ensayos de laboratorio, en el cual se encuentra en iones se pudieron trabajar en pH ácido y ligeramente alcalino.

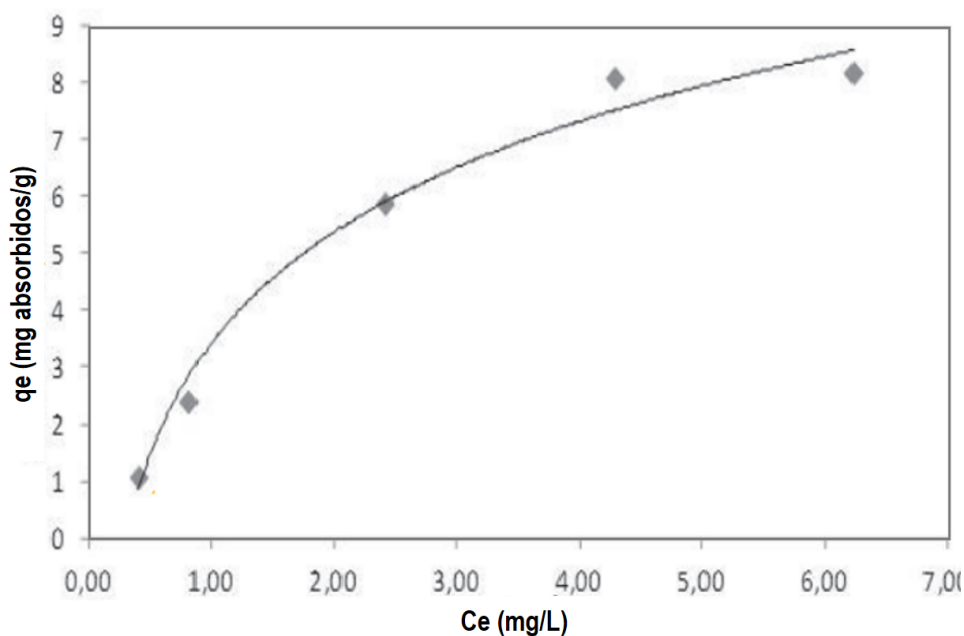
2.1.4. Isoterma de Langmuir

La adsorción se describe principalmente a través de isothermas, las que muestran cuánto material se adsorberá a ciertas condiciones (temperatura, concentración, etc.). Estas son funciones que relacionan a la cantidad adsorbida, bajo condiciones de equilibrio y a temperatura fija, respecto a la cantidad expuesta en la fase precursora (Peña, 2021).

Las isothermas son una representación gráfica de la relación entre la cantidad bioadsorbida por unidad de peso de bioadsorbente q_e (mg/g) y la cantidad de bioadsorbato remanente en la solución C_e (mg/L) a temperatura constante bajo condiciones de equilibrio (Peña, 2021).

Figura 15

Isotermas de Langmuir



Nota. Muestra el comportamiento de Cd retenido en el carbón activado entre el peso del carbón activado vs el contenido de Cd en la solución remanente en el cual fue sumergido el

carbón activado, imagen cortesía de Rivas et al. (2014),

https://ve.scielo.org/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1315-01622014000100008

2.1.5. Marco legal

- **Vertimiento de las aguas residuales**, *las aguas residuales (deben) ser sometidas a un tratamiento previo, que permitan el cumplimiento de los Límites Máximos Permisibles (LMP)*, según D.S. N° 001-2010-AG (Presidencia de la República, 2010).
- **Valores Máximos Admisibles (VMA)**, el VMA para las descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario (Anexo N° 1), según D.S. N° 010-VIVIENDA (Presidencia de la República, 2019).

Tabla 1

VMA para descarga al sistema de alcantarillado

Parámetro	Unidad	Simbología	VMA para descarga al sistema de alcantarillado
Cadmio	mg/L	Cd	0,2

- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para aguas superficiales**, el ECA para aguas superficiales destinadas a la producción de agua potable, según D.S. N° 004-2017-MINAM (Presidencia de la República, 2017).

Tabla 2

ECA para aguas superficiales para agua potable

Parámetro	Unidad	A1	A2	A3
		Aguas que pueden ser potabilizadas con desinfección	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento convencional	Aguas que pueden ser potabilizadas con tratamiento avanzado
Cadmio	mg/L	0,003	0,005	0,1

- **Estándar de Calidad Ambiental (ECA) para cuerpos naturales**, el ECA para cuerpos naturales de aguas superficiales, según D.S. N° 004-2017-MINAM (Presidencia de la República, 2017).

Tabla 3

ECA para cuerpos naturales de aguas superficiales

Parámetro	Unidad	E1: lagunas y lagos	E2: ríos		E3: ecosistemas costeros y marinos	
			Costa y Sierra	Selva	Estuarios	Marinos
Cadmio	mg/L	0,00025	0,00025	0,00025	0,0088	0,0088

- **Límites Máximo Permisible (LMP) para actividad minera**, el LMP para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicos, según D.S. N° 010-2010-MINAM (Presidencia de la República, 2010).

Tabla 4

LMP para actividades minero-metalúrgicos

Parámetro	Unidad	Límite en cualquier momento	Límite para el promedio anual
Cadmio total	mg/L	0,05	0,04

2.2. Marco conceptual

- **Adsorción química.** Proceso que implica la adhesión de moléculas de una sustancia a la superficie de otra.
- **Carbonización.** Proceso de transformación en el que la materia orgánica se convierte en carbón o residuos., se da bajo condiciones de presión y temperatura, según el material.

- **Metal pesado.** Es un grupo de elementos químicos con alta densidad y generalmente tóxicos para los humanos, afectando diferentes partes del organismo, entre ellos tenemos, Hg, Ni, Cb, Pb, Cd y Cr.
- **Pirólisis.** Es la descomposición térmica de una sustancia en ausencia de oxígeno, por lo que estas sustancias se descomponen por calor, sin reacciones de combustión, la temperatura está en función al material utilizado.
- **Precursor.** Materia prima de la que se obtuvo el carbón activado, en este caso es el eucalipto.
- **Remoción.** Eliminación de sustancias orgánicas e inorgánicas de aguas residuales o soluciones acuosas.

III. MÉTODO

3.1. Tipo de investigación

La presente investigación se considera del tipo descriptivo debido a que permitirá responder al comportamiento de la adición de carbón activado en una solución de Cd (II).

- **Nivel de la investigación.** La presente investigación se considera del nivel correlacional debido a que permitirá encontrar la influencia entre la remoción de Cd (II) de una solución acuosa y adsorción de este mediante carbón activado a partir del precursor eucalipto. Los datos obtenidos de ellos permitieron poder graficarlos, y apreciar la correlación de sus variables, una respecto de la otra.
- **Diseño de la investigación.** La presente investigación se considera de tipo experimental debido a que se va a manipular la variable temperatura, con la finalidad de encontrar la temperatura ideal de carbonización del precursor, luego se va a manipular la temperatura y pH de la solución acuosa de Cd. La manipulación de las variables se realizó manipulando una tras otra.
- **Enfoque de la investigación.** La presente investigación se considera de enfoque cuantitativo, debido a que, al momento de realizar la experimentación, se realizaron varios ensayos, dando como resultados valores numéricos con sus respectivas unidades, que posteriormente fueron procesados.

3.2. Ámbito temporal y espacial

- **Ámbito temporal.** La presente investigación se realizó en un período de nueve meses, desde diciembre de 2022 hasta agosto de 2023.
- **Ámbito espacial.** La presente investigación se realizó en el laboratorio de Operaciones unitarias de la Facultad de Ingeniería Química y Textil (FIQT), de la Universidad Nacional de Ingeniería (UNI), debido a que en época de pandemia los laboratorios de la FIGAE estaban cerrados, adicionalmente se utilizó las instalaciones del laboratorio de Química General e Inorgánica de la FIQT de la UNI.

Figura 16

Laboratorio de Operaciones unitarias de la FIQT de la UNI



Figura 17

Laboratorio de Química General e Inorgánica de la FIQT de la UNI



3.3. Variables

La presente investigación tiene una variable independiente y una variable dependiente.

Variable independiente: carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*)

Dimensiones:

- Activación química con H_3PO_4
- Temperatura de carbonización del precursor
- Temperatura de activación

Variable dependiente: cadmio (II) de una solución acuosa

Dimensiones:

- Concentración de cadmio (II)
- Tiempo de contacto
- pH

Operacionalización de variables

La operacionalización de las variables permitió no sólo definirlas sino también encontrar la relación entre la variable independiente y la variable dependiente. Por otro lado, hizo posible identificar el elemento de medida (indicador) de las variables, e, indicar el instrumento de cuantificación del indicador.

En la presente investigación se definió una variable independiente y una variable dependiente.

Tabla 5

Operacionalización de variables

Variables	Indicador	Técnica	Instrumento	Criterio de evaluación	Tipo de valor
Variable independiente: carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Activación química con H_3PO_4	Observación de la activación	Guía de observación	%	Valor continuo
	Temperatura de carbonización del precursor	Observación del termómetro	Escala de observación	°C	Valor continuo
	Temperatura de activación	Observación del termómetro	Escala de temperatura	°C	Valor continuo
Variable dependiente: cadmio (II) de una solución acuosa	Concentración de cadmio (II)	Observación del instrumento digital	Lista de cotejo	mg/L	Valor continuo
	Tiempo de contacto	Observación del termómetro	Matriz de registro	min	Valor continuo
	pH	Observación del instrumento digital	Escala de pH	Unidades	Valor continuo

Nota: Basada en la metodología propuesta (2023).

3.4. Población y muestra

Población

- El concepto de población en estadística va más allá de lo que comúnmente se conoce como tal. Una población se precisa como un conjunto finito o infinito de personas u objetos que presentan características comunes.
- Una *población finita* se considera cuando, estadísticamente hablando, hay menos de 10.000 elementos, en este caso “litros”, es decir, 10.000 litros.
- Para la presente investigación, la población en términos estadísticos está conformada por 5 litros de una solución acuosa de Cd (II) contenidos en un tanque reactor.

Muestra

- Una muestra es una representación significativa de las características de una población, que bajo, la asunción de un error (generalmente no superior al 5%) estudiamos las características de un conjunto poblacional mucho menor que la población global.
- Para la presente investigación se consideró el 1% del tamaño de la población, es decir, 0,5 L ($0,10 * 5 = 0,5$).
- Tipo de muestreo: se realizó un muestreo al azar, es decir, se obtuvo una alícuota de la solución de Cd (II), para realizar los ensayos.

3.5. Instrumentos

Técnicas empleadas en la investigación

Las técnicas empleadas en la presente investigación han permitido recoger los datos de la presente investigación, asociadas a las variables establecidas, con la finalidad de poder demostrar las hipótesis planteadas.

- Para la activación química se empleó la observación selectiva.
- Para determinar la temperatura de carbonización del precursor, se empleó la observación del termómetro.
- Para determinar la temperatura de activación, se empleó la observación del termómetro.
- Para determinar la concentración de Cd (II), se empleó la observación del instrumento espectrómetro de adsorción atómica.
- Para determinar el tiempo de contacto, se empleó la observación del cronómetro.
- Para determinar el pH, se empleó la observación del instrumento digital.

Instrumentos empleados en la investigación

Los instrumentos empleados han permitido recoger los datos de la presente investigación, asociadas a las variables establecidas, con la finalidad de poder demostrar las hipótesis planteadas.

- Para registrar la activación química se empleó la guía de observación.
- Para registrar la temperatura de carbonización del precursor se empleó la escala de observación.
- Para registrar la temperatura de activación se empleó la escala de temperatura.
- Para registrar la concentración de Cd (II) se empleó la lista de cotejo.
- Para registrar el tiempo de contacto se empleó la matriz de registro.

- Para el registro del pH se registró en la escala de pH.

3.6. Procedimientos

El trabajo de la investigación consistió en lo siguiente:

A. *Obtención del carbón activado.*

- Trozado del tronco de eucalipto, con un $\Phi = 0,3$ cm y una $l = 2$ cm.
- Secado del eucalipto a una $T = 110$ °C, durante $t = 5$ hr (en una estufa).
- Obtención de precursor: enfriamiento del eucalipto a $T = 25$ °C (en un desecador).
- Pesado del precursor: se obtiene W_1 (en una balanza digital).
- Activación química, adición del agente impregnante, H_3PO_4 , con una $\rho = 1,428$ g/cc a una $T = 25$ °C.
- Razón de impregnación en masa (H_3PO_4 / precursor): $r = 1,00$.
- Agitación de la activación por $t = 8$ hr (agitador magnético).
- Carbonización, a una $T = 400$ °C durante $t = 1$ hr (en una mufla).
- Enfriamiento del carbón, a temperatura $T = 25$ °C (en un desecador).
- Molienda del carbón (en un mortero).
- Tamizado del carbón, pasante por una malla M200 (en cernidor).
- Lavado del carbón, con abundante agua destilada (en un equipo de filtrado).
- Secado del carbón a una $T = 110$ °C, durante $t = 5$ hr (en una estufa).
- Obtención de carbón activado: enfriamiento del carbón a $T = 25$ °C (en un desecador).
- Pesado del carbón activado: se obtiene W_2 (en una balanza digital).

B. Preparación de la solución acuosa de Cd (II).

- Diluir una solución de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, hasta obtener disoluciones de 0,7; 20,3; 26,8; 38,4; 59,6; y 74,6 mg/L de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ [para $T = 400^\circ\text{C}$]
- Las nuevas soluciones serán empleadas para relacionarlas con el carbón activado obtenido en el paso 1.

C. Determinación de la isoterma de adsorción de Cd (II).

- Añadir 5000 mg de carbón activado en 100 ml de una solución acuosa de Cd (II) (erlemeyer).
- Agitar la mezcla durante a $T = 25^\circ\text{C}$, $t = 4\text{ hr}$, $\text{pH} = 4,0$, a 300 rpm (agitador magnético).
- Filtrar la solución obtenida (equipo de filtrado).
- Determinar la concentración de Cd (II) en la solución acusa obtenida (espectrofotómetro).

D. Determinación de la influencia de tiempo de carbonización del precursor.

- Repetir el paso 1, para $T = 500^\circ\text{C}$ y 600°C .

E. Determinación de la influencia del pH en una solución acuosa de cadmio (II).

- Repetir el paso 3, para $\text{pH} = 1,294; 4,202; 4,614; 6,191$ y $7,747$. Se emplearon C_0 (mg/L) = 0,0; 15,0; 22,0; 26,8 y 38,4.

3.7. Análisis de datos

- Una vez concluida la etapa de colección de los datos en una base de datos en Excel, se realizó el procesamiento y análisis de los datos de los elementos de la muestra determinada.

- Para el procesamiento de los datos, se utilizó herramientas informáticas, la hoja de cálculo de Excel.
- Para el análisis de datos, se examinó los valores registrados, lo cual permitió inspeccionar, limpiar y transformar los datos en una tabla, sólo se consideró aquellos valores que tiene una mínima desviación estándar.
- Para el análisis y muestra de los resultados obtenidos se desarrolló conteos donde se identificaron los aspectos relevantes de cada elemento, las notas representativas de cada variable y en particular de cada cuestión.

IV. RESULTADOS

4.1. Obtención del carbón activado

- **Trozado del tronco de eucalipto.**

Cuanto más pequeños son los trozos de eucalipto, mayor es la superficie, la mayor superficie permite una mayor interacción entre el material precursor y los agentes de activación, lo que deviene en un mayor rendimiento de carbón activado con las propiedades deseadas.

Al tratarse de pequeños trozos de eucalipto, facilita el acceso de los agentes activantes a los poros internos del material, lo que promueve una activación más uniforme en todo el material, convirtiéndose en un eficaz carbón activado.

Después de preliminares, se preparó trozos de $\Phi = 0,3$ cm y una $l = 2$ cm.

Figura 18

Trozos de eucalipto



- **Secado del eucalipto.**

El secado del eucalipto permite optimizar la activación térmica, ya que la humedad en del material puede afectar la efectividad de la activación térmica, secarlo previamente elimina la humedad, lo que permite una activación más uniforme y predecible.

Durante el proceso de activación, el agua contenida en el eucalipto se convertiría en vapor a altas temperaturas, lo que podría crear presión interna en el material y dañar la estructura.

Cuando se seca el eucalipto, se crea un espacio libre en los poros, que puede usarse para crear porosidad cuando se activa.

Después de realizar pruebas preliminares para el secado del eucalipto, se secó a una $T = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante $t = 5\text{ hr}$, en una estufa.

Figura 19

Secado del eucalipto



- **Obtención de precursor.**

La temperatura del eucalipto sin humedad es de 110 °C, se debe enfriar a temperatura ambiente, antes de la activación química.

Enfriar el eucalipto después del secado reduce la posibilidad de reacciones no deseadas que pueden cambiar la composición del material. Un enfriamiento gradual del eucalipto admite que la estructura del material se estabilice después del proceso de secado.

La manipulación de material caliente puede ser peligrosa debido al riesgo de quemaduras o daños, el enfriamiento hace que sea seguro para manipularlo antes del siguiente proceso. La humedad puede afectar negativamente la eficacia de la activación química.

Realizado el ensayo, se dejó enfriar hasta la temperatura ambiente, $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, en un desecador.

Se realiza el pesado del precursor (W_1) en una balanza digital.

Figura 20

Obtención del precursor



- **Activación química, adición del agente impregnante.**

El H_3PO_4 se utiliza en la activación química del eucalipto como un agente activador en la producción de carbón activado, la activación química permite agregar un reactivo químico al material precursor para generar una estructura que aumenta su capacidad de adsorción.

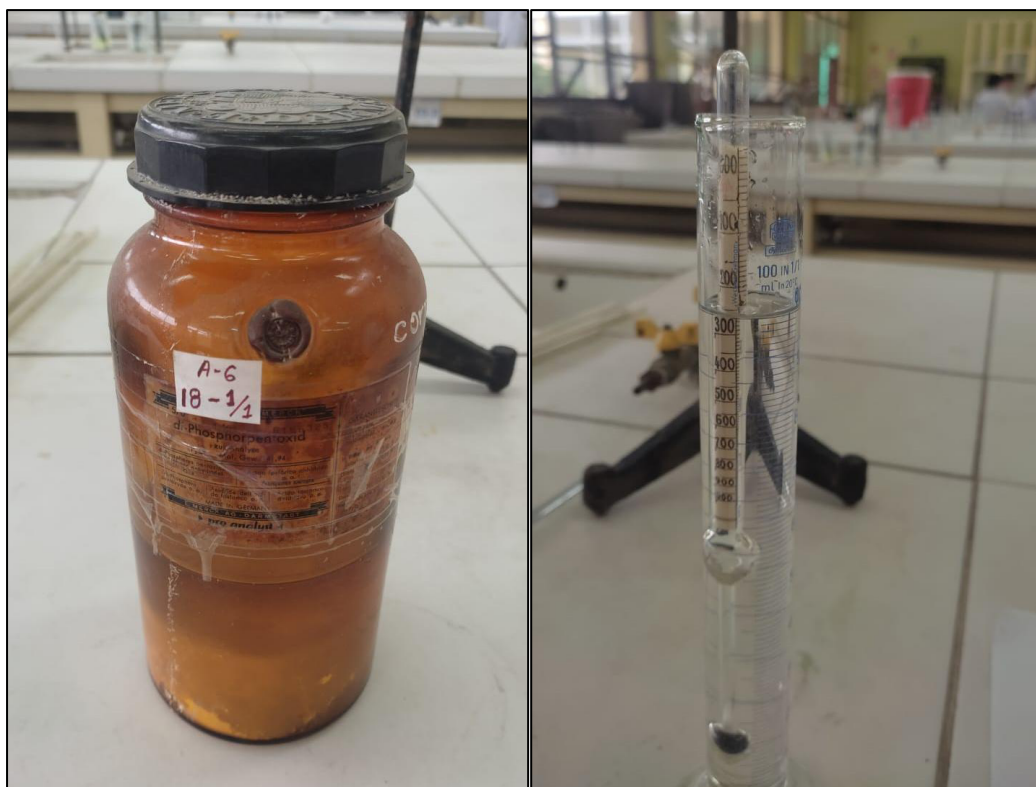
El H_3PO_4 se utiliza en la activación química del eucalipto para provocar cambios estructurales en el material precursor, generar porosidad y aumentar su área superficial y capacidad de adsorción.

El H_3PO_4 produce una estructura porosa altamente desarrollada, con una mezcla de diferentes tamaños de poros, incluidos microporos y mesoporos (Manjarrez Nevárez citado en Vanet y Dorregaray, 2018).

En el ensayo se utilizó H_3PO_4 , con una $\rho = 1,428 \text{ g/cc}$ a una $T = 25^\circ\text{C}$.

Figura 21

Activación química del precursor



- **Razón de impregnación en masa (r).**

Una vez preparada la solución de H_3PO_4 , a temperatura ambiente y con el cuidado que se requiere, se procede a sumergir el precursor en la solución preparada.

La cantidad de H_3PO_4 que se utiliza con la masa del precursor (eucalipto) puede variar entre 1:1 a 3:1, según diversos autores.

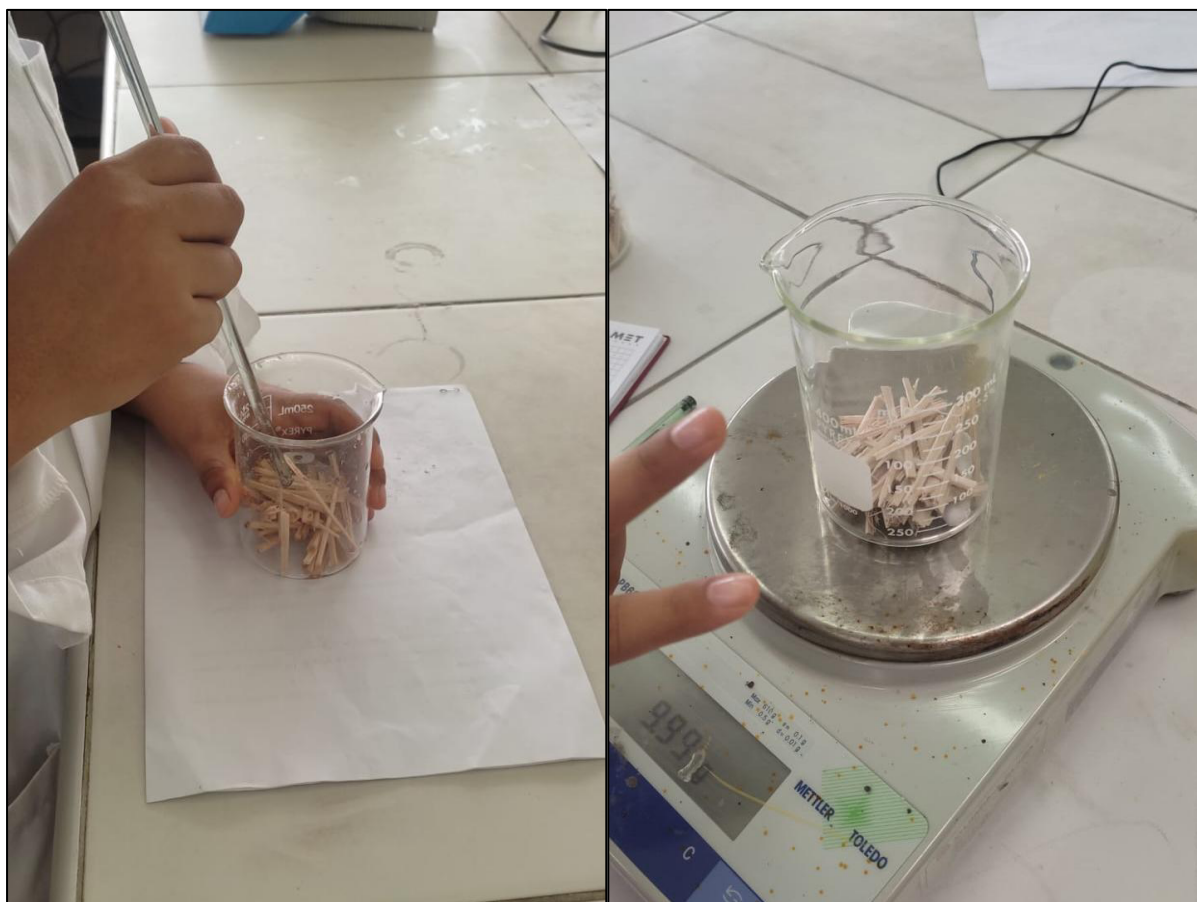
El tiempo de agitación fue de $t = 8$ hr en agitador magnético.

Algunos autores refieren que, esto depende de las características del material y las condiciones ambientales (Manjarrez Nevárez citado en Vanet y Dorregaray, 2018).

El ensayo se realizó con un $r = 1,00$; entre H_3PO_4 / precursor

Figura 22

Razón de impregnación



- **Tiempo de agitación de la activación.**

El tiempo de impregnación (retención) se refiere a la duración durante la cual el precursor está en contacto (sumergido) con el H_3PO_4 .

El objetivo es permitir que el H_3PO_4 reaccione con el precursor y se impregne uniformemente (sumergido) en su estructura.

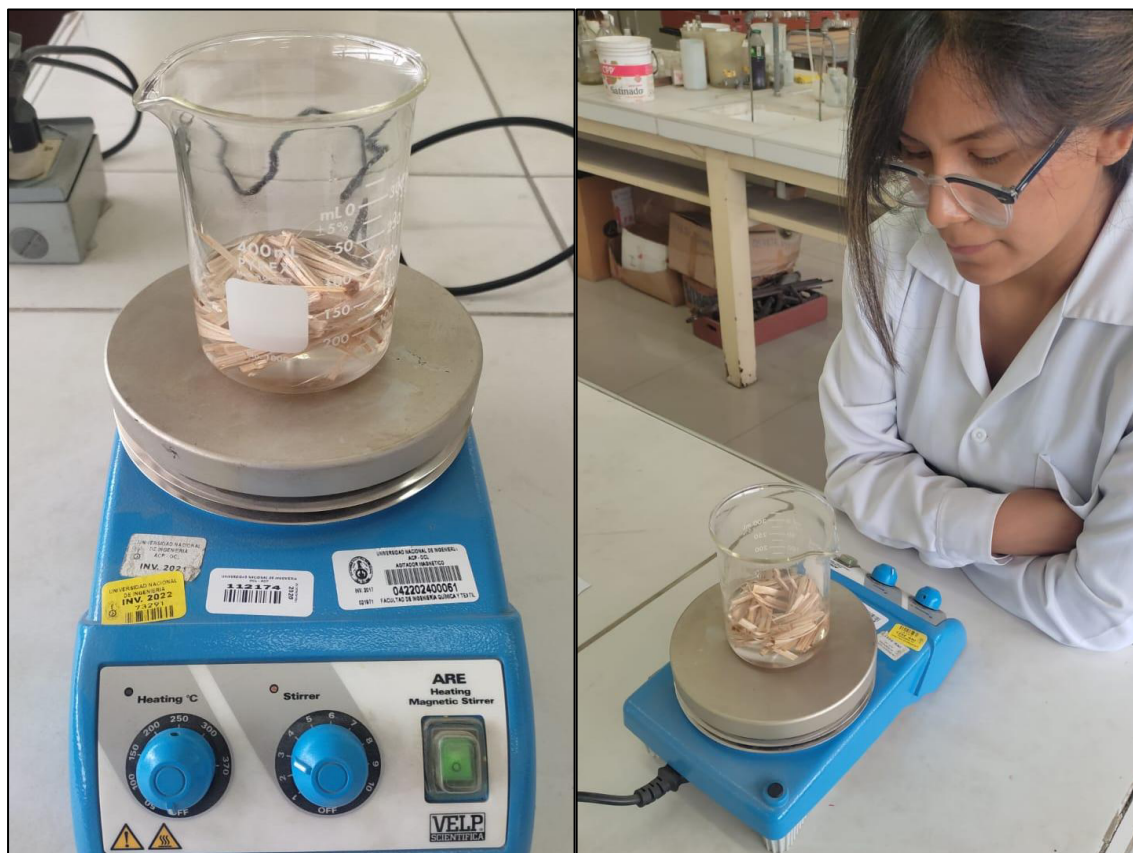
Algunos autores sostienen que largos períodos de tiempo pueden conducir a una saturación más profunda y consistente.

Se realiza en un vaso de precipitado de pírrex y un agitador magnético eléctrico (la pastilla de agitación está cubierto con porcelana).

Resultado del ensayo, se realizó la agitación de la mezcla sólido-líquido por un $t = 8 \text{ hr}$

Figura 23

Agitación en la impregnación



- **Carbonización del precursor impregnado.**

La temperatura ideal para la carbonización de un precursor impregnado con H_3PO_4 puede variar dependiendo de varios factores, como el tipo de precursor, la cantidad de H_3PO_4 utilizada, siendo las propiedades del precursor las más importantes.

La carbonización suele realizarse en un rango de temperatura que suele oscilar entre 400 °C - 800 °C, la temperatura debe ser lo suficientemente alta como para descomponer el precursor y eliminar componentes volátiles, como el agua y otros compuestos.

El ensayo se realizó a $T = 400\text{ °C}$ durante $t = 1\text{ hr}$, en una mufla.

Figura 24

Carbonización del precursor impregnado



- **Enfriamiento del carbón activado.**

Después de la carbonización, es importante enfriar el carbón activado para detener las reacciones químicas que puedan ocurrir en el material a altas temperaturas.

El intenso calor utilizado durante la carbonización puede hacer que el material se caliente mucho y, por lo tanto, sea susceptible a la degradación térmica tras un enfriamiento rápido.

Enfriar gradualmente el carbón activado ayuda a prevenir daños estructurales, como la formación de fisuras o la fragmentación del material.

A temperatura ambiente el carbón activado es fácil de manipular de forma segura, sin riesgos de quemaduras ni lesiones.

El ensayo concluyó hasta llegar a $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, en un desecador.

Figura 25

Enfriamiento del carbón activado



- **Molienda del carbón activado.**

La molienda mejora la homogeneidad de las partículas de carbón activado debido a que los trozos del precursor, sin bien es cierto que eran pequeños, pero, tenían una granulométrica no uniforme. La molienda fina puede igualar el tamaño de las partículas y garantizar que el carbón activado tenga una estructura porosa uniforme en toda la masa.

A medida que disminuye el tamaño de las partículas, la superficie total del carbón activado aumenta, cuanto más fino sea el material, mayor es su superficie, lo que determina su capacidad de adsorción.

Una superficie más grande significa que las moléculas pueden unirse a más lugares, por lo que el carbón activado adsorbe impurezas y compuestos no deseados.

Figura 26

Molienda del carbón activado



- **Tamizado del carbón activado.**

Cuando el carbón activado pasa a través de una malla fina, significa una molienda fina, lo que facilita la entrada de las moléculas en los poros internos del carbón activado.

Los poros más pequeños permiten que las sustancias adsorbidas entren mejor, lo que mejora la capacidad del carbón activado para atrapar moléculas.

Las partículas finas permiten una mejor dispersión y un mayor contacto con los activadores, lo que puede resultar en una activación más suave y efectiva.

Las partículas finamente molidas, que pasan a través del tamiz, pueden ser más reactivas debido a una mayor exposición de la superficie.

En el ensayo se utilizó un cernidor, M200.

Figura 27

Tamizado del carbón activado



- **Lavado del carbón activado.**

Durante el proceso de carbonización y molienda, pueden ingresar impurezas o residuos al carbón activado, el lavado ayuda a eliminar estas impurezas, asegurando que la limpieza y pureza del carbón activado.

El lavado permite eliminar residuos químicos que pueden impedir el uso posterior del carbón activado o afectar la calidad del producto final.

El lavado ayuda a neutralizar y eliminar la acidez residual del carbón activado. Esto es necesario para que el carbón activado no sea corrosivo o no cause problemas de pH.

El lavado puede ayudar a eliminar algunos residuos que pueden afectar negativamente a las propiedades del carbón activado, especialmente la capacidad de adsorción del Cd (II), su área superficial y su porosidad.

Figura 28

Lavado del carbón activado



- **Secado del carbón activado.**

Durante el proceso el carbón activado puede haber adsorbido agua. Secarlo ayuda a eliminar cualquier resto de humedad del material.

El agua en el carbón activado puede diluir su capacidad adsorbente y afectar su eficacia para eliminar el Cd y otras impurezas.

El secado del carbón activado después del lavado también ayuda a garantizar la estabilidad química del material, la humedad puede causar potencialmente reacciones no deseadas o la degradación del adsorbente, lo que afectaría su adsorción y eficiencia para eliminar el cadmio.

El secado adecuado puede aumentar la adsorción del carbón activado. Al eliminar la humedad, se restablecen las propiedades de adsorción óptimas del material, lo que permite una adsorción más eficiente del cadmio.

En el ensayo se secó a $T = 110\text{ }^{\circ}\text{C}$, durante $t = 5\text{ hr}$, en una estufa.

Figura 29

Secado del carbón activado



- **Obtención de carbón activado**

Después del enfriamiento, el carbón activado está listo para su uso en las siguientes etapas del proceso de producción.

A temperatura ambiente, el carbón activado es fácil de manipular de forma segura sin quemaduras ni lesiones.

El ensayo concluyó hasta llegar a $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, en una estufa.

Finalmente, después de un largo proceso, se obtiene el carbón activado con H_3PO_4 , este producto fue almacenado en un lugar exento de humedad, con la finalidad de que permitiera emplearlo para varios ensayos químicos para el desarrollo de la presente investigación.

Se realiza el pesado del carbón activado (W_2) en una balanza digital.

Figura 30

Obtención del carbón activado



- **Ensayos químicos.**

En esta investigación, se llevaron a cabo 10 ensayos de carbonización utilizando como precursor leña de eucalipto impregnado con H_3PO_4 .

La carbonización del precursor fue un proceso fundamental en la producción del carbón activado, cuya eficacia depende de una serie de factores intrínsecos, descrito líneas arriba.

Tabla 6

Obtención del carbón activado

Ensayo	Precursor (g)	Carbón (g)
1	354.44	90.73
2	284.04	64.19
3	297.69	85.14
4	325.69	82.56
5	297.75	83.67
6	326.85	93.81
7	230.88	43.87
8	318.56	75.49
9	290.45	67.96
10	278.65	72.17
Media (x)	300.50	75.96
Desv. Estándart (S)	33.79	14.80

La **Tabla 6**, muestra el resultado de los ensayos para la obtención de carbón activado (W_2), a partir del precursor eucalipto (W_1), impregnado de H_3PO_4 . Un peso promedio de precursor de 300,50 g resulta un peso promedio de carbón activado de 75,96 g, resultando un rendimiento promedio de 25,3%, para una temperatura de carbonización de $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$, un $t = 1\text{ hr}$ en la mufla. Se tiene una razón de impregnación $r = 1,00$.

4.2. Influencia de la temperatura de carbonización del precursor

- **Preparación de la solución de Cd (II).**

Con la finalidad de poder experimentar la actividad del carbón activado impregnado con H_3PO_4 , para poder adsorber Cd (II), se preparan varias soluciones a partir del $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$.

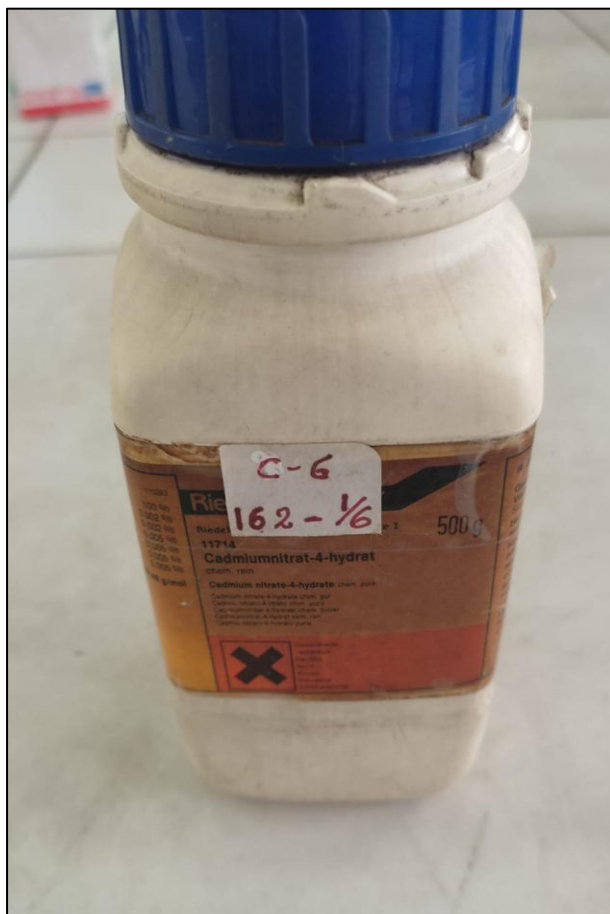
El Cd es un metal tóxico, en tal sentido se emplea los EPP adecuados, para proteger la vista, olfato y manos, además del guardapolvo de laboratorio.

Se emplea el $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$ QP con la finalidad de evitar impurezas en su contenido.

Las concentraciones de Cd (II) se preparan según los ensayos correspondientes.

Figura 31

Preparación de soluciones de Cd (II)



- Lectura de la concentración de Cd (II).

Figura 32

Espectrofotómetro de adsorción atómica



Temperatura de carbonización del precursor: 400 °C

- Se diluye una solución de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, hasta obtener una solución acuosa de Cd (II).
- Se pesa 5000 mg de carbón activado.

Tabla 7

Solución acuosa de Cd (II) (r1,00; T400; pH4,2)

Ensayo	Carbón activado (g)	Co (mg/L)
1	5.002	0.0
2	5.015	9.4

Ensayo	Carbón activado (g)	Co (mg/L)
3	5.009	20.3
4	5.015	26.8
5	5.016	38.4
6	5.013	59.6
7	5.008	74.6
Promedio	5.011	

Nota. El Co es el Cd (II) presente en la solución inicial. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se mezcló 5,011 g de carbón activado con una solución de Cd (II) con una concentración (Co mg/L). La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se añade el carbón activado en la solución acuosa de Cd (II).
- Se agita la mezcla a $T = 25\text{ }^{\circ}C$, $t = 4\text{ hr}$, $pH = 4,2$ a 300 rpm (agitador magnético).
- Se filtra la solución obtenida (equipo de filtrado).
- Se determina la cantidad de Cd (II) en la solución acusa remanente (q_e).

Tabla 8

Cd (II) en la solución remanente ($r1,00$; $T400$; $pH4,2$)

Ensayo	Ce (mg/L)
1	0.0
2	0.7
3	6.8
4	11.2
5	22.5
6	43.2
7	58.3

Nota. El C_e es el Cd (II) residual en la solución final. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se determinó la concentración en equilibrio (C_e) expresado en mg de Cd (II) contenidos en la solución remanente. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se determina la cantidad de Cd (II) retenido en el carbón activado.

Tabla 9

Cd (II) retenido en el carbón activado ($r1,00$; $T400$; $pH4,2$)

Ensayo	C_o (mg/L)	C_e (mg/L)	Cd (II) adsorbido (mg/L)
1	0.0	0	0.0
2	9.4	0.7	8.7
3	20.3	6.8	13.5
4	26.8	11.2	15.6
5	38.4	22.5	15.9
6	59.6	43.2	16.4
7	74.6	58.3	16.3

Nota. El Cd adsorbido se obtiene por la diferencia entre el C_o (Cd en la solución inicial) y el C_e (Cd residual de la solución). Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400\text{ }^{\circ}C$. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se determina la capacidad de adsorción (q_e).

Tabla 10*Capacidad de adsorción q_e ($r1,00$; $T400$; $pH4,2$)*

Ensayo	Cd (II) adsorbido (mg)	Carbón activado (g)	q_e (mg/g)
1	0	5.002	0.0
2	8.7	5.015	1.7
3	13.5	5.009	2.7
4	15.6	5.015	3.1
5	15.9	5.016	3.2
6	16.4	5.013	3.3
7	16.3	5.008	3.3

Nota. El q_e se obtiene dividiendo el Cd adsorbido entre el carbón activado. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400$ °C. Para cada ensayo, se determinó la capacidad de adsorción (q_e), que es la relación entre el peso de Cd (II) adsorbido y el peso de carbón activado. La agitación duró $t = 4$ hr. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300$ rpm.

- Se determina la isoterma de adsorción de Cd (II) en carbón activado con H_3PO_4 .

Tabla 11*Isoterma de adsorción Cd (II) en carbón activado ($r1,00$; $T400$; $pH4,2$)*

Ensayo	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
1	0.0	0.0
2	0.7	1.7
3	6.8	2.7
4	11.2	3.1
5	22.5	3.2
6	43.2	3.3
7	58.3	3.3

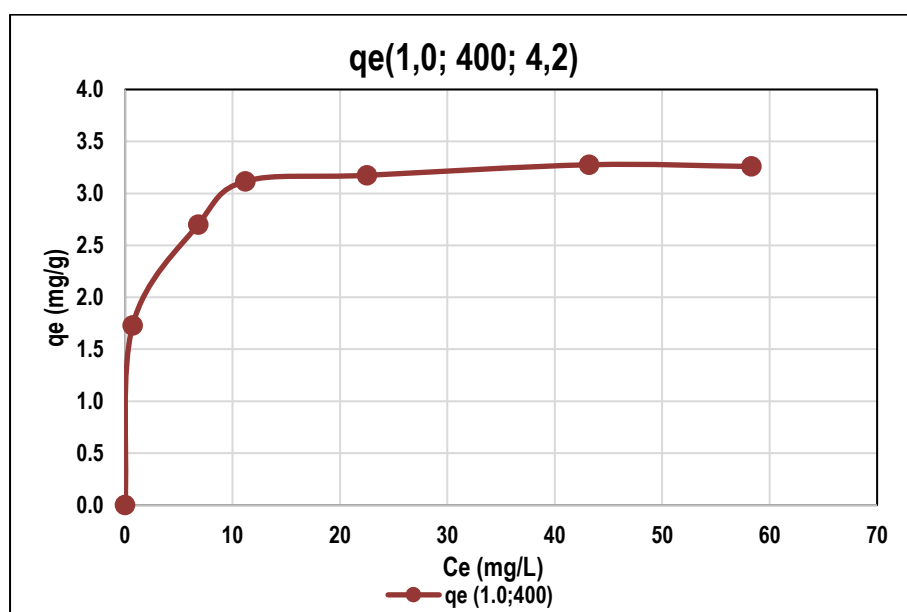
Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400$ °C. Para cada ensayo, se determinó la capacidad de adsorción (q_e), que

es la relación entre el peso de Cd (II) adsorbido y el peso de carbón activado. La agitación duró $t = 4$ hr. Para $\text{pH} = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300$ rpm.

- Se grafica la isoterma de adsorción de Cd (II) en carbón activado con H_3PO_4 .

Figura 33

Isoterma de adsorción Cd (II) ($r1,00$; $T400$; $\text{pH}4,2$)



Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400$ °C. Para cada ensayo, se determinó concentración en equilibrio C_e (mg/L) y la capacidad de adsorción q_e (mg/g). La agitación de impregnación duró $t = 4$ hr. Para $\text{pH} = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300$ rpm.

En la **Figura 33**, se observa que, el valor de q_e tiene un comportamiento ascendente de forma rápida, a medida que aumenta el valor de C_e , hasta $11,2$ mg/L; a partir de este punto, q_e presenta su máximo valor de $3,17$ mg/g, permanece constante, es decir, la isoterma se

estabiliza, en otras palabras, el carbón activado ya no puede adsorber más Cd. Este ensayo se da para $r = 1,00$; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\text{pH} = 4,2$.

En la **Figura 33**, para $q_e = 3,17\text{ mg/L}$ (**Tabla 10**), se tiene $C_{\text{retenido}} = 15,9\text{ mg/L}$ (**Tabla 9**) y $C_o = 38,4\text{ mg/L}$ (**Tabla 7**), en tal sentido el rendimiento es 41,4%. Calculado para $r = 1,00$; $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\text{pH} = 4,2$.

- **Porcentaje de remoción de Cd (II).**

Tabla 12

Remoción de Cd (II) ($r1,00$; $T400$; $\text{pH}4,2$)

Ensayo	Carbón activado (g)	Co (mg/L)	Cd (II) adsorbido (mg/L)	% Remoción
1	5.002	0.0	0.0	0.0
2	5.015	9.4	8.7	1.73
3	5.009	20.3	13.5	2.70
4	5.015	26.8	15.6	3.12
5	5.016	38.4	15.9	3.17
6	5.013	59.6	16.4	3.28
7	5.008	74.6	16.3	3.26
Promedio				3.07

Nota. De la **Tabla 7** y **Tabla 9** se tiene: carbón activado (g), Co (mg/L) y Cd(II) adsorbido (mg/L). El % Remoción se obtiene dividiendo el Cd absorbido entre el Cd en la solución inicial, multiplicado por 100.

En la **Tabla 12**, se observa en la columna 2, para carbón activado de 5.015 g, se tiene dos valores de 1.73% y 3.28%, esto se explica porque, para el primer valor se tiene un Co =

9.4 mg/L y para el segundo valor se tiene un $C_o = 26.8$ mg/L, siendo el primero una concentración inicial demasiado baja, motivo por el cual se descarta este valor.

En la **Tabla 12**, se tiene una remoción de **3.07%**. Este ensayo se realizó para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400$ °C. La agitación duró $t = 4$ hr. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300$ rpm.

- **Correlación entre las dos variables.**

Tabla 13

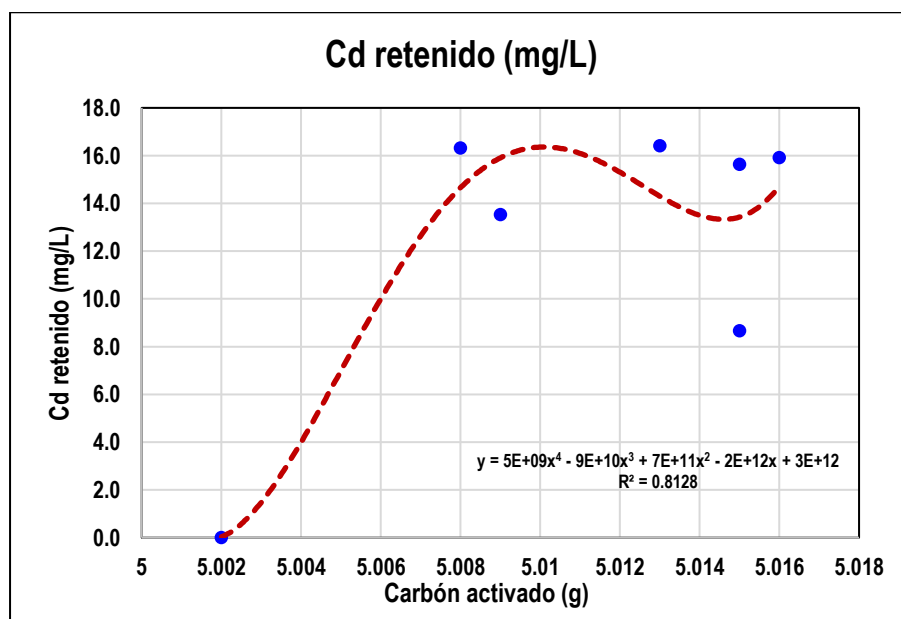
Correlación de variables ($r1,00$; $T400$; $pH4,2$)

Ensayo	Carbón activado (g)	Cd (II) adsorbido (mg/L)
1	5.002	0.0
2	5.015	8.7
3	5.009	13.5
4	5.015	15.6
5	5.016	15.9
6	5.013	16.4
7	5.008	16.3

Nota. De la **Tabla 7** y **Tabla 9** se tiene: carbón activado (g) y Cd(II) adsorbido (mg/L). los datos de ambas columnas se grafican con la finalidad de poder apreciar la correlación entre ambas variables. Este ensayo se realizó para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400$ °C. La agitación duró $t = 4$ hr. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300$ rpm.

Figura 34

Correlación de variables ($r=1,00$; $T=400$; $pH=4,2$)



De la **Figura 34** se tiene una correlación entre ambas variables, con y coeficiente de Pearson $r = 0,8128$. Este ensayo se realizó para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 400\text{ }^{\circ}C$. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

$$Y = 5E+09x^4 - 9E+10x^3 + 7E+11x^2 - 2E+12x + 3E+12$$

donde:

y es la cantidad de Cd retenido (mg/L) en el carbón activado.

x es la cantidad de carbón activado (mg/L) empleado.

Temperatura de carbonización del precursor: $500\text{ }^{\circ}C$

- Se diluye una solución de $Cd(NO_3)_2$, hasta obtener una solución acuosa de Cd (II).

- Se pesa 5000 mg de carbón activado.

Tabla 14

Solución acuosa de Cd (II) (r1,00; T500; pH4,2)

Ensayo	Carbón activado (g)	Co (mg/L)
1	5.008	0.0
2	5.016	0.6
3	5.001	12.4
4	5.016	19.9
5	5.019	37.4
6	5.007	51.8
7	5.012	75.5
Promedio	5.011	

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 500\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se mezcló 5,011 g de carbón activado con una solución de Cd (II) con una concentración (Co mg/L). La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se añade el carbón activado en la solución acuosa de Cd (II).
- Se agita la mezcla a $T = 25\text{ }^{\circ}C$, $t = 4\text{ hr}$, $pH = 4,2$ a 300 rpm (agitador magnético).
- Se filtra la solución obtenida (equipo de filtrado).
- Se determina la cantidad de Cd (II) en la solución acusa remanente (qe).

Tabla 15

Cd (II) en la solución remanente (r1,00; T500; pH4,2)

Ensayo	Ce (mg/L)
1	0.0
2	0.6
3	2.5
4	7.6

Ensayo	Ce (mg/L)
5	23.8
6	38.2
7	61.8

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 500\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se determinó la concentración en equilibrio (Ce) expresado en mg de Cd (II) contenidos en la solución remanente. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se determina la cantidad de Cd (II) retenido en el carbón activado.

Tabla 16

Cd (II) retenido en el carbón activado ($r1,00$; $T500$; $pH4,2$)

Ensayo	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Cd (II) adsorbido (mg/L)
1	0.0	0.0	0.0
2	6.4	0.6	5.8
3	12.4	2.5	9.9
4	19.9	7.6	12.3
5	37.4	23.8	13.6
6	51.8	38.2	13.6
7	75.5	61.8	13.7

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 500\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se determinó la concentración de Cd (II) adsorbido por el carbón activado. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se determina la capacidad de adsorción (q_e).

Tabla 17

Capacidad de adsorción q_e ($r1,00$; $T500$; $pH4,2$)

Ensayo	Cd (II) adsorbido (mg)	Carbón activado (g)	q_e (mg/g)
1	0	5.008	0.0
2	5.8	5.016	1.2
3	9.9	5.001	2.0
4	12.3	5.016	2.4
5	13.6	5.019	2.7
6	13.6	5.007	2.7
7	13.7	5.012	2.7

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 500$ °C. Para cada ensayo, se determinó la capacidad de adsorción (q_e), que es la relación entre el peso de Cd (II) adsorbido y el peso de carbón activado. La agitación duró $t = 4$ hr. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300$ rpm.

- Se determina la isoterma de adsorción de Cd (II) en carbón activado con H_3PO_4 .

Tabla 18

Isoterma de adsorción Cd (II) en carbón activado ($r1,00$; $T500$; $pH4,2$)

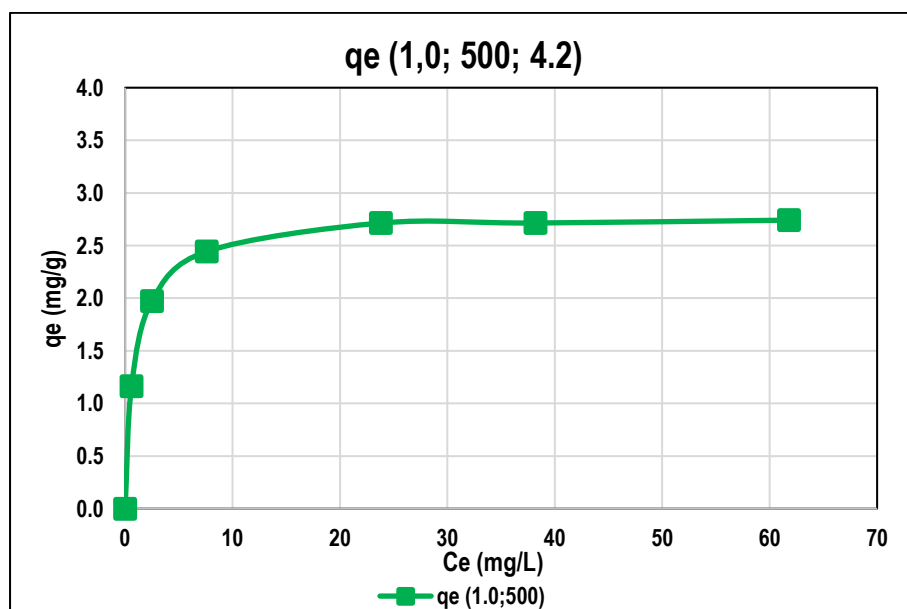
Ensayo	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
1	0	0.0
2	0.6	1.2
3	2.5	2.0
4	7.6	2.4
5	23.8	2.7
6	38.2	2.7
7	61.8	2.7

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para cada ensayo, se determinó capacidad de adsorción (q_e), que es la relación entre el peso de Cd (II) adsorbido y el peso de carbón activado. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se grafica la isoterma de adsorción de Cd (II) en carbón activado con H_3PO_4 .

Figura 35

Isoterma de adsorción Cd (II) ($r1,00$; $T500$; $pH4,2$)



Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para cada ensayo, se determinó concentración en equilibrio C_e (mg/L) y la capacidad de adsorción q_e (mg/g). La agitación de impregnación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

En la **Figura 35**, se observa que, el valor de q_e tiene un comportamiento ascendente de forma rápida hasta el valor de $2,51\text{ mg/g}$, a medida que aumenta el valor de C_e , hasta un valor

de 9.8 mg/L; el valor de q_e sigue aumentando hasta máximo valor de 2,74 mg/g, a medida que aumenta C_e hasta 23,7 mg/L, permanece constante, es decir, la isoterma se estabiliza, en otras palabras, el carbón activado ya no puede adsorber más Cd. Este ensayo se da para $r = 1,00$; $T = 500\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\text{pH} = 4,2$.

Temperatura de carbonización del precursor: 600 °C

- Se diluye una solución de $\text{Cd}(\text{NO}_3)_2$, hasta obtener una solución acuosa de Cd (II).
- Se pesa 5000 mg de carbón activado.

Tabla 19

Solución acuosa de Cd (II) ($r=1,00$; $T=600$; $\text{pH}=4,2$)

Ensayo	Carbón activado (g)	Co (mg/L)
1	5.016	0.0
2	5.004	7.9
3	5.012	10.9
4	5.009	17.1
5	5.011	34.6
6	5.004	56.9
7	5.015	72.7
Promedio	5.010	

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$. Para cada ensayo, se mezcló 5,011 g de carbón activado con una solución de Cd (II) con una concentración (Co mg/L). La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $\text{pH} = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se añade el carbón activado en la solución acuosa de Cd (II).
- Se agita la mezcla a $T = 25\text{ }^{\circ}\text{C}$, $t = 4\text{ hr}$, $\text{pH} = 4,2$ a 300 rpm (agitador magnético).
- Se filtra la solución obtenida (equipo de filtrado).

- Se determina la cantidad de Cd (II) en la solución acusa remanente (q_e).

Tabla 20

Cd (II) en la solución remanente ($r1,00$; $T600$; $pH4,2$)

Ensayo	Ce (mg/L)
1	0.0
2	2.3
3	3.8
4	8.4
5	24.4
6	46.7
7	62.4

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 600$ °C. Para cada ensayo, se determinó la concentración en equilibrio (C_e) expresado en mg de Cd (II) contenidos en la solución remanente. La agitación duró $t = 4$ hr. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300$ rpm.

- Se determina la cantidad de Cd (II) retenido en el carbón activado.

Tabla 21

Cd (II) retenido en el carbón activado ($r1,00$; $T600$; $pH4,2$)

Ensayo	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	Cd (II) adsorbido (mg/L)
1	0.0	0.0	0.0
2	7.9	2.3	5.6
3	10.9	3.8	7.1
4	17.1	8.4	8.7
5	34.6	24.4	10.2
6	56.9	46.7	10.2
7	72.7	62.4	10.3

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 600\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se determinó la concentración de Cd (II) adsorbido por el carbón activado. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se determina la capacidad de adsorción (q_e).

Tabla 22

Capacidad de adsorción q_e ($r1,00$; $T600$; $pH4,2$)

Ensayo	Cd (II) adsorbido (mg)	Carbón activado (g)	q_e (mg/g)
1	0	5.016	0
2	5.6	5.004	1.1
3	7.1	5.012	1.4
4	8.7	5.009	1.7
5	10.2	5.011	2.0
6	10.2	5.004	2.0
7	10.3	5.015	2.1

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 600\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se determinó la capacidad de adsorción (q_e), que es la relación entre el peso de Cd (II) adsorbido y el peso de carbón activado. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se determina la isoterma de adsorción de Cd (II) en carbón activado con H_3PO_4 .

Tabla 23

Isoterma de adsorción Cd (II) en carbón activado ($r1,00$; $T600$; $pH4,2$)

Ensayo	C_e (mg/L)	q_e (mg/g)
1	0	0.0
2	2.3	1.1
3	3.8	1.4

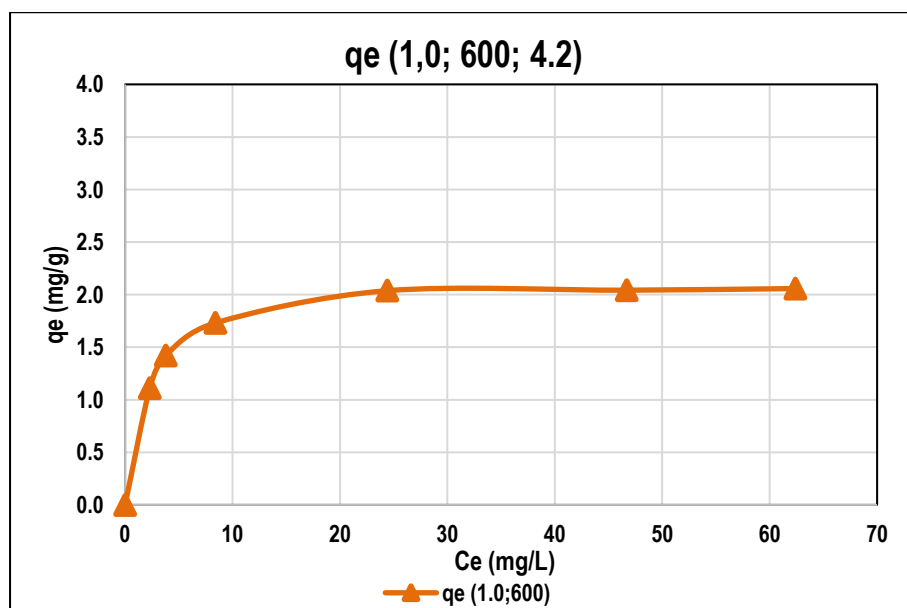
Ensayo	Ce (mg/L)	qe (mg/g)
4	8.4	1.7
5	24.4	2.0
6	46.7	2.0
7	62.4	2.1

Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 600\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se determinó la capacidad de adsorción (q_e), que es la relación entre el peso de Cd (II) adsorbido y el peso de carbón activado. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

- Se grafica la isoterma de adsorción de Cd (II) en carbón activado con H_3PO_4 .

Figura 36

Isoterma de adsorción Cd (II) ($r1,00$; $T600$; $pH4,2$)



Nota. Para $r = 1,00$. El carbón activado se consiguió al carbonizar el precursor impregnado con H_3PO_4 a una $T = 600\text{ }^{\circ}C$. Para cada ensayo, se determinó concentración en equilibrio C_e (mg/L) y la capacidad de adsorción q_e (mg/g). La agitación de impregnación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 4,2$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

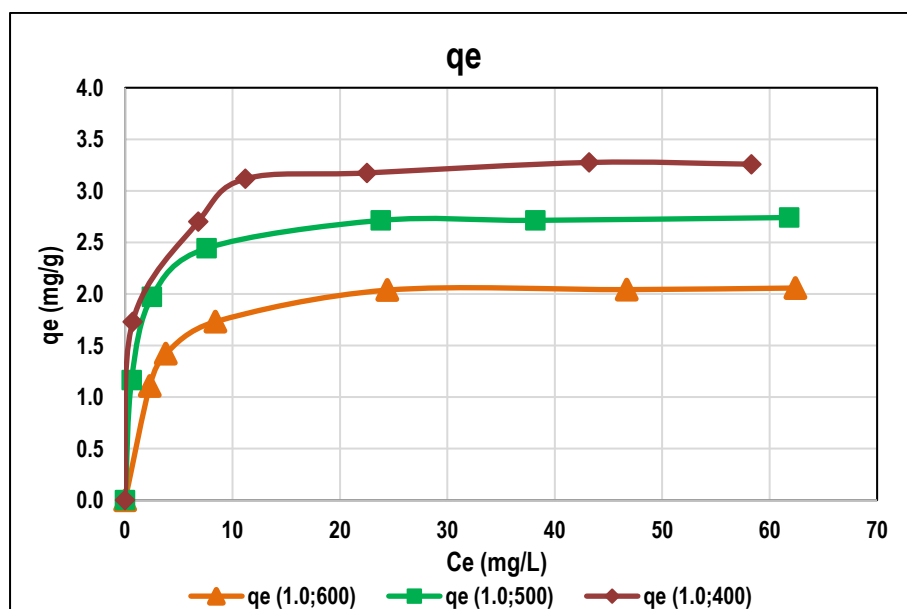
En la **Figura 36**, se observa que, el valor de q_e tiene un comportamiento ascendente de forma rápida hasta el valor de 1,71 mg/g, a medida que aumenta el valor de C_e , hasta un valor de 8,7 mg/L; el valor de q_e sigue aumentando hasta máximo valor de 2,01 mg/g, a medida que aumenta C_e hasta 22,5 mg/L, permanece constante, es decir, la isoterma se estabiliza, en otras palabras, el carbón activado ya no puede adsorber más Cd. Este ensayo se da para $r = 1,00$; $T = 600\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $\text{pH} = 4,2$.

Análisis comparativo de la temperatura de carbonización del precursor:

- Se determina influencia de la temperatura de carbonización del precursor activado con H_3PO_4 .

Figura 37

Isoterma de adsorción Cd (II) en carbón activado ($r1,00$; $T400/500/600$; $\text{pH}4,2$)



En la **Figura 37**, se observa las diferentes isothermas de adsorción de Cd (II) para diferentes temperaturas, 400 °C, 500 °C y 600 °C. Este ensayo se da para $r = 1,00$; $\text{pH} = 4,2$. Los tres valores de q_e tienen un comportamiento ascendente de forma rápida, a medida que aumenta C_e hasta 9,8 mg/L. De las tres isothermas, para un mismo valor de C_e , a mayor temperatura, mayor capacidad de adsorción (q_e). Queda establecido que a $T = 400$ °C tiene una mejor capacidad de adsorción.

4.3. Influencia del pH para remover Cd (II)

Antes de experimentar la influencia del pH para remover Cd (II) se requiere realizar dos pasos previos:

Primero, calibrar el equipo de medición Ohaus, modelo Starter5000.

Segundo, preparar soluciones de Cd (II) a diferentes pH.

- **Calibración del equipo para medir pH.**

La calibración garantiza que el equipo medidor de pH proporcione lecturas precisas y exactas.

Sin una calibración adecuada, las mediciones de pH pueden ser inexactas y dar lugar a resultados falsos en un experimento.

La calibración detecta y corrige errores del sistema en el dispositivo. Los errores sistemáticos son desviaciones constantes en las mediciones y pueden ser causados por el desgaste, el envejecimiento de los electrodos o cambios en las condiciones del equipo.

La calibración del dispositivo es una parte importante del control de calidad y garantiza la confiabilidad de las mediciones.

Figura 38

Calibración del equipo de medición de pH



- **Preparación de la solución de Cd (II).**

Una vez obtenido la solución de Cd (II), se requiere probar

Con la finalidad de poder experimentar la actividad del carbón activado impregnado con H_3PO_4 , para poder adsorber (II) a diferentes pH, se preparan la solución de Cd (II) a diferentes pH.

Para obtener el pH respectivo se le agrega una solución de Na(OH).

Hay que tener presente que el Na(OH) es una sustancia corrosiva y tóxica, para lo cual se debe de emplear los EPP correspondientes.

Figura 39

Obtención de la solución de Cd (II)



- Soluciones de Cd (II) a diferente pH.

Figura 40

Obtención de la solución de Cd (II) a diferentes pH



- Ensayos para la determinación del pH en soluciones de Cd (II).

Prueba: 1

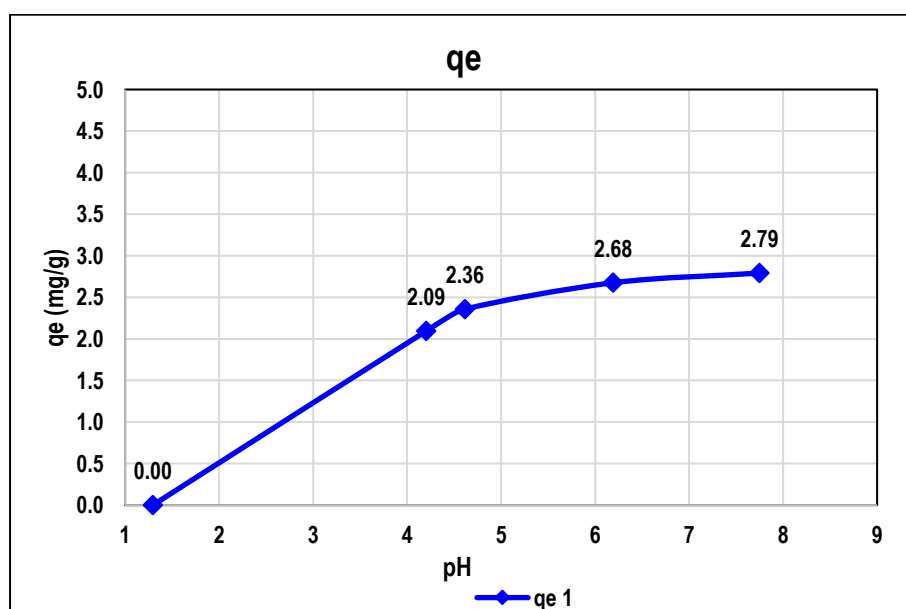
Tabla 24

Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 1

Ensayo	pH	carbón act (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C _{retenido} (mg)	q _e
1	1.294	5.002	0	0	0.0	0.00
2	4.202	5.015	15.0	4.5	10.5	2.09
3	4.614	5.008	22.0	10.2	11.8	2.36
4	6.191	5.009	26.8	13.4	13.4	2.68
5	7.747	5.015	38.4	24.4	14.0	2.79

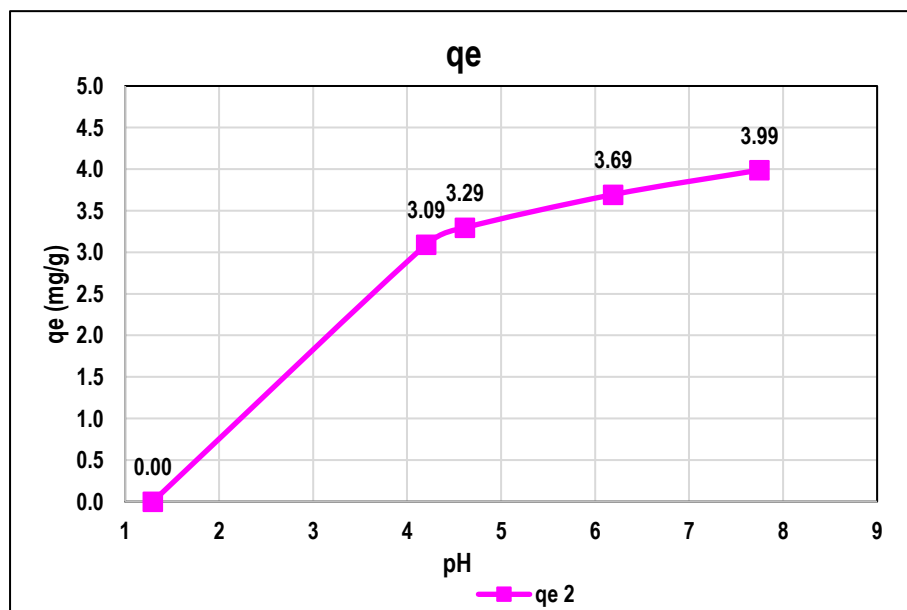
Figura 41

Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 1



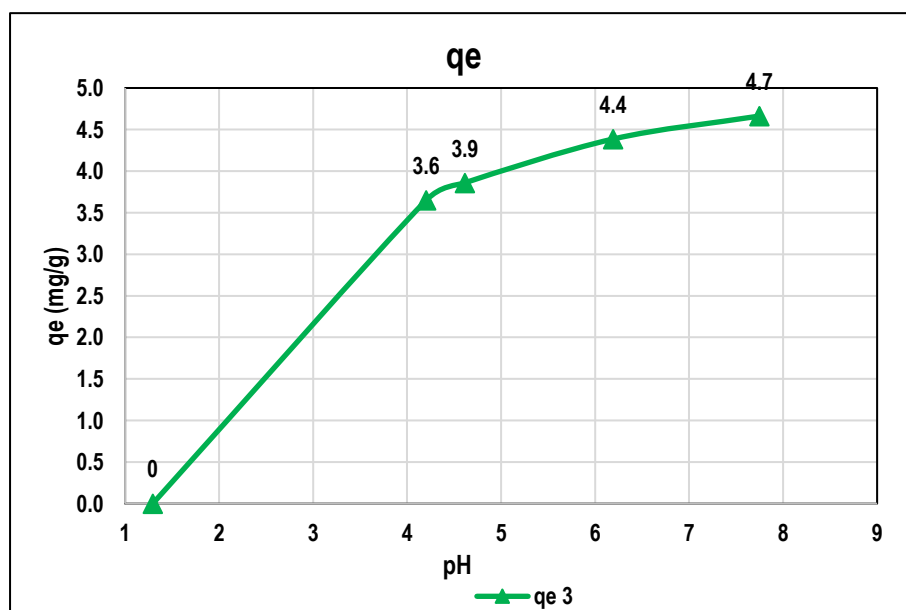
Prueba: 2**Tabla 25***Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 2*

Ensayo	pH	carbón act (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C _{retenido} (mg)	q _e
1	1.294	5.002	0	0	0.0	0.00
2	4.202	5.015	22.0	6.5	15.5	3.09
3	4.614	5.008	26.8	10.3	16.5	3.29
4	6.191	5.009	38.4	19.9	18.5	3.69
5	7.747	5.015	51.2	31.2	20.0	3.99

Figura 42*Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 2*

Prueba: 3**Tabla 26***Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 3*

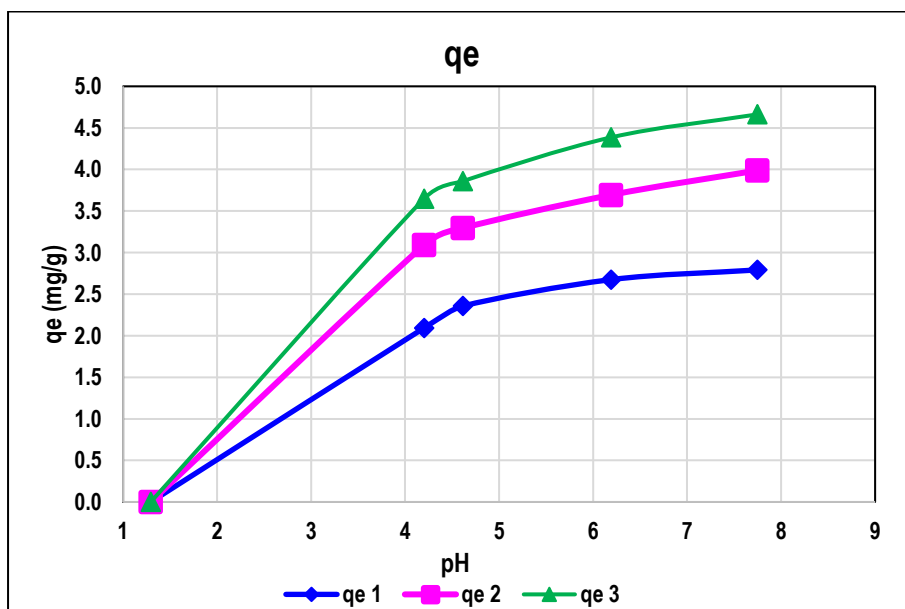
Ensayo	pH	carbón act (g)	Co (mg/L)	Ce (mg/L)	C _{retenido} (mg)	q _e
1	1.294	5.008	0	0	0.00	0.00
2	4.202	5.016	26.8	8.5	18.30	3.65
3	4.614	5.001	38.4	19.1	19.30	3.86
4	6.191	5.016	51.2	29.2	22.00	4.39
5	7.747	5.019	74.6	51.2	23.40	4.66

Figura 43*Influencia del pH en solución de Cd (II), prueba 3*

Análisis comparativo del pH en la solución de Cd (II):

Figura 44

Influencia del pH en solución de Cd (II)



Nota. Es muestra el efecto del pH en la capacidad de adsorción de Cd (II) debido a la presencia de carbón activado impregnado con H_3PO_4 , con $r = 1,00$, a una $T = 400\text{ }^{\circ}C$. La agitación de impregnación duró $t = 4\text{ hr}$. Para $pH = 1,294; 4,202; 4,614; 6,191$ y $7,747$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.

En la **Figura 44**, se observa el efecto del pH en la capacidad de adsorción de Cd (II) debido al carbón activado impregnado con H_3PO_4 , para un $pH = 7,747$ se muestra una mayor adsorción de Cd (II).

V. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

5.1. Bioacumulación del Cd

Retamal (2017) en Chile y Luna y Rodríguez (2015) en Perú, en ambas investigaciones se analizó la adsorción y bioacumulación de Cd, en diferentes cultivares de maíz y en cosechas en las cuencas de los ríos Mashcón y Chota, en Cajamarca, respectivamente. En ambas investigaciones se encontró Cd en los diferentes cultivares, lo cual demuestra, independientemente del origen del metal pesado, que el Cd se bioacumula en estos cultivares, y que, posteriormente, al ser ingeridos por los pobladores, este metal pesado pasará de la fuente contaminante a los cultivares y de estos al organismo del ser humano.

Mientras que Retamal (2017) y Luna y Rodríguez (2015), analizan la bioacumulación del Cd en diferentes cultivares, Peña (2016) en México, Vanet y Dorregaray (2018) en Perú, así como, la presente investigación, analizaron la adsorción de Cd en soluciones acuosas, a diferentes concentraciones del contaminante.

Peña (2016) obtiene una remoción de Cd de 48,15%, Vanet y Dorregaray (2018) obtienen una remoción de 32,76%, mientras que en la presente investigación se remueve 41,4%. Todas estas investigaciones coinciden en que la temperatura con mejores resultados es a $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.2. Carbón activado

Peña (2016) en México utiliza como precursor cáscara de plátano impregnado con H_2SO_4 , Vanet y Dorregaray (2018) en Perú utiliza como precursor cáscara de piña, mientras que, en la presente investigación se emplea como precursor eucalipto impregnado con HNO_3 , a diferentes temperaturas de carbonización y diferentes concentraciones del contaminante.

Peña (2016) en México realiza el tiempo de impregnación del H_2SO_4 en 24 hr, mientras que en la presente investigación se realiza en 8 hr.

5.3. Temperatura de carbonización

Vanet y Dorregaray (2018), así como, la presente investigación, realizan ensayos a $T=400\text{ }^{\circ}\text{C}$, $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ y $600\text{ }^{\circ}\text{C}$.

5.4. Influencia del pH

Peña (2016) y la presente investigación, en ambos casos se trabaja a pH ácido.

VI. CONCLUSIONES

- a) La experiencia permite determinar que el carbón activado a partir de eucalipto (*Eucalyptus globulus*) activado con H_3PO_4 , adsorbe Cd (II). Según los ensayos, se remueve 3,07% de Cd(II) de una solución acuosa con Cd (II).
- b) Después de una serie de pasos, se obtiene carbón activado a partir de eucalipto mediante la activación con H_3PO_4 , con una razón de impregnación de H_3PO_4 /precursor de $r = 1,00$ a una $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Se trozó finamente el precursor, introduciéndolo en una solución de H_3PO_4 , con el auxilio de un agitador magnético por $t = 8\text{ hr}$, para luego introducirlos en una mufla durante $t = 1\text{ hr}$.
- c) Después de realizar varios ensayos a diferentes isothermas, se determina que para una $T = 400\text{ }^{\circ}\text{C}$ de carbonización se obtiene una mayor capacidad de adsorción (q_e), con una $r = 1,00$ a un $pH = 4,2$. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$.
- d) Después de realizar varios ensayos a diferentes pH se determina una mayor capacidad de adsorción (q_e) a un $pH = 7,74$. La agitación duró $t = 4\text{ hr}$ a una velocidad de agitación $v = 300\text{ rpm}$. A mayor pH, mayor es la adsorción del Cd (II).

VII. RECOMENDACIONES

- a) La FIGAE de la UNFV podría financiar producción de plantas pilotos para el tratamiento de aguas residuales, en zonas en donde existe contaminación por cadmio y al mismo tiempo, exista eucalipto, con la finalidad de mitigar los impactos ambientales producido por este metal pesado.
- b) La FIGAE podría promover y financiar investigaciones relacionadas al presente tema, para poder determinar la influencia del tiempo de carbonización del precursor al momento de colocarlo en la mufla, con la finalidad de disminuir los costos de adsorción de Cd.
- c) La FIGAE podría promover y financiar investigaciones relacionadas al presente tema, para poder determinar la influencia de dos variables, tiempo de agitación y temperatura de contacto, al momento de impregnar el carbón activado con H_3PO_4 , con la finalidad de disminuir los costos de adsorción de Cd.
- d) La FIGAE podría promover y financiar investigaciones relacionadas al presente tema, para poder determinar la influencia de dos variables, pH de la solución de Cd y RPM, con la finalidad de disminuir los costos de adsorción de Cd.

VIII. REFERENCIAS

- Alvitres, G. (27 de junio de 2023). Perú: las heridas que han dejado medio siglo de derrames en territorio achuar en la Amazonía. <https://es.mongabay.com/2023/06/peru-heridas-que-han-dejado-medio-siglo-de-derrames-en-territorio-achuar/>
- Arellano, A. (17 de agosto de 2023). México: para nosotros ese territorio y ese río significaban vida, pero ahora como se siguen dando las cosas, son muerte. *Diario Mongabay*. <https://es.mongabay.com/2023/08/impacto-derrame-minera-grupo-mexico-entrevista-martha-velarte/>
- Barbarán, M. (2019). *Caracterización de la producción y comercialización de carbón vegetal en el distrito de Manantay, Coronel Portillo – Ucayali*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ucayali]. Repositorio Institucional UNU. <https://repositorio.unu.edu.pe/items/d0ad7f04-9484-46d3-99a0-f2ff2ced0ba4>
- Bayón, A. (13 de febrero de 2022). ¿Por qué el río Danubio ya no es azul? *Muy interesante*. <https://www.muyinteresante.es/naturaleza/articulo/por-que-el-rio-danubio-ya-no-es-azul-511644514896>
- Cabañero, A. (31 de octubre de 2022). Los peligros de las presas en desuso: lodos tóxicos y destrucción del ecosistema fluvial. *Mdo. Madridiario*. <https://www.madridiario.es/peligros-presas-desuso-lodos-toxicos-destruccion-ecosistema-fluvial>
- Carril, P. (11 de noviembre de 2023). Descubre el árbol del eucalipto, usos, tipos y debates ambientales. *Jardinatis*. <https://www.hogarmania.com/jardineria/mantenimiento/jardin/eucalipto-4916.html>

Decreto Supremo N° 001-2010-AG. Decreto Supremo que aprueba el reglamento de la Ley N° 29338, Ley de Recursos Hídricos. (23 de marzo de 2010).

<https://www.sunass.gob.pe/wp-content/uploads/2020/09/Decreto-Supremo-N%C2%B0-001-2010-AG-Reglamento-de-la-Ley-de-Recursos-H%C3%ADdricos..pdf>

Decreto Supremo N° 010-2010-MINAM. Decreto Supremo que aprueba los Límites Máximos Permisibles para la descarga de efluentes líquidos de actividades minero-metalúrgicas. (20 de agosto de 2010). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-limites-maximos-permisibles-descarga-efluentes-liquidos>

Decreto Supremo N° 004-2017-MINAM. Decreto Supremo que aprueba los Estándares de Calidad Ambiental (ECA) para agua y establecen disposiciones complementarias. (7 de junio de 2017). <https://sinia.minam.gob.pe/normas/aprueban-estandares-calidad-ambiental-eca-agua-establecen-disposiciones>

Decreto Supremo N° 001-2019-VIVIENDA. Decreto Supremo que aprueba el Reglamento de Valores Máximos Admisible (VMA) para descargas de aguas residuales no domésticas en el sistema de alcantarillado sanitario. (11 de marzo de 2019) https://cdn.www.gob.pe/uploads/document/file/306588/DS_010-2019-VIVIENDA.pdf?v=1554760385

Fowks, J. (21 de octubre de 2022). Un grupo de peruanos lucha contra la contaminación por metales en una demanda pionera. *El País*. <https://elpais.com/america-futura/2022-10-21/un-grupo-de-peruanos-lucha-contra-la-contaminacion-por-metales-en-una-demanda-pionera.html>

García, L., Angulo, C., Hernández, A., Corazón, G., Albuquerque, V., Guerrero, A., Arellanos, E., Veneros, J., Rojas, B., Chavez, Q. y Oliva, M. (2021). Estudios globales sobre el cadmio en relación con *Theobroma cacao*: Un análisis bibliométrico desde Scopus

(1996-2020). *Scientia Agropecuaria*. 12(4).

http://www.scielo.org.pe/scielo.php?pid=S207799172021000400611&script=sci_arttext

Godoy, E. (7 de noviembre de 2022). El río Bogotá fluye entre la suciedad, el saneamiento y la incertidumbre. *Inter Press Service*. <https://ipsnoticias.net/2022/11/el-rio-bogota-fluye-entre-la-suciedad-el-saneamiento-y-la-incertidumbre/>

Jabiel, S. (17 de agosto de 2022). Mujeres indígenas lideran la defensa de la vida que se extingue en el lago Titicaca. *Dialogo Chino*. <https://dialogochino.net/es/clima-y-energia-es/57223-mujeres-indigenas-lideran-la-defensa-de-la-vida-que-se-extingue-en-el-lago-titicaca/>

Kosheleva, R. Mitropoulos, A. C. y Kyzas J. Z. (28 de setiembre de 2018). *Synthesis of activated carbon from food waste [Síntesis de carbón activado a partir de residuos alimentarios]*. <https://link.springer.com/article/10.1007/s10311-018-0817-5>

Luna y Rodríguez (2015). *Determinación de las concentraciones de cadmio y plomo en papa (Solanum tuberosum) cosechada en las cuencas de los ríos Mashcón y Chota - Cajamarca* [Tesis de grado, Universidad Nacional Mayor de San Marcos]. <https://core.ac.uk/download/pdf/323351175.pdf>

M. H. (18 de octubre de 2022). Ecologistas en Acción simula el taponamiento del vertido de la mina Cobre Las Cruces para avisar de su impacto. *Diario de Sevilla*. https://www.diariodesevilla.es/provincia/ecologistas-accion-taponamiento-vertido-mina-cobre-cruces-impacto_0_1730528633.html

Manjarrez, L. (2007). *Síntesis de carbón activado a partir de bagazo de agave Tequilana Weber Var. Azul y su caracterización superficial y funcional*. Centro de investigación en materiales avanzados, S. C. Posgrado

<https://cimav.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1004/523/1/050%20MANJARREREZ%20NEVAREZ%20LAURA%20ALICIA%20%281%29.pdf>

Ministerio de Agricultura y Riego (24 de marzo de 2025). *Eucalipto*.

<https://www.midagri.gob.pe/portal/download/pdf/sectoragrario/agricola/lineasdecultivosemergentes/EUCALIPTO.pdf>

Nodal. (15 de junio de 2023). Perú: señalan a la ciudad de La Oroya como la quinta más contaminada del mundo. <https://www.nodal.am/2017/11/peru-senalan-la-ciudad-la-oroya-la-quinta-mas-contaminada-del-mundo/>

Organismo de Evaluación y Fiscalización Ambiental [OEFA] (28 de junio de 2022). OEFA: estos son los resultados de análisis de muestras de agua del río Chillón ante el derrame. *El Peruano*. <https://elperuano.pe/noticia/163469-oefa-estos-son-los-resultados-de-analisis-de-muestras-de-agua-del-rio-chillon-ante-el-derrame>

Peña C. A. D. (2021). *Estudio de la remoción (II) en medio acuoso utilizando la cascarilla de arroz como bioadsorbente*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional de Ingeniería].

Peña, D. (2016). *Remoción de Cd por Musa cavendishii L [plátano]*. [Tesis de grado, Universidad Autónoma del Estado de México]. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/58718/UAEM-FAPUR-TESIS-PE%C3%91A%20MENDIETA%20DIANA.pdf?sequence=1>

Pigueiras (24 de marzo de 2025). *Ficha técnica eucalipto*. Ecuador Forestal. <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-15-eucalyptus-globulus-labill/>

Retamal, J. (2017). *Adsorción y bioacumulación del cadmio en tres cultivares de maíz (Zea mays L.) para diferentes medioambientes de Chile*. [Tesis de doctorado, Universidad de Concepción]. Repositorio institucional UDEC.

http://repositorio.udec.cl/bitstream/11594/2711/3/Tesis_Absorcion_y_bioacumulacion.pdf

Rincon , N., Moreno, C. y Giraldo, L. (2015). Preparación de carbón activado a partir de semilla de eucalipto para la adsorción de compuestos fenólicos monosustituídos. *Revista Afinidad* 572, octubre-diciembre 2015.
<https://raco.cat/index.php/afinidad/article/view/305571/395409>

The Conversation (19 de junio de 2013). *Ríos Tinto y Odiel: el principal aporte de contaminantes tóxicos de origen minero a los océanos del mundo*.
<https://theconversation.com/rios-tinto-y-odiel-el-principal-aporte-de-contaminantes-toxicos-de-origen-minero-a-los-oceanos-del-mundo-207566>

Vanet, A., y Dorregaray, H. (2018). *Aplicación de adsorbentes de carbón preparados desde las cáscaras de la fruta piña (Ananas comosus) para remover metales pesados (Cd^{2+} , Pb^{2+}) desde soluciones acuosas*. [Tesis de pregrado, Universidad Nacional del Centro del Perú]. Repositorio Institucional UNCP.
<https://repositorio.uncp.edu.pe/bitstream/handle/20.500.12894/4933/Dorregaray%20De%20La%20Cruz%20.pdf?sequence=1>

IX.ANEXOS

Anexo A. Matriz de consistencia

REMOCIÓN DE CADMIO (II) DE UNA SOLUCIÓN ACUOSA CON CARBÓN ACTIVADO A PARTIR DE EUCALIPTO (*Eucalyptus globulus*)

Tabla 27

Matriz de consistencia

Problema general	Objetivo general	Hipótesis general	Variables	Dimensiones
¿Es factible el empleo de carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) para remover cadmio (II) de una solución acuosa?	Emplear carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) para remover cadmio (II) de una solución acuosa	El carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) remueve cadmio (II) de una solución acuosa	<i>Variable independiente:</i> carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Activación química con H_3PO_4 Temperatura de carbonización del precursor Temperatura de activación
Problema específico	Objetivo específico	Hipótesis específica	Variables	Dimensiones
¿Cuál es la factibilidad del carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) mediante activación química con H_3PO_4 ?	Obtener carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) mediante activación química con H_3PO_4	Se obtiene carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>) mediante activación química con H_3PO_4	<i>Variable dependiente:</i> cadmio (II) de una solución acuosa	Concentración de cadmio (II) Tiempo de contacto pH
¿Cuál es la influencia de temperatura de carbonización del precursor para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)?	Determinar la influencia de temperatura de carbonización del precursor para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Se determina la influencia de temperatura de carbonización del precursor para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)		
¿Cuál es la influencia del pH para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)?	Determinar la influencia del pH para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)	Se determina la influencia del pH para remover cadmio (II) de una solución acuosa al emplear carbón activado a partir de eucalipto (<i>Eucalyptus globulus</i>)		

Anexo B Autorización para desarrollar la investigación

C
125487

Solicito: Utilizar las Instalaciones de LOU

Ing. Mg.

EMERSON COLLADO DOMINGUES
Decano FIQT
Presente. -

De mi mayor consideración:

Yo, Diana Jhoselyn OBLITAS ALCARRAZ, con DNI nº 76699045, Bachiller en Ingeniería Ambiental de la UNFV con domicilio en Prolongación Vivienda Etapa III Mz J. Lt 7, el Agustino , ante usted me presento y digo:

Que; deseando realizar algunas pruebas de laboratorio para mi tesis de ingeniería con el tema de Remoción de cadmio (II) de una solución acuosa con carbón activado a partir de eucalipto (Eucalyptus globulus)

Solicito se dirija a quien corresponda se me brinde las facilidades para **UTILIZAR LAS INSTALACIONES DE LOU.**

Ex gracia que espero alcanzar por ser de justicia.

Lima, 08 de noviembre del 2022

DIANA JHOSELYN OBLITAS ALCARRAZ
Celular: 983414341
dj.oblitas@gmail.com
C.D. 2015017228



Anexo C Ficha Técnica del eucalipto

Cortesía de Pigueiras (24 demarzo de 2025), <https://ecuadorforestal.org/fichas-tecnicas-de-especies-forestales/ficha-tecnica-no-15-eucalyptus-globulus-labill/>

DESCRIPCIÓN TAXONÓMICA

- Familia. Myrtaceae
- Nombre Científico. *Eucalyptus globulus* Labill
- Nombre Común. Eucalipto
- Nombres comunes relacionados. Gomero Azul

DESCRIPCIÓN BOTÁNICA

- Tronco cilíndrico, recto, grueso alcanza hasta 2m. De DAP
- Copa alargada e irregular sobre un fuste limpio de ramas hasta en 2/3 de su altura total.
- Corteza de 3 cm. de grosor que desprende en tiras al madurar dejando una segunda corteza lisa dando al árbol un aspecto característica en ocasiones expulsa resina.



Caracteres botánicos

- Hojas juveniles opuestas, sésiles, de base cordada, de color gris-azulado, de 8-15 cm. de longitud y 4-8 cm. de anchura. Las adultas alternas, pecioladas, con la base cuneada, linear-lanceoladas, de 15-25 cm de longitud, con el ápice acuminado.
- Flores axilares, solitarias o en grupos de 2-3, de hasta 3 cm de diámetro, con numerosos estambres de color blanco.
- Fruto en cápsula campaniforme de color glauco y cubierta de un polvo blanquecino, de 1.4-2.4 cm. de diámetro.



- Semillas fértiles son negras, rugosas y mas grandes, los óvulos abortados son, rojizos y livianos.

ECOLOGÍA Y DISTRIBUCIÓN DE LA ESPECIE

El eucalipto es australiano; fue introducido en la sierra a alturas entre 2.200 y 3.200 msnm, al interior del callejón Interandino. Su rendimiento decae en zonas con periodos secos, prolongados, son neblina en zonas húmedas, con heladas en zonas secas y vientos frecuentes superiores a 8m/segundo. Generalmente se encuentran en plantaciones puras.

CARACTERÍSTICAS EDAFOCLIMÁTICAS

Requerimientos climáticos

Altitud:	2.200 – 3.300 msnm
Precipitación:	800 – 1.500 mm
Temperatura:	10,8 – 16,8 °C

Requerimientos edáficos

La especie se desarrolla mejor en suelos franco arenosos – arcillosos, o, areno – arcillosos, con un pH de 5 a 7, con buen drenaje y no compactados. La intensidad de la labranza depende del grado de la pendiente.



Factores limitantes de crecimiento

- Falta de boro y fósforo en los suelos (decae su crecimiento)
- La neblina
- Vientos superiores a 8m/s
- Susceptible a las sequías prolongadas.
- Los árboles jóvenes son susceptibles al fuego, pero éste no causa su muerte.



DESCRIPCIÓN SILVICULTURAL Y DE MANEJO DE LA ESPECIE

Características y tratamientos de la semilla

Por Kg. de semilla se pueden obtener 55.000 plantas, cuya germinación ocurre entre los 5 y 22 días. Al ser una semilla de tipo ortodoxa se debe almacenar a una temperatura de 3 – 5 °C con un contenido de humedad del 4 – 8%. Como tratamiento pre germinativo se recomienda remojar la semilla.



Producción en vivero

La siembra se la puede realizar en cajones (o semilleros de alta densidad poblacional) para luego de germinadas replicarlas a envases de diferentes materiales, tanto individuales como en bloques; cuando las plantas han alcanzado de 2 – 8 cm. de altura se realiza el trasplante, después de los cual a las dos semanas aproximadamente las plantas debe pasar por un proceso de rustificación.

Se recomienda un sustrato a base de 1 parte de tierra por 3 de cascarilla de arroz o arena, desinfección con 1 lt. de formol por m² al 20% de concentración, o mediante la utilización de 50 g de Basamid por m² con el sustrato húmedo.

Fuentes semilleras

Las fuentes semilleras son seleccionadas de plantaciones puras que presente un buen desarrollo y estado fitosanitario, es importante utilizar semilla certificada para que las plantaciones sean homogéneas y con un alto rendimiento.

Reproducción vegetativa

Con estacas provenientes de rebrotes, de longitud de 40 a 80 cm., se corta del tercio inferior del rebrote 2 a 3 estaquillas de 10 a 15 cm. de largo, con dos pares de hojas y un diámetro de 2 mm., se aplica ácido indol butírico en polvo o diluidas en alcohol como enraizante, se introduce la base de la estaca por unos segundos y se siembra inmediatamente en un sustrato franco arenoso.

Preparación del terreno

La intensidad de la labranza depende del grado de la pendiente. En zonas secas con terrenos tipo cangagua, es preferible plantar abriendo surcos que sigan las curvas de nivel, para aprovechar de mejor manera el agua lluvia.



Plantación (diseño y densidad)

Se considera el establecimiento inicial de 1.110 árboles por ha (3 m x 3m) con dos raleos que pueden realizarse al quinto y décimo año para fines comerciales; no se recomienda el uso como fines de protección por ser una especie introducida en el país. Como sistemas agroforestales puede ser utilizada como cortinas rompe vientos y en linderaciones de predios, los distanciamientos bajo este sistema dependerán del uso dado.

La especie presenta una poda natural de ramas, aunque en ciertas ocasiones se tenga que realizar una poda de las ramas bajas para evitar la presencia de nudos en la madera aserrada.

Crecimiento (IMA)

Los incrementos medios anuales son: de 1,2-1,6 m. en altura y de 1,1-1,2 cm en diámetro con un rendimiento en volumen de 16,76 – 26,24 m³/ha/año.

Manejo silvicultural

Los eucaliptos no se plantan con espaciamiento excesivo, se despojan, naturalmente de su ramas y no requieren prácticas de poda solo en muy contados casos es necesaria la poda.

No es fácil determinar cuándo se deben realizar los aclareos en una masa forestal, ya que los eucaliptos de 2 a 3 años crecen sin dificultad tanto en altura como en diámetro pero a partir de esa edad su copa tiene un crecimiento diametral hasta quedar este estacionario.

Turno o Rotación

En el país el turno previsto para esta especie se encuentra entre los 13 a 15 años.

Rendimientos volumétricos

10-12m³/ha/año.

Riesgos o peligros

Puede ser afectado por ataques de insectos y hongos. En vivero es atacado por la gota. Sufre ataques de defoliación por el escarabajo *Gonipterusscutellus*. En plantaciones se han

presentado enfermedades y muerte descendente, inducidas por déficit nutricionales. Los hongos patógenos que más afectan las plantaciones son: *Diplodiasp.* *Armillariasp.*, *Alteraniasp.* y *Corticium salmonicolor* que producen chancros, muerte descendente y pudriciones en las raíces.

USOS DE LA MADERA

Como trozas de más de 10 cm. de diámetro se exporta al Japón, Estados Unidos, Europa para pulpa de papel de alta calidad.

La industria de la construcción, por ser madera dura la utiliza en todas las formas que integra la llamada construcción estructural (columnas vigas, parquet y otros pisos). La madera aserrada se usa en la fabricación de revestimientos, muebles y carpintería en general.

También se utiliza como postes, durmientes y mangos de herramientas. Como leña o carbón no se consume tan rápido como el aliso, arde bien deja poca ceniza y se carboniza fácilmente produciendo un carbón de buena calidad.



Anexo D Densidades del ácido fosfórico

Innophos Phosphoric Acid

Table 9
Density¹ of Phosphoric Acid (over 60% H₃PO₄)⁽¹⁸⁾

Concentration		Density (g./cc.) at indicated							
percent by weight		temperatures, °C							
H ₃ PO ₄	P ₂ O ₅	25	30	40	50	75	100	125	150
60.75	44	1.428	1.424	1.418	1.411	1.394	1.377	1.360	1.343
63.51	46	1.457	1.453	1.446	1.439	1.422	1.405	1.387	1.37
66.28	48	1.486	1.482	1.475	1.468	1.450	1.432	1.415	1.397
69.04	50	1.515	1.511	1.504	1.497	1.478	1.460	1.442	1.424
71.80	52	1.544	1.540	1.533	1.515	1.507	1.488	1.469	1.451
74.56	54	1.573	1.569	1.562	1.554	1.535	1.518	1.497	1.478
77.32	56	1.602	1.598	1.590	1.583	1.563	1.544	1.524	1.505
80.08	58	1.631	1.627	1.619	1.611	1.591	1.572	1.552	1.532
82.84	60	1.660	1.656	1.648	1.640	1.620	1.599	1.578	1.558
85.61	62	1.689	1.689	1.681	1.673	1.653	1.633	1.613	1.593
88.37	64	1.725	1.722	1.714	1.706	1.686	1.667	1.647	1.627
91.13	66	1.758	1.754	1.746	1.738	1.719	1.700	1.681	1.661
93.89	68.33	1.763	1.760	1.752	1.744	1.725	1.706	1.686	1.667
96.65	68	1.791	1.787	1.779	1.772	1.753	1.734	1.715	1.696
99.41	70	1.823	1.820	1.812	1.805	1.786	1.767	1.748	1.73
99.41	72	1.856	1.852	1.845	1.838	1.819	1.801	1.782	1.764
100.00	72.43	1.863	1.859	1.852	1.845	1.826	1.808	1.789	1.771
102.17	74	1.889	1.886	1.878	1.871	1.852	1.834	1.816	1.798
104.94	76	1.921	1.918	1.911	1.903	1.885	1.868	1.850	1.832
107.70	78	1.954	1.950	1.943	1.936	1.919	1.901	1.884	1.866
110.12	79.76	1.983	1.979	1.972	1.965	1.948	1.931	1.914	1.896
110.46	80	1.987	1.983	1.976	1.969	1.952	1.935	1.918	1.900
113.22	82	2.019	2.016	2.009	2.002	1.985	1.968	1.951	1.934
115.98	84	2.052	2.049	2.042	2.035	2.019	2.002	1.985	1.968
118.74	86	2.084	2.081	2.075	2.068	2.052	2.035	2.019	2.003
122.52	88.74	2.129	2.126	2.12	2.113	2.097	2.081	2.065	2.049

¹ Densities of 1-60 percent H₃PO₄ are taken from the International Critical Tables (130). (See Table 7)
Densities of 60.75-82.84 percent H₃PO₄ were calculated from the equation,

Anexo E Ficha técnica de STARTER 5000



High Performance Bench Meter for Universal Applications

Backed by OHAUS' century-old commitment to providing precise measurement, the Starter 5000 provides accurate pH and ORP measurement for high-level experiments and research. Enhanced features, advanced technology, and high performance have been combined to support complex laboratory tasks requiring pH measurement.

Standard Features Include:

- **Various High-Level Capabilities Propel Powerful Performance**—With a 1,000 measurement memory, eight predefined buffer groups, and three endpoint modes, Starter 5000 provides various ways to achieve precise pH measurement.
- **Advanced Software and Technology Support Complex Applications and Intuitive Operation**—Starter 5000 has a user-friendly interface, similar to other smart devices used daily. With a large LCD touchscreen display, users will find themselves intuitively navigating through all applications.
- **Enhanced Features Offer Protection & Simple Use of this Advanced Meter**—Starter 5000 also has many features that promote ease of use, convenience, as well as protection, including a standalone electrode arm, IP54 housing and in-use cover.

Starter 5000 *pH Bench Meter*

Various High-Level Capabilities Propel Powerful Performance

High resolution

- **0.001/0.01/0.1pH**
- **0.01/0.1/1 mV**

Advanced Memory

- **Large memory bank can store the data of up to 1,000 individual measurements**

Heightened Performance

- **Meter can be set to record continuous measurement at designated intervals of time**

—Graphs can be simultaneously generated

- **Starter 5000 has a GLP measurement mode that records critical information such as User ID and sample ID to generate complete and traceable information**

- **10 sensors that can store the results of 10 separate calibrations for each sensor**

— pH-mV axis graphs can be viewed for each set of calibration data

— An alert can be set to remind user to calibrate the meter

Accuracy

- **Up to a nine point calibration ensures extreme precision with a large calibration curve that covers a wider pH measurement range**
- **Manual, automatic, and time endpoints produce enhanced results**
- **Eight predefined buffers and one customizable buffer are standard**

Advanced Software and Technology Support Complex Applications and Intuitive Operation

All of Starter 5000's features are at your fingertips. The color touchscreen display operates similar to everyday products such as smartphones and tablet computers.

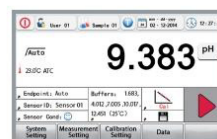
Color Touchscreen Display

- **4.3" high-resolution color touchscreen has large digits and well-arranged icons**

— Recognizable icons provide direct, one-touch access to important information including user ID, sample ID, date, time, current calibration group, and sensor performance where you can check detailed calibration data

— Return to the main menu from any screen with just one button tap on the display

- **One touch toggling between pH, mV(ORP) and Rel.mV**



Enhanced Features Offer Protection & Practical Operation of this Advanced Meter

Protection

- **IP54 housing protects the meter from damage by water and dust particles**
- **The transparent in-use cover provides an extra layer of protection**



Practical Operation

- **The positioning of the standalone electrode holder can be moved around the base to fit your workstation best and the height can also be adjusted for optimal viewing**
- **Use the built-in USB host port to export data or RS232 to connect a printer to the meter**

Specifications

Model	ST5000
Measurement Range	-2.000 – 20.000 pH -2000.00 – +2000.00 mV -30°C – 130 °C
Resolution	0.1/0.01/0.001pH 1/0.1/0.01mV 0.1 °C
Error Limits/Accuracy	± 0.002 pH ± 1 mV ± 0.1 °C
Buffer Group	8 predefined groups, 1 self define group
pH Calibration	1-9 points
Memory	1000 sets, with 10*10 calibration data
Power Supply	110-240V/50-60Hz, 9 V DC
Size/Weight	220 W × 175 D × 78 H mm / 0.55 kg
Display	Color Touch-Screen LCD
Input	BNC, impedance >3*10e+12 Ω Cinch, NTC 30 kΩ
Output	USB & RS232
Temperature Compensation	ATC and MTC
Housing	ABS

Model	ST5000
ST5000-B	5000 meter, stand alone electrode holder, ST5000 in-use-cover, 4G USB-driver
ST5000-F	5000 meter, ST350 , pH buffer powder sachet

Starter 5000 *pH Bench Meter*

Starter 5000 Compatible Electrodes

Description	Model
3-in-1 glass shaft refillable pH Electrode	ST350
3-in-1 plastic gel pH Electrode(no need to fill)	ST320
3-in-1 plastic refillable pH Electrode	ST310
2-in 1 glass double salt bridge pH Electrode	ST260
2-in 1 glass muddy sample pH Electrode	ST230
2-in-1 plastic refillable pH Electrode	ST210
2-in 1 glass micro sample pH Electrode	STMICRO5
2-in 1 glass micro sample pH Electrode	STMICRO8
2-in-1 glass pure water sample pH Electrode	STPURE
Temperature Electrode	STTEMP30
Gel plastic ORP Electrode	STORP1
Refillable glass ORP Electrode	STORP2

Buffers and Accessories

Description	OHAUS Item Number
pH buffer powder set (4.01; 7.00; 10.0)	83033971
Buffer pH1.68 250ml	30100424
Buffer pH4.01 250ml	30100425
Buffer pH6.86 250ml	30100426
Buffer pH7.00 250ml	30100427
Buffer pH9.18 250ml	30100428
Buffer pH10.01 250ml	30100429
Buffer pH12.45 250ml	30100440
Standard Conduct 10µs/cm 250ml	30100441
Standard Conduct 84µs/cm 250ml	30100442
Standard Conduct 1413µs/cm 250ml	30100443
Standard Conduct 12.88mS/cm 250ml	30100444
pH electrode Reference Electrolyte	30059255
pH electrode protection solution (3M KCl)	30059256
pH sensor protect bottle (10 in bag)	30064800
Electrode holder stand alone	30058733
ST5000 In-use-cover	30129897
SF40A printer	30045641

Compliance

- **Electromagnetic Compatibility:** FCC Part 15 Class A; ICES-003 Class A
- **Safety:** UL 60950-1 (AC adapter); CSA C22.2 60950-1 (AC adapter)

OHAUS CORPORATION
 *7 Campus Drive
 Suite 310
 Parsippany, NJ 07054 USA
 Tel: 800.672.7722
 973.377.9000
 Fax: 973.944.7177

www.ohaus.com

*With offices throughout
 Europe, Asia, and
 Latin America*

***ISO 9001:2008**
 Registered Quality
 Management System



Anexo F Ficha técnica de CONTRAA 800

Atomic Absorption. Redefined.

contrAA 800

Atomic Absorption Spectrometer

contrAA
800

analytikjena
An Endress+Hauser Company

Your Core Element – contrAA 800

Multi-element analysis and ease of use at a manageable cost. The contrAA 800 combines the best of standard AAS instruments and ICP-OES spectrometers. Take your demand for precision and performance to the next level.

Fast multi-element analysis

- Cover the entire element range of AAS with a single lamp
- Reduce measurement time by up to 30% thanks to fast-sequential analysis
- Real simultaneous measurement for selected applications

Accurate results with maximum precision

- Ensure optimal detection limits with high-resolution optics
- Flexible method development with 3D visualization of absorption spectra
- Unique spectral background correction to increase the robustness of analysis

Extended measuring range

- Determination of metals, semi-metals and even non-metals
- Coverage of concentration range from sub ppb to %
- Flexible application in a single platform for all AAS techniques
- Skip sample digestion thanks to fully automated direct solid sampling

contrAA 800			
Model	contrAA 800 F	contrAA 800 G	contrAA 800 D
Flame mode	✓		✓
Graphite furnace mode		✓	✓
Mercury / Hydride mode	■	●	■
Solid sampling		■	■
✓ Standard ■ Optional ● HydrEA			

contrAA 800

Atomic Absorption. Redefined.



Access All Areas – Your Universal Analyzer

An extensive range of accessories significantly expands the possibilities of applications and facilitates your lab work.



Autosampler for high sample throughput – AS-F/AS-FD and AS-GF

- Enables fully automated routine analysis in a 24/7 environment
- Automatic cleaning control prevents contamination of subsequent samples
- AS-FD and AS-GF allow fully automated sample dilution to a ratio of 1:800



Minimum effort in sample preparation with direct solid sampling – SSA 600

- Optimized sample carrier for many kinds of solids ensures a reliable transfer process and ideal atomizing conditions
- Loaded sample carrier is automatically weighed with the integrated microbalance and transported into the furnace
- Automatic handling of liquid standards and modifiers with built-in liquid dosing unit



Selective analysis of mercury and hydride-forming elements – Hydride systems

- Compliant with DIN, ISO, EPA and ASTM methods for mercury and hydride analysis
- System with fully automated flow injection or batch mode for difficult matrices
- Trace analysis with unique combination of graphite furnace and hydride technique
- Mercury analysis with additional amalgamation module and mercury cell



Automatic burner head cleaning – Scraper

- Simplifies working with the acetylene- / nitrous oxide flame
- Automatically cleans the slot before each measurement and in standby mode
- Guarantees a continuous and reproducible measuring cycle in routine analysis



Easy handling of matrix-rich samples – Switching valve technology SFS 6.0

- Time-controlled flow injection of small sample segments into the flame
- Stable flame conditions ensure a reproducible measurement process
- Reduction of carryover effects from samples with high salt and matrix content
- Reduced sample consumption and minimized risk of burner head clogging

Meeting Industry Needs

The all-rounder in elemental analysis established in many laboratories worldwide. Convincing performance in different applications.

Beyond one industry

Small footprint, low operating cost, and ease of use make the contraAA 800 an indispensable partner in many industries. It provides support for process monitoring and sets high standards in quality control. Thanks to its high-resolution optics, the contraAA 800 enables several new applications, particularly in research and development. Clients from various industries, e.g. food & agriculture, metals & mining, environment, and chemicals put their trust in its performance and stability.



Environment

- Continuous monitoring of waste and soil, effluents, surface and drinking water
- Determination of heavy metals and toxic elements
- Governmental or private QC labs

Food & Agriculture

- Quality control for food and beverages
- Quality control for fertilizers, grains and supplements
- Determination of toxic trace elements
- Determination of vital minerals
- Additional determination of non-metals like sulfur
- Direct solid sampling, e.g. of plant materials

Pharma & Life Science

- Forensic science
- Pharmaceutical research

Geology, Mining & Metals

- Quantification of base and noble metals in ores and pre-concentrated metallic forms
- Direct solid sampling, e.g. of multiple metals in alloys
- Process control, e.g. in electroplating
- Industrial monitoring labs

Chemicals & Materials

- Analysis of raw materials such as plastics, fine chemicals, packaging materials or cement
- Single element quantification of metals and semi-metals
- Direct solid sampling, e.g. for multiple metals in pigments
- Industrial monitoring labs

Any Wavelength. Any Element. Any Time.

Ready to analyze any element without lamp exchange. Comprehensive and detailed information for each sample increases confidence in results and extends your AAS applications.

Inspiration from practical experience

The contrAA 800 was developed – by laboratory experts, for laboratory experts – to be as compact and as easy to use as possible. With the dual atomizer concept, both flame and graphite furnace atomization are combined in a compact sample compartment with minimized footprint and maximum performance. The automatic atomizer change and the two-dimensional atomizer alignment allow for flexible and easy handling and facilitate switching between the different atomization techniques.



contrAA 800 D with flame and graphite furnace technique in a single sample compartment

From high concentration to trace analysis

The Nebulizer-Burner system with quick-lock for easy replacement, constructed from acid-resistant materials and containing several safety features, guarantees safe and reliable analysis of highly concentrated samples using flame atomization. The outstanding performance of the transversely heated graphite furnace atomizer (THGA) with tube observation by an integrated furnace camera enables excellent detection limits for trace analysis. The contrAA 800 with its High-Resolution Continuum Source AAS (HR-CS AAS) combines these proven atomization techniques with the unique optical system consisting of the xenon short arc lamp and a high-resolution spectrometer with CCD detector.

A single light source for all applications

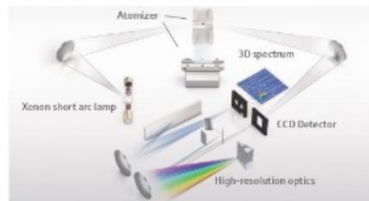
The continuum emission spectrum of a xenon short arc lamp covers the complete spectral range of AAS. Lamp changing for AAS is a matter of the past. Replacement costs compared to HCL instruments are significantly lower, whereas the light intensity is significantly higher than with traditional AAS light sources. It provides an excellent signal-to-noise ratio resulting in improved detection limits. Any element in the applicable spectral range can be analyzed on primary or secondary lines. Along with metals and semi-metals, non-metals like sulfur, phosphorus, fluorine, and halogens can also be determined by evaluating molecule absorption bands, extending the application range of the contrAA 800.



Xenon short arc lamp

Maximize sample throughput

Since the complete spectral range is always available, all relevant elements can be analyzed in a single aspiration step in flame mode. This fast-sequential analysis reduces the measurement time significantly by up to 30%. At the same time, your sample throughput can be maximized thanks to the autosampler with dilution function.



Scheme of optical systems

High resolution – confidence in results

A high-resolution spectrometer with a CCD detector maps a high-resolution absorption spectrum for each sample. Thus, providing comprehensive and extremely detailed information on the sample. The 3D spectrum display allows for visual proof of the correct evaluation of the absorption lines and their spectral background. It provides a tool for checking the absence of spectral interferences, which serves to assure correct measurements and strengthens confidence in results.

Simultaneous quantification

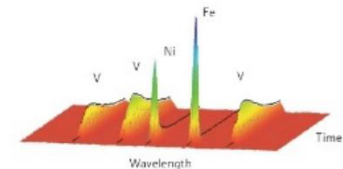
The spectrum provides information beyond a single element line and offers vast advantages in data evaluation. If required, other elements contained in the sample, which occur within the spectral observation range can be quantified simultaneously. Powerful software tools such as automatic baseline correction (ABC) or simultaneous correction of spectral interferences (CSI) significantly boost your productivity. The additional side pixel evaluation is an established evaluation routine. It allows the adaptation of the concentration range for the determination of trace and major elements in the same sample with a single method.

Pre-programmed satisfaction

The Aspect CS software was exclusively developed for multi-element analysis with the contrAA 800. The intelligent user interface is intuitive in operation and optimized

for routine applications. Comprehensive quality control functions guarantee reliable and traceable results at any time. Pre-programmed methods and optimization routines simplify method development and ensure ideal measuring conditions. Maximum flexibility even for challenging analyses beyond daily routine is provided by simultaneous evaluation of multiple element lines as well as advanced correction algorithms for spectral background correction.

- Quick start of ready-to-use worksheets
- Pre-programmed methods
- Wide range of innovative evaluation tools
- Quality control function for Good Laboratory Practice
- FDA 21 CFR Part 11 Compliance



3D Spectrum plot of one sample with signals of different elements (vanadium, nickel, iron)



Headquarters

Analytik Jena GmbH
Konrad-Zuse-Str. 1
07745 Jena · Germany

Phone +49 3641 77 70
Fax +49 3641 77 9279
info@analytik-jena.com
www.analytik-jena.com

Pictures: Analytik Jena GmbH, p. 7: iStockphoto®/SeanPavone, iStockphoto®/assalve
Subjects to changes in design and scope of delivery as well as further technical development.

High-Resolution Continuum Source AAS (HR-CS AAS)
was developed in cooperation between the Leibniz
Institute for Analytical Sciences – ISAS – and
Analytik Jena and is firmly established on the market
with the contraAA series of instruments.

Based on patented
ISAS Technology

ISAS
Institute for Analytical Sciences

Version 1.1, Jan. 01/2023
888-11004-2
© Analytik Jena GmbH

analytikjena
An Endress+Hauser Company