ANEXO 1
PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1.Título del proyecto

Remoción de mercurio mediante carbón activado de hojas de eucalipto (*Glóbulus labill*), de aguas residuales minero metalúrgico del Centro Minero la Rinconada – Región Puno.

.

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE
Medio Ambiente	Recursos Naturales y Medio Ambiente	

3. Duración del proyecto (meses)

12 meses

4. Tipo de proyecto

Individual	○
Multidisciplinario	●
Director de tesis pregrado	○

4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	MIRANDA ZEA, NORBERTO SIXTO
Escuela Profesional	INGENIERÍA QUÍMICA– UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Celular	951696907
Correo Electrónico	nsmiranda@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	PALOMINO CUELA, GREGORIO
Escuela Profesional	INGENIERÍA QUÍMICA– UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Celular	951888555
Correo Electrónico	gpalomino@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	TTITO LEÓN, SALOMÓN
Escuela Profesional	INGENIERÍA QUÍMICA– UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Celular	950052283
Correo Electrónico	sttito@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	CCOA HUANCA, FAVIOLA
Escuela Profesional	INGENIERÍA METALÚRGICA– UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Celular	979059539
Correo Electrónico	fccoa@unap.edu.pe

Apellidos y Nombres	BARREDA DEL ARROYO, VÍCTOR ATILIO
Escuela Profesional	INGENIERÍA QUÍMICA– UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO
Celular	999512122
Correo Electrónico	vbarreda@unap.edu.pe

I. Título

Remoción de mercurio mediante carbón activado de hojas de eucalipto (*Glóbulus labill*), de aguas residuales minero metalúrgico del Centro Minero la Rinconada – Región Puno.

II. Resumen del Proyecto de Tesis

La contaminación ambiental por mercurio (Hg) no esencial y no beneficioso, aunque potencialmente tóxico, se está convirtiendo en una gran amenaza para los organismos vivos en el mundo. Debido a sus diversos usos en numerosos procesos industriales, se libera una gran cantidad de Hg en diferentes compartimentos ambientales. La contaminación ambiental por Hg puede resultar en la contaminación de la cadena alimentaria, especialmente debido a su acumulación en partes comestibles de la planta. El objetivo del presente proyecto es evaluar la remoción de mercurio mediante carbón activado de hojas de eucalipto (*Glóbulus labill*), de aguas residuales minero metalúrgico del Centro Minero la Rinconada – Región Puno, así aprovechar las hojas de eucalipto para producir carbón activado que conduce potencialmente un adsorbente altamente efectivo generado a partir de materias primas menos costosas que provienen de recursos renovables. La metodología inicia con la caracterización del carbón activado (textura, estructura y morfología), obtenido por carbonización y activación de las hojas del eucalipto. Asimismo, se recolectará y preservará las muestras acuosas para lo cual se seguirá el método recomendado por el Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales - IDEAM de Perú (IDEAM), por los métodos estandarizados para el análisis de aguas residuales minero metalúrgico, luego se preparará soluciones patrón (1000 $mg.L^{-1}$ en Hg), a partir de $HgCl_2$ (99,99%); por disolución con agua desionizada para concentraciones de 5 y 10 $mg.L^{-1}$; para efectos de los ensayos se realizarán las siguientes pruebas: 08 diferentes columnas batch, dispuestos en forma vertical. Se utilizará la solución estándar de mercurio y carbón activado para determinar las concentraciones óptimas de remoción de Hg; el pH de las disoluciones se ajustará a 8 valores diferentes de pH, comprendidos entre pH 2,5 a 8; se utilizarán disoluciones 0,1 M de HNO_3 y 0,1M de NaOH para su respectiva estandarización del pH de las diferentes columnas batch; una vez elegido el pH óptimo se realizarán las pruebas para 08 diferentes cantidades de carbón activado de malla 10, de 0,5 g a 4 g. De las pruebas se elegirá la cantidad de carbón activado óptimo (el mayor valor del % absorbido de mercurio); con los datos obtenidos se determinará el orden de ajuste al modelo de equilibrio de adsorción para el proceso de remoción del mercurio se emplearán los modelos de: Langmuir, Freundlich y Dubinin-Raduskevich-Kaganer:
El presente estudio propone utilizar materia prima valiosa para su industrialización y darle valor agregado económico rentable a las hojas del eucalipto.

III. Palabras claves (Keywords)

Adsorción, aguas residuales, carbón activado, hojas de eucalipto, remoción.

IV. Justificación del proyecto

La mayoría de mercurio liberado en los sistemas acuáticos se origina en diferentes sectores, incluido el tratamiento de aguas residuales, la extracción y el procesamiento de minerales (Albatrni et al., 2021), Según un informe publicado por la Agencia Ambiental Europea (EEA), las liberaciones pasadas y actuales de mercurio continúan representando una gran amenaza tanto para el medio ambiente como para la salud humana (Anon, 2018), asimismo, los materiales de carbono se han utilizado ampliamente para la eliminación de varios contaminantes en la industria del tratamiento de aguas residuales debido a sus propiedades únicas que les permiten absorber altos valores de recuperación. Varios materiales de carbono, incluidos los carbones activados, las fibras de carbono, los carbonos porosos , los nanotubos de carbono, el grafeno y los carbonos alquinílicos, han sido ampliamente investigados para la adsorción de mercurio en soluciones (Albatrni et al., 2021) y tenemos carbones activados a partir de eucalipto que se ha preparado a partir de la gasificación parcial con CO_2 de carbones obtenidos a 823 y 1073 K. Los carbones muestran un comportamiento comparable en cuanto a la evolución de la estructura porosa. La activación aumenta tanto la microporosidad total como la estrecha y desarrolla una mesoporosidad sustancial. A altos niveles de quemado, la macroporosidad también se vuelve significativa (Albatrni et al., 2021); además, el CA posee una gran resistencia mecánica, una cinética de adsorción mucho mejor que permite una alta utilización de la superficie, un área superficial relativamente grande y varios grupos funcionales, que podrían proporcionar sitios activos para la adsorción física y química del mercurio, en consecuencia, el CA de hojas de eucalipto se considera un candidato potencialmente valioso adsorbente para la eliminación de mercurio en la industria para sustituir carbones activados comerciales, debido a su variedad de fuentes, abundancia y bajo coste.

V. Antecedentes del proyecto

- Ghodbane & Hamdaoui, (2008) realizaron el estudio de la corteza del eucalipto *camaldulensis*, para la eliminación de mercurio (II) de la fase acuosa. Para investigar el mecanismo de sorción, los datos cinéticos; modelaron usando las ecuaciones cinéticas de pseudo-primer orden y pseudo-segundo orden y modelo de difusión intrapartícula. Entre los modelos cinéticos estudiados, la ecuación de pseudo-segundo orden fue el mejor modelo aplicable para describir el proceso de sorción. Los datos de la isoterma de equilibrio se analizaron utilizando las isotermas de Langmuir y Freundlich. El modelo de Langmuir produce un ajuste mucho mejor que el modelo de Freundlich. También utilizaron isotermas para obtener parámetros termodinámicos como la energía libre Gibbs, la entalpía y la entropía de sorción. La capacidad máxima de sorción fue de 33,11 $mg.g^{-1}$ a 20 °C y el valor negativo del cambio de energía libre de Gibbs indicó la naturaleza espontánea de la sorción. Estos resultados demuestran que la corteza de eucalipto es muy eficaz en la eliminación de Hg (II) de soluciones acuosas.
- Patnukao et al. (2008) desarrollaron el estudio de la adsorción de metales pesados tóxicos, Hg (II), Pb (II), Cd (II), Ni (II) y Cu (II) en aguas residuales industriales sobre carbón de coco, preparado a partir de fibra de coco mediante un método de activación química. Los resultados obtenidos muestran que el porcentaje de adsorción aumentó con el incremento del pH de 2 a 6 y se mantuvo constante hasta 10.
- Miranda et al. (2021) evaluaron la capacidad de remoción de mercurio en agua residual minero metalúrgico por adsorción de carbón activado de la cubierta seminal de

Leguminosa Haba (*Vicia faba*) cáscara de habas, donde obtuvieron los siguientes resultados Hg^{+2}: 0,1031mg/L (20min), Hg^{+2}: 0,0481mg/L (60min), Hg^{+2}: 0,0324mg/L (120min) por tanto la influencia del tiempo de contacto en la remoción de Hg^{+2} aumentó rápidamente en los primeros minutos, alcanzando 0,13 mg/L a los 20 minutos, con un 56,7% de adsorción; el equilibrio se alcanzó a los 60 minutos, obteniéndose 0,19 mg/L, lo que equivale a un 80 % de adsorción.

- Obregón et al. (2020) desarrolló una investigación para la remoción de mercurio aplicando el carbón activado obtenido a partir de semillas de aguaje (*Mauritia flexuosa*). Los resultados muestras que las cinéticas de adsorción fueron del tipo de pseudo-segundo orden. Además, mostró que el empleo de ultrasonido y una solución de nitrato logran un mecanismo de adsorción predominantemente del tipo Freundlich, además la adsorción de mercurio fue mayor en el carbón activado modificado en comparación con el carbón activado sin modificar a un pH mayor al punto de su carga cero.
- Meza et al. (2017) evaluaron la capacidad de adsorción de Cr (VI) utilizando carbones activados a partir de astillas de eucalipto (*Eucaliptus globulus labill*) en soluciones acuosas, analizando la influencia de la concentración inicial y el pH de la solución. Los resultados cinéticos se ajustaron mejor al modelo de seudo-segundo orden y los resultados de las isotermas se correlacionaron mejor con el modelo de Langmuir, indicando que la adsorción se llevó a cabo en centros activos energéticamente homogéneos. Los mejores resultados se obtuvieron con el carbón activado P1/600, con una capacidad de adsorción 75,2 mg/g a pH= 2.
- Anitha et al. (2021) estudiaron la eliminación de mercurio, metal pesado tóxico, de una solución acuosa utilizando cáscara de mangostán tratada con bicarbonato, un biosorbente disponible a bajo costo. Realizaron experimentos por lotes para evaluar parámetros como el tiempo de contacto, pH, dosis de carbono en la eficiencia de eliminación de Hg (II) de la solución acuosa. La eliminación de mercurio se produjo en la condición experimental óptima a pH 5 y una dosis de carbono de 120 mg. Evaluaron la isoterma de adsorción mediante los métodos de Langmuir, Freundlich y Temkin. La adsorción de Langmuir muestra un valor Q_0 de 49,75 mg g^{-1} para el carbón modificado BTMC.
- An et al. (2020) investigó el mecanismo de adsorción y la capacidad del CA para la eliminación de Hg^0 en una atmósfera de $H_2O + SO_2 + O_2$, determinó el mecanismo de adsorción y las condiciones óptimas de reacción, con una eficiencia de adsorción de Hg^0 promedio más alta de 91% obtenida a 70 °C en 3h. Posteriormente, el Hg^0 pudo recuperarse del gas desorbido por condensación con una eficiencia del 87,4% utilizando agua helada 0^0C.
- Sajjadi et al. (2018) investigaron la eliminación eficiente de mercurio de las aguas residuales mediante carbón activado derivado de residuos de madera de pistacho preparado mediante activación química utilizando un nuevo agente activador nitrato de amonio (NH_4NO_3) y comparó con el carbón activado comercial (CAC) por las propiedades texturales y morfológicas, la química de la superficie, la estructura cristalina y la composición elemental de la superficie. Los resultados indicaron que el carbón activado de pistacho desarrollo condiciones óptimas para obtener mayor absorción de mercurio

VI. Hipótesis del trabajo

El proceso de adsorción de carbón activado por activación química a partir de las hojas de eucalipto es un método adecuado para remoción de mercurio en soluciones acuosas y aguas residuales minero metalúrgico de Mina la Rinconada.

VII. Objetivo general

Evaluar la remoción de mercurio mediante carbón activado de hojas de eucalipto (*Glóbulus labill*), de aguas residuales minero metalúrgico del Centro Minero la Rinconada – Región Puno.

VIII. Objetivos específicos

- Caracterizar los parámetros físico-químicos del carbón activado de hojas de eucalipto (*Glóbulus labill*) y de las aguas residuales minero metalúrgico del Centro Minero la Rinconada – Región Puno.
- Determinar los parámetros de ajuste de los modelos de adsorción de equilibrio de Langmuir, Freundlich y Dubinin-Raduskevich-Kagane de la remoción del mercurio mediante carbón activado de hojas de eucalipto (*Glóbulus labill*).
- Determinar el modelo cinético de adsorción para la remoción del mercurio mediante carbón activado de hojas de eucalipto (*Glóbulus labill*).

IX. Metodología de investigación

La metodología aplicada será: experimental, prospectivo, longitudinal y analítico para desarrollar en las siguientes etapas:

Caracterizar las aguas residuales minero metalúrgico del Centro Minero la Rinconada – Región Puno.

Para determinar:

- Concentración de mercurio Hg ($mg.L^{-1}$)
- pH
- Conductividad eléctrica (Ce)($\mu S.cm^{-1}$)
- Sólidos totales disueltos (SDT)($mg.L^{-1}$)
- Oxígeno disuelto (OD) ($mg.L^{-1}$).

Caracterización del carbón activado

- Para la caracterización del carbón activado en el presente proyecto, se empleará sustancias de grado reactivo. Se utilizará ácido fosfórico al 85 % (H_3PO_4), ácido clorhídrico (HCl), tiosulfato de sodio pentahidratado ($Na_2S_2O_3.5H_2O$), yodo resublimado (I_2), yoduro de potasio (KI), yodato de potasio (KIO_3) y almidón soluble.
- Textura
- Porosidad
- Estructura mediante espectroscopia de IR
- Morfología del carbón activado

Ensayos de remoción

Preparar soluciones patrón (1000 $mg.L^{-1}$ en Hg), a partir de $HgCl_2$ (99,99%); por disolución con agua desionizada para concentraciones de 5 a 10 $mg.L^{-1}$. Para efectos de los ensayos se realizarán las siguientes pruebas:

- Se realizarán en 08 diferentes columnas batch, dispuestos en forma vertical, utilizando solución estándar de mercurio y carbón activado procesado a partir de las hojas de eucalipto (*Glóbulus labill*).
- El pH de las disoluciones se ajustará a 8 valores diferentes de pH, comprendidos entre pH 2,5 a 8; para el cual se utilizará disoluciones 0,1 M de HNO_3 y 0,1M de NaOH para su respectiva estandarización del pH de las diferentes columnas batch.
- Una vez elegido el pH óptimo; a este pH se realizarán las pruebas para 08 diferentes cantidades de carbón activado de malla 10; de 0,5 a 4 g. De esta prueba se elegirá la cantidad de carbón activado óptimo (el mayor valor de % adsorción de mercurio).
- Con los datos obtenidos se determinará el orden de ajuste al modelo de equilibrio de adsorción para el proceso de remoción del mercurio y se emplearán los modelos siguientes:

Modelo de Langmuir: $\frac{C_e}{Q_e} = \frac{C_e}{Q_{max}} + \frac{1}{KQ_{max}}$

Modelo de Freundlich: $LnQ_e = LnK_f - \frac{1}{n} LnC_e$

Modelo de Dubinin-Raduskevich-Kaganer: $Ln\ Q_e = LnQ_{mDRK} - \left[\frac{RT}{E_s} Ln\left(\frac{C_S}{C_E}\right)\right]^n$

Para soluciones acuosas, RT Ln (Cs/Ce) el potencial termodinámico, donde Cs y Ce son las concentraciones de saturación y de equilibrio del adsorbato respectivamente, Qe es la cantidad adsorbida, Q_{mDRK} representa la cantidad adsorbida del soluto en la monocapa; E_s es la energía característica del proceso, y n es un número entero que se relaciona con las variaciones de heterogeneidad del adsorbente microporoso.

X. Referencias

Albatrni, H., Qiblawey, H., & El-Naas, M. H. (2021). Comparative study between adsorption and membrane technologies for the removal of mercury. *Separation and Purification Technology*, *257*(October 2020), 117833. https://doi.org/10.1016/j.seppur.2020.117833

Anitha, D., Ramadevi, A., & Seetharaman, R. (2021). Activated Mangosteen shell in removal of mercury ion from aqueous solution. *Materials Today: Proceedings*, *45*(xxxx), 658–662. https://doi.org/10.1016/j.matpr.2020.02.730

Anon. (2018). *Mercury pollution remains a problem in Europe and globally — European Environment Agency*. 1–3. https://www.eea.europa.eu/highlights/mercury-pollution-remains-a-problem

Ghodbane, I., & Hamdaoui, O. (2008). Removal of mercury(II) from aqueous media using eucalyptus bark: Kinetic and equilibrium studies. *Journal of Hazardous Materials*, *160*(2–3), 301–309. https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.02.116

Meza, C. L., Aranab, R., & Tambo, E. (2017). *Revista de la Sociedad Química del Perú astillas de eucalipto*. *Vi*, 1–11.

Miranda, N., Cuela, G. P., Ttito, S., & Ccoa, F. (2021). *Remoción de Arsénico por oxidación con cloruro férrico y floculación con sulfato de aluminio y cal artesanal en aguas naturales de pozos subterráneos para consumo humano, del Distrito de Acora - Región Puno. Autor(es) y Afiliación: Iii*.

Obregón Valencia, D., Ilse Acostaa, I. D., & Sun Kou, R. (2020). REMOCIÓN DE MERCURIO EMPLEANDO CARBÓN ACTIVADO PREPARADO A PARTIR DE AGUAJE (Mauritia flexuosa). *Revista de La Sociedad Química Del Perú*, *86*(1), 70–87. https://doi.org/10.37761/rsqp.v86i1.274

Patnukao, P., Kongsuwan, A., & Pavasant, P. (2008). Batch studies of adsorption of copper and lead on activated carbon from Eucalyptus camaldulensis Dehn. bark. *Journal of Environmental Sciences*, *20*(9), 1028–1034. https://doi.org/10.1016/S1001-0742(08)62145-2

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto

Emplear una alternativa viable de remoción de mercurio con el aprovechamiento de las hojas de eucalipto abundantes en la naturaleza y aprovechar las propiedades adsorbentes del carbón activado para metales pesados contenido en aguas residuales, así mismo darle valor agregado económicamente rentable a las hojas del eucalipto.

XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

- Desarrollo de una nueva tecnología para tratamiento de aguas minero metalúrgico para remoción de mercurio, por adsorción con carbón activado procesado por activación química a partir de las hojas de eucalipto.
- Presentar una alternativa para el tratamiento de efluentes de aguas residuales minero metalúrgico para la remoción de mercurio.
- Llevar los resultados de investigación de escala de laboratorio a escala planta piloto industrial.

ii. Impactos económicos

- Factibilidad económica del proceso seleccionado.
- Valorización del carbón activado preparados por activación química a partir de las hojas de eucalipto.

iii. Impactos sociales

- Beneficiar a los usuarios del área de estudio proporcionando agua tratada apta para riego y/o consumo humano.
- Recuperar cuerpos de agua del área de estudio.

iv. Impactos ambientales

- Solucionar problemas de contaminación ambiental por metales tóxicos en aguas residuales minero metalúrgico, que contaminan el área de estudio; para utilizar las aguas tratadas para riego y/o consumo humano.
- Remediación de aguas residuales minero metalúrgico con tecnología apropiada.

XIII. Recursos necesarios

- Laboratorios de tecnología de aguas y de control de calidad de la Facultad de Ingeniería Química de la UNA -Puno
- Equipo de agitadores magnéticos con sensor de temperatura.
- Espectrofotómetro de Absorción atómica.
- Espectrofotómetro de IR- UV.
- Potenciómetros.
- Conductímetros.
- Turbidímetro.
- Sensores de temperatura y de velocidad rpm.
- Mufla de 550 a 1 300 °C.

XIV. Localización del proyecto

Centro Minero la Rinconada ubicado en la región Janca, según la clasificación de Pulgar Vidal, siendo así el poblado permanente más alto del mundo. Según la edición de mayo de 2003 de la revista National Geographic, La Rinconada se encuentra a una altura entre 5 100 a 5 300 m.s.n.m.

El área urbana abarca gran parte del flanco occidental de una estribación del nevado Ananea grande. Sus coordenadas son 14°37′54″S 69°26′47″O.

La Rinconada, se ubica en el distrito de Ananea, provincia de Sandia, departamento de Puno, a 4800 msnm y a 170 Km de la ciudad de Juliaca.

XV. Cronograma de actividades

Actividad	Meses del 2023											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Recolección y procesamiento de información	x	x	x	.								
Toma de muestra y ensayos preliminares	x	x	x									
Experimentación				x	x	x						
Análisis de resultados							x	x	x			
Elaborar las conclusiones										x	x	x
Elaboración del Informe Final										x	x	x

XVI. Presupuesto

N° Item	Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Materiales e insumos					
01	Frascos para muestras	Unid	10.00	20	200.00
02	Papel filtro	Caja	40.00	1	40.00
03	Bandejas de metal inoxidables	Unid	15.00	2	30.00
04	Ácido fosfórico	L	100.00	1	100.00
05	ácido clorhídrico	L	100.00	1	100.00
06	Ácido nítrico	g	5.00	10	10.00
07	Reactivos titulantes para el carbón	Unid	120.00	8	960.00
Servicios					
01	Determinación de mercurio por AA	Unid	400.00	32	12 800.00
02	Caracterización de las hojas de eucalipto.	Unid	500.00	2	1 000.00
03	Análisis de IR-UV	Unid.	450.00	2	900.00
04	Caracterización físico-química de las aguas minero metalúrgicas	Unid	800.00	2	1 600.00
05	Determinación y control de parámetros físico-químicos de las pruebas de remoción	Unid	400.00	32	12 800.00
06	Pasajes y viáticos	Unid	200.00	15	3 000.00
07	Internet	Unid	80.00	5	400.00
Materiales de escritorio					
01	Copias	Unid	0.15	1000	150.00
02	Papel bond	Millar	25.00	2	50.00
03	Bolígrafos	Unid	2.00	12	24.00
04	Folder A4	Unid	0.50	12	6.0
05	USB	Unid	25.00	5	125.00
				TOTAL	**34295.00**