



---

## **Efecto de *Chenopodium Quinoa* en la adsorción de plomo en suelos agrícolas contaminados por residuos mineros en Tiquillaca-2023**

### **Effect of *Chenopodium Quinoa* on lead adsorption in agricultural soils contaminated by mining waste in Tiquillaca-2023**

---

**Eliana Mullisaca-Contreras<sup>1</sup>, Ramiro Amilcar Bolaños-Calderón<sup>2</sup>**

Facultad de Ingenierías y Ciencias Puras<sup>3</sup>  
Universidad Andina Néstor Cáceres Velásquez  
Juliaca, Perú

#### **Resumen**

Los residuos mineros ocasionan la contaminación del suelo, ello debido a las concentraciones elevadas de metales pesados como el plomo, elemento altamente peligroso debido su alta toxicidad y larga persistencia en el suelo; ante esta problemática se requiere tecnologías que promuevan la inmovilización del plomo, teniendo como alternativa los procesos de adsorción realizada por compuestos bioactivos presentes en las hojas de quinua (ácidos fenólicos, flavonoides, terpenoides, esteroides y actividad antioxidante), diversas investigaciones manifiestan que estos componentes permiten la adsorción del plomo en la superficie del adsorbente mediante procesos de fisisorción y quimio sorción. Por lo expuesto, el objetivo de la investigación fue evaluar la capacidad de adsorción del Plomo con hojas de quinua (*Chenopodium Quinoa*) en suelos agrícolas bajo parámetros de control. La metodología implicó la evaluación de 9 tratamientos con 3 réplicas, los tratamientos fueron dispuestos según diseño experimental  $n^k$ , donde los parámetros evaluados fueron: pH y temperatura, con tres niveles de 2-4-6 y 15°C-30°C- 45°C respectivamente, la interacción de cada una de las variables permitió identificar las variables con efecto en la adsorción de plomo en suelos contaminados con residuos mineros. Los resultados mostraron que las hojas de quinua contienen compuestos fenólicos evaluados por FTIR, en cuanto a la capacidad de adsorción se obtuvo valores de 3.9 g/mg y porcentaje de adsorción de plomo del 97 al 98%, el análisis de varianza ANOVA indica que las variables y sus interacciones no presentan influencia significativa en los procesos de adsorción; en cuanto a la capacidad de adsorción de plomo en suelos agrícolas contaminados con relaves mineros los resultados muestran que las hojas de quinua presentaron alto porcentaje de adsorción del 99.9%.

#### **Abstract**

Mining waste causes soil contamination due to high concentrations of heavy metals such as lead, a highly dangerous element due to its high toxicity and long persistence in the soil. This problem requires technologies

---

<sup>1</sup> M.Sc.Eliana Mullisaca Contreras Autor 1, e.mullisaca@unaj.edu.pe

<sup>2</sup> Dr.Ramiro Amilcar Bolaños Calderon Autor 2, arq\_rbc@hotmail.com



that promote lead immobilization, having as an alternative the adsorption processes carried out by bioactive compounds present in quinoa leaves (phenolic acids, flavonoids, terpenoids, steroids and antioxidant activity). Various investigations show that these components allow the adsorption of lead on the surface of the adsorbent through physisorption and chemisorption processes. Therefore, the objective of the research was to evaluate the adsorption capacity of lead with quinoa leaves (*Chenopodium Quinoa*) in agricultural soils under control parameters. The methodology involved the evaluation of 9 treatments with 3 replicas, the treatments were arranged according to  $n^k$  experimental design, where the parameters evaluated were: pH and temperature, with three levels of 2-4-6 and 15 ° C- 30 ° C- 45 ° C respectively, the interaction of each of the variables allowed to identify the variables with effect on the adsorption of lead in soils contaminated with mining waste. The results showed that quinoa leaves contain phenolic compounds evaluated by FTIR, in terms of adsorption capacity values of 3.9 g / mg and lead adsorption percentage of 97 to 98% were obtained, the ANOVA variance analysis indicates that the variables and their interactions do not have significant influence on the adsorption processes; Regarding the lead adsorption capacity in agricultural soils contaminated with mining tailings, the results show that quinoa leaves presented high adsorption efficiency of 99.9%.

**Palabras Claves:** Adsorción, *Chenopodium Quinoa*, plomo, suelos agrícolas residuos mineros.

**Keywords:** Adsorption, *Chenopodium Quinoa*, lead, agricultural soils, mining waste

## I. INTRODUCCIÓN

La contaminación del suelo por metales pesados se ha incrementado en las últimas décadas a ritmo alarmante debido a la industrialización, referido y actividades mineras (Ahmed et al., 2019), debido a ello la Organización de las Naciones Unidas (ONU) advierte que el 40% de suelos esta degradado por actividades antropogénicas (Yadav et al., 2017). El suelo es un recurso natural de gran importancia, dado los beneficios, que como servicios ecosistémicos ofrece al hombre (Burbano, 2016), los mismos que vienen siendo afectados por la inadecuada disposición de los residuos mineros (Li et al., 2014) cuyo contenido de metales pesados superan los niveles permisibles (Yin et al., 2016), lo cual representa un problema potencial de contaminación debido a las vías de exposición que puede presentar el Pb (suelo y cuerpos acuíferos) (Zhang et al., 2016). Un aspecto de importancia es la posible lixiviación del plomo hacia aguas subterráneas aspecto a controlar, ya que los cuerpos acuíferos son fuentes de agua potable para las comunidades (Chamorro & Sanchez, 2012).

El plomo es un elemento químico abundante que se encuentra en suelos, en concentraciones de 8 a 20 mg Pb/kg, mientras que en suelo agrícola se encuentra en concentraciones mayores a 360 mg Pb/kg (Mendoza Vizcaíno et al., 2017). La contaminación por plomo se da por la



minería entre otros y debido a su toxicidad la Agencia de Protección Ambiental (EPA) lo ha clasificado entre las 20 sustancias químicas más peligrosas para la salud humana (Lavado Meza et al., 2010) y su incremento en el medio ambiente representa una amenaza para los seres vivos, la calidad del suelo y los sistemas ecológicos (Nigam et al., 2001), por lo que se requiere técnicas que inmovilicen al metal, dentro de los que destaca los procesos de adsorción.

La adsorción es un fenómeno superficial realizado en la interfase sólido-líquido en donde se observan dos componentes: adsorbato y adsorbente, el primero se transfiere a la superficie del adsorbente (Meza Lopez, 2017), este proceso se ve favorecido por el pH, temperatura, concentración del adsorbato y adsorbente (Leiva, 2007; Yurtsever & Şengil, 2009), el tiempo de contacto, la fuerza iónica, la química de los iones metálicos y la composición de la pared celular de los vegetales (Dodbiba et al., 2015). Si los procesos de adsorción son desarrollados con materiales biológicos se denomina biosorción (Vizcaíno et al., 2017), esta tecnología muestra óptimos resultados ya que la biomasa presenta biomoléculas (proteínas, polisacáridos o nucleótidos) con diversos grupos funcionales como carbonilos, carboxilos, hidroxilos y grupos aminos o amidas (Ronda et al., 2015), estos grupos funcionales tienen la capacidad de interactuar con los iones metálicos en la solución por atracción electrostática (Murithi et al., 2014; Vizcaíno et al., 2017) inmovilizando a los metales, además la biomasa posee estructura macroporosa y mesoporosa con baja área superficial y con una gran cantidad de celdas que favorecen la captura de los iones metálicos en la solución y la presencia de grupos funcionales incrementan la cantidad de sitios activos disponibles (Atehortua & Gartner, 2013).

Hoy en día los residuos agrícolas están recibiendo más atención dada las buenas propiedades como biosorbentes y gran eficiencia para eliminar iones Pb(II) (Ronda et al., 2015). La capacidad de adsorción se debe a los grupos activos que estos contienen en su pared celular (Dodbiba et al., 2015), en ese sentido las hojas de la quinua resultan ser una excelente alternativa para la inmovilización del plomo, ello debido a los antioxidantes (polifenoles) presentes en su composición (Tarquino, 2018), dentro de los que destacan los grupos carboxílicos e hidroxilos. Estos grupos funcionales poseen carga negativa y se unen al ion metálico formando complejos metálicos (Tejada Tovar et al., 2016). Por lo tanto, el presente estudio tiene como objetivo evaluar el efecto de *Chenopodium quinoa* con parámetros de control en la adsorción de plomo en suelos agrícolas contaminados por la minería.

### III. MATERIALES Y MÉTODOS

#### Preparación del adsorbente

Se utilizó biomasa residual de la quinua obtenidas de las orillas del lago Titicaca del distrito de Capachica, esta zona no presenta indicios de contaminación; se procedió con el lavado de las hojas con abundante agua destilada y se colocaron en cápsulas de porcelana para llevarlos a secado en estufa a una temperatura de 60 °C, por un tiempo 24 horas, posteriormente las muestras fueron trituradas en un mortero de porcelana y tamizadas en tamizador marca ROTAP hasta malla estándar N° 200 µm. Finalmente 250 g del material pulverizado fue colocado en bolsas herméticas previamente rotuladas para su transporte hasta



los laboratorios de calidad de la Universidad Católica Santa María y laboratorios de Investigación y Servicios de la UNSA para la cuantificación de polifenoles por el método Folin Ciocalteu y grupos funcionales por espectroscopía infrarroja con transformada de Fourier FTIR en rango de longitud de onda de  $650\text{ cm}^{-1}$  a  $4000\text{ cm}^{-1}$  respectivamente.

### Ensayos de adsorción

La evaluación del efecto de las hojas de quinua en la capacidad de adsorción del plomo bajo parámetros controlados de pH y temperatura en suelo, se llevó a cabo en sistema batch, para ello se pesó 2 g de suelo y se colocó en vasos de precipitados de 250 ml, se adiciono 10 mL de solución Pb (II) a concentraciones de 20 mg/L y 2g/L de adsorbente(hojas de quinua pulverizadas). La influencia del pH y temperatura se evaluó aplicando diseño factorial  $n^k$  (tabla 1), los niveles de pH fueron 2-4-6 (ajustado con solución de  $\text{HNO}_3$  y  $\text{NaOH}$  0.01M) y temperaturas de 15, 30 y  $45^\circ\text{C}$ , se obtuvieron 9 experimentos con sus respectivas repeticiones obteniendo en total 27 experimentos. Dispuestos los tratamientos se procedió a agitar cada uno de ellos en agitador de marca AGIMATEC a 170 rpm, durante 30 minutos.

Tabla 1

*Diseño experimental de los tratamientos*

N° de experimentos	Factor A	Factor B	Variables independientes		Variable dependiente	
			pH	T °	Capacidad de adsorción	
1	-1	-1	2	15	X1	Z1
2	0	-1	4	15	X1	Z1
3	1	-1	6	15	X1	Z1
4	-1	0	2	30	X1	Z1
5	0	0	4	30	X1	Z1
6	1	0	6	30	X1	Z1
7	-1	1	2	45	X1	Z1
8	0	1	4	45	X1	Z1
9	1	1	6	45	X1	Z1

Después de cada tratamiento se procedió a filtrar cada uno de las soluciones utilizando papel Watman N° 40 y la solución extractarte fue colocada en tubos Falcon de 50 ml y conservadas con  $\text{HNO}_3$  hasta su derivación a los laboratorios de LAVINVSERV de la UNSA para cuantificación de plomo por el método ICP-MS (espectroscopio de emisión atómica con plasma inductivamente acoplado).La cantidad de Pb adsorbida se determinó en base a la diferencia de concentración en la solución antes y después de la sorción, según el balance de masa que se muestra en la siguiente ecuación:

$$q_e = \left( \frac{C_o - C_e}{m} \right) V \quad (\text{ecuación 1})$$



Donde

$q_e$  = Concentración de metal absorbido (mg/g)

$C_0$  = Concentración inicial de metal (mg/L)

$C_e$  = Concentración de equilibrio en el tiempo  $t$  (mg/L)

$V$  = Volumen de solución (L)

$m$  = masa de suelo

### Ensayos de adsorción del Pb en suelos agrícolas contaminados con residuos mineros

El área de estudio se localizó al sur oeste del departamento de Puno, distrito de Tiquillaca, Centro Poblado Sunsori, comunidad de Paxa, con altitud de 3 920.

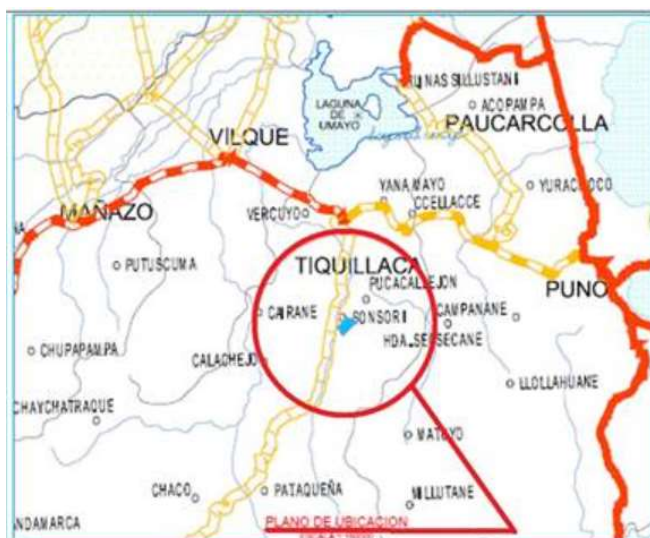


Figura 1, Distrito de Tiquillaca, Centro Poblado Sunsori, comunidad de Paxa,

El muestreo se realizó en suelos agrícola del distrito de Tiquillaca con indicios de contaminación con residuos mineros, se realizó un muestreo a juicio de expertos tomando muestras a una profundidad de 30 cm, las cuales se secaron a temperatura ambiente, se trituraron y tamizaron a través de una malla de 2 mm. Se tomaron 250g de muestra de suelo y se envasaron en bolsas de polietileno con adición de solución de ácido nítrico al 1%, siendo transportado hacia los laboratorio LAVINSER para la cuantificación de plomo por el método ICP-MS(espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado).

Para determinar la capacidad de adsorción de plomo con hojas de quinua en suelo agrícola se pesó 1 g de suelo a proveniente de Tiquillaca y se colocó en un vaso de precipitado de 250 mL se adiciono 20 ml de agua ultrapura y 1g/L de adsorbente (hojas de quinua). Los parámetros pH y temperatura fueron ajustados según los valores óptimos obtenidos del diseño experimental. La mezcla fue sometida a agitación constante de 170 rpm en agitador de marca AGIMATEC, el tiempo de agitación fue de 30 minutos. La suspensión fue filtrada a través de papel Whatman N° 40 (Sánchez, Subero & Rivero, 2011), el sobrenadante fue envasado en tubos falcón de 50 mL de capacidad, conservada con ácido nítrico al 1% y rotulada para su transporte a LAVINSER para determinación de plomo por el método ICP-



MS(espectrometría de masas con plasma inductivamente acoplado). La cantidad de Pb adsorbida fue determinada en base a la diferencia de concentración en la solución antes y después de la sorción(ecuación 1).

### Análisis de datos

El procesamiento de los resultados se realizó con el software SPSS, el cual permitió presentar el análisis de varianza de las variables y sus interacciones (Gutierrez & Salazar,2008).

## IV. RESULTADOS

### Contenido de compuestos fenólicos en las hojas de quinua

La cuantificación de compuestos fenólicos realizado en el laboratorio de ensayo y control de calidad de la Universidad Católica de Santa María-Arequipa dio como resultado la presencia de 40 mg de ácido tánico/100g de muestra seca, además se identificó los grupos funcionales presentes en la muestra mediante el método Espectroscopia de infrarrojo por transformada de Fourier, equipo de marca Perkin Elmer, modelo Frontier FTIR/NIR, el método fue ASTM E1252-98.

Los resultados del FTIR se muestran en la figura 2, donde se observan vibraciones de extensión de enlaces C-H en los picos situados en el rango de  $3270.42\text{ cm}^{-1}$  y  $2850.03\text{ cm}^{-1}$  los cuales identifican una gran variedad de grupos funcionales como los alcoholes, aminas, lípidos y compuestos fenólicos, así como compuestos hetero-aromáticos como piridinas, pirazinas, pirroles, furanos y tiofenos(X. H. Liu et al., 2012).

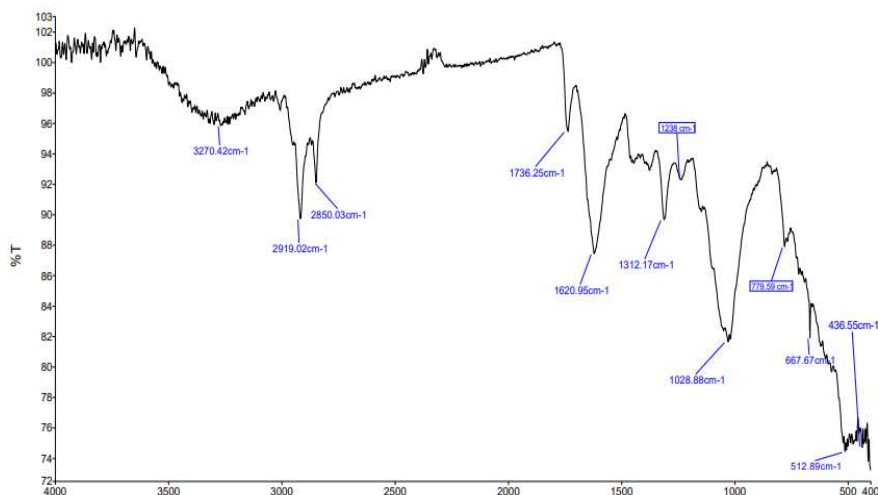


Figura 2, Grupos funcionales identificados por el método FTIR antes de la sorción

Los picos registrados en el rango de  $2919.02\text{ cm}^{-1}$  y  $2850.03\text{ cm}^{-1}$  fueron asignados a vibraciones asimétricas y simétricas de extensión del grupo C-H de los lípidos(X. H. Liu et al., 2012). En la región de  $2000\text{ cm}^{-1}$  y  $1550\text{ cm}^{-1}$  se identificó dos picos  $1736.25\text{ cm}^{-1}$  y  $1620.95\text{ cm}^{-1}$  correspondiente a la presencia del grupo carbonilo C=O asociado al éster y el



pico de menor intensidad corresponde a los flavonoides, con estructuras formadas por dos anillos aromáticos ligados a través de tres carbonos que forman usualmente un heterociclo oxigenado (Domínguez-Pérez et al., 2019). Por otro lado también se observó picos de absorción en  $1312.17\text{ cm}^{-1}$  y  $1238.00\text{ cm}^{-1}$  correspondientes a vibraciones de estiramiento C-N de amidas o de flexión O-H de polifenoles. Además las bandas de absorción de  $1028.88\text{ cm}^{-1}$  son referidas a las vibraciones C-OH y C-O-C de las proteínas presentes en las hojas de quinua (Radini et al., 2018). En cuanto a los picos pequeños comprendidos en el rango de  $779.69\text{ cm}^{-1}$  a  $436.55\text{ cm}^{-1}$  serían las vibraciones del Fe y Zn presente en las hojas de quinua ya que Campos-Rodríguez et al., (2022) refiere concentraciones de 483 mg de Fe y 204.0 mg de Zn.

Por otro lado, en la figura 3 se observan grupos funcionales después de la sorción con la biomasa pulverizada de quinua, los cuales muestran grupos funcionales en la superficie del adsorbente, tales como amino, hidroxilo y carbonilo, todos ellos cambiaron ligeramente de posición y de número de longitud de onda, que puede ser una confirmación de la interacción física o química con el ion plomo (Nur Fatin Adlina Mohd Fouzi & Al., 2018). El espectro FTIR mostro un pico ancho ligeramente desplazado de  $3413.16\text{ cm}^{-1}$  después de la sorción indicando la presencia de OH<sup>-</sup> debido a la presencia de alcoholes, compuestos fenólicos, ácido carboxílico y polisacáridos de la celulosa; también se presentó picos en  $3005.21\text{ cm}^{-1}$ ,  $2926.52\text{ cm}^{-1}$  y  $2853.28\text{ cm}^{-1}$  los cuales estarían relacionados con vibraciones C-H de los grupos CH<sub>3</sub> y CH<sub>2</sub> de las cadenas laterales de los grupos metoxilo aromático (Ibrahim et al., 2010).

Así mismo, se observa picos que oscilaban entre el rango de  $1690\text{--}1760\text{ cm}^{-1}$  sugiriendo la presencia del grupo C – O, mientras que los picos en el rango de  $1200\text{--}1220\text{ cm}^{-1}$  podría deberse a los grupos CO y OH<sup>-</sup> en ácidos carboxilo COOH, de la misma forma los picos de absorbancia en  $1050\text{--}1300\text{ cm}^{-1}$  podría deberse a la presencia del grupo C – O en la superficie. El FTIR de hojas de quinua después de la sorción muestran incremento en los picos de estiramiento formándose uno nuevo en  $466.5\text{ cm}^{-1}$ , lo que sugiere la interacción química de los grupos funcionales de la hoja de quinua con los iones plomo (Ibrahim et al., 2010) en el suelo. Los resultados son coincidentes con lo informado por Elkhaleefa et al., (2021), quienes reportaron vibraciones de estiramiento de Pb a  $462\text{ cm}^{-1}$  a  $403.06\text{ cm}^{-1}$  confirmando con ello la adsorción de Pb en la superficie del adsorbente. Según el análisis realizado se podría decir que los grupos funcionales responsables de la adsorción de Pb en las hojas de quinua son grupos oxidrilo, carbonilo y carboxilo que tienen una carga negativa parcial en el oxígeno que atraería la carga positiva de los iones Pb (Nur Fatin Adlina Mohd Fouzi & Al., 2018).

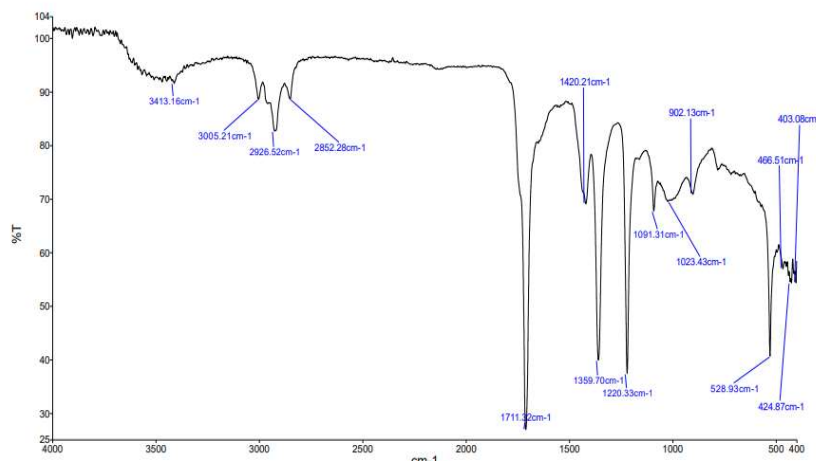


Figura 3, Grupos funcionales de las hojas de quinua identificados por FTIR después de la sorción

### Ensayos de adsorción

Los resultados de la concentración de plomo después de la sorción y la capacidad de adsorción en los 9 tratamiento y sus réplicas se observan en la tabla 2.

Tabla 2

Resultados de la concentración de plomo después de la adsorción *Chenopodium quinoa*

N° Exp	pH	T°	Concentración de Pb(mg/kg)			qe mg/g	% de Ads.
			R1	R2	R3		
1	2	15	0.3	0.3	0.3	3.9	98.5
2	4	15	0.6	0.5	0.3	3.9	97.7
3	6	15	0.5	0.5	0.1	3.9	98.1
4	2	30	0.3	0.3	0.4	3.9	98.2
5	4	30	0.5	0.5	0.3	3.9	97.7
6	6	30	0.6	0.6	0.3	3.9	97.6
7	2	45	0.3	0.3	0.4	3.9	98.2
8	4	45	0.6	0.6	0.2	3.9	97.7
9	6	45	0.6	0.6	0.4	3.9	97.4

La tabla 2, muestra las concentraciones de plomo obtenidas después de haber sido sometido al adsorbente de hojas de quinua a pH =2,4, y 6 y temperaturas 15°C, 30°C y 45°C, cabe notar que la concentración inicial de plomo en solución fue de 20 mg/L y la cantidad de adsorbente empleado fue de 1g/L. Los resultado muestras que después de 30 minutos de agitación se tiene concentraciones mínimas de plomo en los 9 tratamientos logrando porcentajes de adsorción en el rango de 97 al 98% en pH en el rango de 2 a 6 a diferentes temperaturas experimentadas(Figura 4). Además se observa que los porcentajes disminuyen ligeramente en pH=4(Figura 5), ante ello diversos autores refieren que a pH bajos el plomo esta soluble lo cual favorece su permanencia en los sitios de adsorción contrariamente a pH=



6 el plomo precipita en la solución disminuyendo la probabilidad de adsorción en la superficie del adsorbente. Para Badawi et al.,( 2017) el p H es un parámetro muy importante que presenta efecto en el adsorbente y los metales.

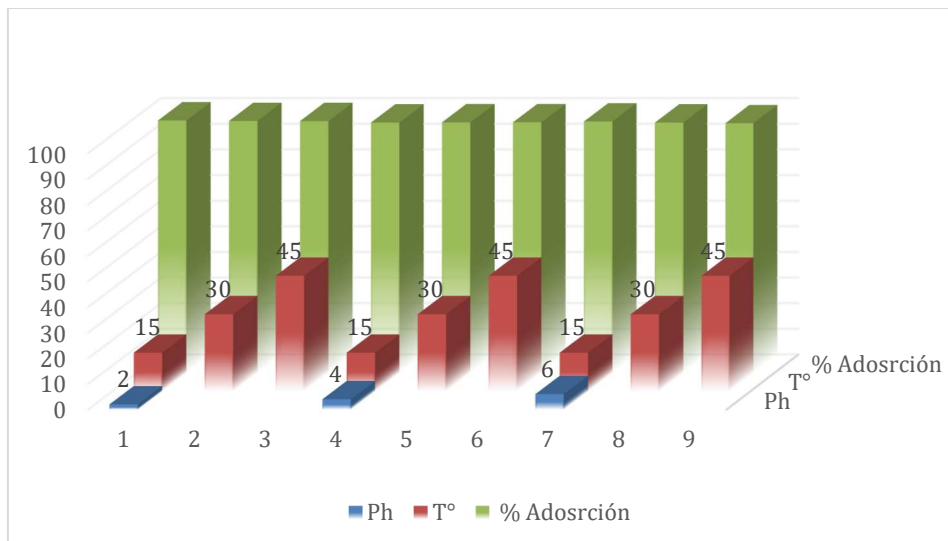


Figura 4, Porcentaje de adsorción del Pb con Chenopodium quinoa en los 9 tratamientos

### Efecto del pH

Los resultados de la presente investigación difieren con los reportados por Nur Fatin Adlina Mohd Fouzi, et., (2018) quienes aducen que la cantidad de ion Pb adsorbido es máxima a pH=5, ello debido a que el plomo en medios muy ácidos compite con radicales  $H_3O^+$  por el sitio de adsorción, por el contrario cuando el pH aumentó, el efecto competitivo del  $H_3O^+$  disminuyó revelándose que los iones Pb(II) se adsorben fácilmente en los sitios de adsorción, lo mismo refiere Sud et al., (2008) quienes reportaron 98% de adsorción a pH en el rango de 5 a 6. En cuanto a los resultados de la presente investigación, en donde se observa mayores porcentajes de adsorción a pH=2, podría deberse a la desorción de los iones metálicos del suelo lo cual favorecería su adsorción por las hojas de quinua, mientras que a pH de 4 y 6 la adsorción del plomo en el suelo estaría limitada por las formas en las que el metal se encuentren en el mismo.

En cuanto a la capacidad de adsorción en la tabla 2 se observa valores promedio de 3.9 mg/g en los nueve tratamientos con sus respectivas repeticiones, lo cual significa que 3.9 mg de plomo pueden adsorberse en cada gramo de hoja de quinua pulverizada y su valor constante en la presente investigación estaría infiriendo el efecto no significativos de esta variable en los procesos de adsorción.

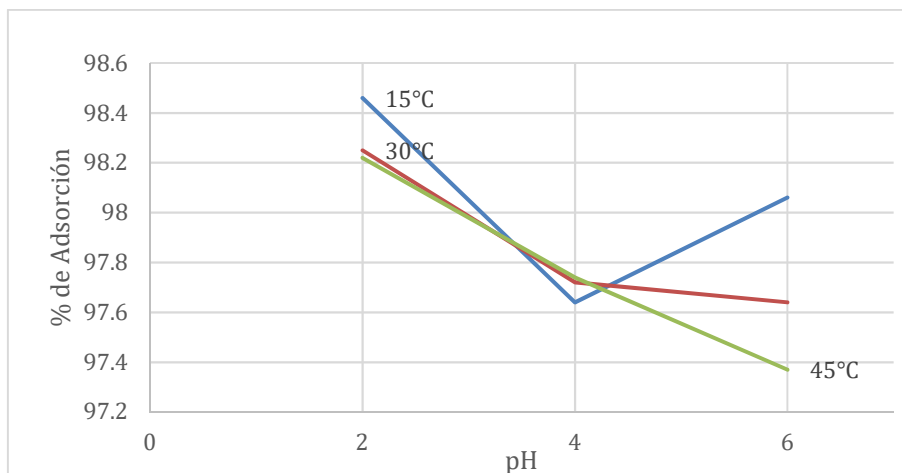


Figura 5, Efecto del pH en el porcentaje de adsorción

### Efecto de la Temperatura

La figura 6 muestra el efecto de la temperatura en el porcentaje de adsorción cuyos valores oscilan en el rango de 97 al 98% en los nueve tratamientos y sus respectivas repeticiones. En cuanto a la temperatura este, juega un papel importante en los procesos de adsorción de iones plomo, ya que aumenta la velocidad de difusión de los iones metálicos, además aumenta la ionización de los grupos funcionales y promueve la formación del complejo metal biosorbente, estas razones podrían explicar los elevados porcentajes de adsorción en soluciones donde se encuentra el Pb. En cuanto a la capacidad de adsorción los valores se muestran constante infiriendo de ello la no significancia en la variable respuesta.

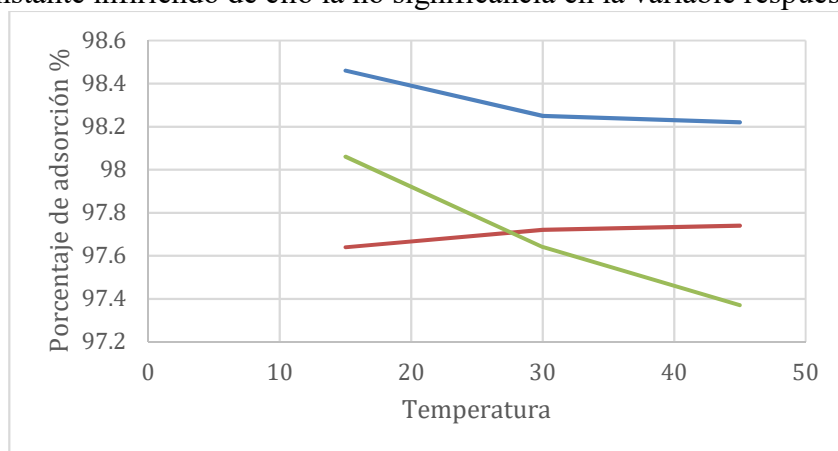


Figura 6, Efecto de la temperatura en el porcentaje de adsorción

El efecto de las variables pH y temperatura y sus interacciones sobre la capacidad de adsorción fue analizado mediante el análisis de varianza ANOVA (Tabla 3). El p-valor permitió identificar que las variables pH y temperatura no presentan influencia significativa sobre la capacidad de adsorción ya que para todos los casos el p-valor es mayor a 0.05 a un nivel de confianza del 95%.

Tabla 3



### *Análisis de Varianza ANOVA*

<b>FV</b>	<b>SC</b>	<b>gl</b>	<b>CM</b>	<b>F</b>	<b>p-valor</b>
<b>Modelo</b>	4.9E-03	8	6.2E-04	0.75	0.649
<b>pH</b>	3.6E-03	2	1.8E-03	2.19	0.141
<b>T°</b>	5.6E-04	2	2.8E-04	0.34	0.717
<b>pH*T°</b>	7.8E-04	4	1.9E-04	0.24	0.914
<b>Error</b>	0.01	18	8.2E-04		
<b>Total</b>	0.02	26			

### **Ensayos de adsorción del Pb con *Chenopodium quinoa* en suelos agrícolas**

En este estudio se tomaron muestras de suelo agrícola y se mezcló con hojas de quinua trituradas a pH=4 y temperatura de 15° C, se debe considerar que la concentración de plomo en estas muestras fue de 1135 a 1152.822 mg/kg (tabla 4) los mismos que exceden a la concentración dadas por los Estándares de calidad Ambiental, lo cual demuestra que la presencia de plomo se origina a partir de fuentes antropogénicas (X. Liu et al., 2021) que emiten residuos mineros al suelo, resultando ser este un problema recurrente para las tierras de cultivo ya que los metales son dispersados a los alrededores por viento y escurrimiento (Doumas et al., 2018).

Tabla 4

*Resultado de las concentraciones de Plomo en suelo agrícola de Tiquillaca*

<b>N°</b>	<b>CODIGO</b>	<b>Concentración de Pb(mg/kg)</b>		
		<b>R1</b>	<b>R2</b>	<b>R3</b>
<b>1</b>	suelo	1135.3	1132.2	1152.822

La aplicación de las hojas de quinua redujo la cantidad de plomo en el suelo, llegando a concentraciones mínimas de 0.071 mg/kg (tabla 5), según los resultados, las hojas de quinua aplicada en suelos presentarían porcentajes de adsorción del 99.99% en medios ácidos y temperatura ambiente. En este entender las hojas de quinua pueden ser usadas como enmiendas orgánicas para la biorremediación de sitios contaminados, ya que el contenido de fenoles podrían ser usados como fuente de carbono mejorando las comunidades del suelo en condiciones de contaminación. Además, la presencia de polifenoles actuarían como agentes quelantes de los metales pesados presentes en el suelo reteniendo cationes inorgánicos intercambiables (K, Ca y Mg) al proporcionar sitios de alta sorción y pueden mantener la disponibilidad de micronutrientes metálicos (Mn, Fe) mediante la formación de complejos orgánicos (Saranya Kuppasamy; Palanisami Thavamani, Mallavarapu Megharaj, 2015).



Tabla 5  
*Resultado de la capacidad de adsorción de Plomo en suelo agrícola Chenopodium quinoa.*

N°	CODIGO	Concentración final de Pb mg/Kg	qe mg/g	% de adsorción
1	M1	0.602	226.942	99.947
2	M2	0.071	226.428	99.994
3	M3	0.071	230.550	99.994

Así mismo, la tabla 6 muestra que el tratamiento de suelo agrícola con hojas de quinua presento concentraciones de plomo por debajo de los estándares de calidad ambiental a diferencia del tratamiento al cual no se le aplico el bioadsorbente.

Tabla 6  
*Análisis de Tukey para suelos agrícolas con y sin adición de hojas quinua*

Tratamiento	Medias	n	E E	
<b>Suelo agrícola con hojas de quinua</b>	0.25	3	4.54	A
<b>Suelo agrícola</b>	1140.12	3	4.54	B

Para Tejada-Tovar et al.,( 2015), la biomasa residual adsorbe metales pesados debido a las proteínas, carbohidratos y componentes fenólicos que contienen grupos carboxilo, hidroxilo, sulfatos, fosfatos y amino, los cuales captan los iones metálicos mediante procesos de adsorción. Estos fenómenos se dan en la superficie del adsorbente mediante intercambio iónico, complejación o atracción electrostática. A ello Atehortua (2013), presento porcentajes de adsorción similares a los reportados en la presente investigación, infiriendo que la biomasa proveniente de los tejidos de la planta poseen una alta capacidad de remoción de plomo, debiéndose a la estructura macroporosa y mesoporosa, el cual contiene una gran cantidad de cámaras que favorecen la captura de los iones metálicos dispuestos en presencia de grupos funcionales característicos de la celulosa que incrementan la cantidad de sitios activos disponibles. Para el caso de las hojas de quinua estos contienen compuestos polifenólicos que inmovilizan a los metales pesados evitando la lixiviación de los metales, además estos componentes pueden actuar como ligandos entre los grupos funcionales y los metales mediante interacciones no covalentes con los contaminantes inorgánicos(Saranya Kuppusamy; Palanisami Thavamani, Mallavarapu Megharaj, 2015).

## V. CONCLUSIONES

La aplicación de las hojas de quinua presenta una capacidad de adsorción de Plomo en el rango de 3.9 a 3.9 mg/g, así también muestran porcentajes de adsorción elevados en el rango del 97 al 98%, no siendo significativos los efectos del pH y temperatura sobre estos tratamientos, la alta capacidad de adsorción de las hojas de quinua estaría relacionadas con la presencia de compuestos fenólicos identificados por FTIR.



La capacidad de adsorción del plomo con hojas de quinua en suelos contaminados con residuos mineros fue elevada con un valor de 230.55 mg/g y porcentaje de adsorción del 99.99%, lo cual significaría que los compuestos fenólicos presente en el adsorbente son eficaces para inmovilizar al plomo presente en los suelos agrícolas contaminados con residuos mineros, limitando la biodisponibilidad del plomo para la flora y fauna residentes en el lugar

## REFERENCIAS

- Ahmed, I. M., Helal, A. A., El Aziz, N. A., Gamal, R., Shaker, N. O., & Helal, A. A. (2019). Influence of some organic ligands on the adsorption of lead by agricultural soil. *Arabian Journal of Chemistry*, 12(8), 2540–2547. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2015.03.012>
- Atehortua, E., & Gartner, C. (2013). Estudios preliminares de la biomasa seca de Eichhornia Crassipes como adsorbente de plomo y cromo en aguas. *Revista Colombiana de Materiales*, 4, 81–92.
- Badawi, M. A., Negm, N. A., Abou Kana, M. T. H., Hefni, H. H., & Abdel Moneem, M. M. (2017). Adsorption of aluminum and lead from wastewater by chitosan-tannic acid modified biopolymers: Isotherms, kinetics, thermodynamics and process mechanism. *International Journal of Biological Macromolecules*, 99, 465–476. <https://doi.org/10.1016/j.ijbiomac.2017.03.003>
- Campos-Rodriguez, J., Acosta-Coral, K., & Paucar-Menacho, L. M. (2022). Quinoa (Chenopodium quinoa): Nutritional composition and bioactive compounds of grain and leaf, and impact of heat treatment and germination. *Scientia Agropecuaria*, 13(3), 209–220. <https://doi.org/10.17268/sci.agropecu.2022.019>
- Chamorro, A., & Sanchez, R. (2012). *Determinacion de la adsorción de plomo.pdf*.
- Dodbiba, G., Ponou, J., & Fujita, T. (2015). Biosorption of Heavy Metals. In *Chapter 2* (pp. 409–426). <https://doi.org/10.4018/978-1-5225-8903-7.ch077>
- Domínguez-Pérez, L. A., Lagunes-Gálvez, L. M., Barajas-Fernández, J., Olán-Acosta, M. de los Á., García-Alamilla, R., & García-Alamilla, P. (2019). Caracterización vibracional de grupos funcionales en granos de cacao durante el tostado usando espectroscopía de infrarrojo por transformada de Fourier. *Acta Universitaria*, 29, 1–17. <https://doi.org/10.15174/au.2019.2172>
- Doumas, P., Munoz, M., Banni, M., Becerra, S., Bruneel, O., Casiot, C., Cleyet-Marel, J. C., Gardon, J., Noack, Y., & Sappin-Didier, V. (2018). Polymetallic pollution from abandoned mines in Mediterranean regions: a multidisciplinary approach to environmental risks. *Regional Environmental Change*, 18(3), 677–692. <https://doi.org/10.1007/s10113-016-0939-x>
- Elkhaleefa, A., Ali, I. H., Brima, E. I., Shigidi, I., Elhag, A. B., & Karama, B. (2021). Evaluation of the adsorption efficiency on the removal of lead(II) ions from aqueous solutions using Azadirachta indica leaves as an adsorbent. *Processes*, 9(3). <https://doi.org/10.3390/pr9030559>
- Fajardo, J.; Burbabo, D.; Apraez, N.; Rosero, M. (2005). Estudios de étodos químicos de remoción de cianuro presente en residuos de cianuración provenientes del proceso de eextracción de oro de veta en el departamento de Nariño. *Luna Azul*, 31, 8–16. <http://www.redalyc.org/articulo.oa?id=321727233002>
- Ibrahim, M. N. M., Ngah, W. S. W., Norliyana, M. S., Daud, W. R. W., Rafatullah, M., Sulaiman, O., & Hashim, R. (2010). A novel agricultural waste adsorbent for the removal of lead (II) ions from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials*, 182(1–3), 377–385. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2010.06.044>
- Lavado Meza, C., Sun Kou, M. del R., & Bendezú, S. (2010). Usando Carbones Activados Adsorption of Lead From Industrial Wastewater Using Activated Carbons With H 3 Po 4. *Rev Soc Quím Perú.*, 76(2), 165–178.
- Leiva, R. (2007). Importancia y aplicaciones de la adsorción en fase líquida. *Sólidos Porosos, Preparación, Caracterización y Aplicaciones.*, 1, 160–170.
- Liu, X., Chen, S., Yan, X., Liang, T., Yang, X., El-Naggar, A., Liu, J., & Chen, H. (2021). Evaluation of potential ecological risks in potential toxic elements contaminated

- agricultural soils: Correlations between soil contamination and polymetallic mining activity. *Journal of Environmental Management*, 300(July).  
<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2021.113679>
- Liu, X. H., Xu, C. H., Sun, S. Q., Huang, J., Zhang, K., Li, G. Y., Zhu, Y., Zhou, Q., Zhang, Z. C., & Wang, J. H. (2012). Discrimination of different genuine Danshen and their extracts by Fourier transform infrared spectroscopy combined with two-dimensional correlation infrared spectroscopy. *Spectrochimica Acta - Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy*, 97, 290–296. <https://doi.org/10.1016/j.saa.2012.06.013>
- Mendoza Vizcaíno, L., Fuentes Molina, N., & Gonzales Fragozo, H. (2017). Adsorción de Plomo(II) en solución acuosa con tallos y hojas de *Eichhornia crassipes*. *U.D.C.A*, 2, 435–444.
- Meza Lopez, F. de L. (2017). *Estudio de la adsorción de arsenico presente en soluciones acuosas empleando materiales adsorbentes a base de quitosano modificado*.
- Murithi, G., Onindo, C. O., Wambu, E. W., & Muthakia, G. K. (2014). *com Removal of Cadmium(II) Ions from Water by Adsorption using Water Hyacinth ( Eichhornia crassipes ) Biomass*. 9(Ii), 3613–3631.
- Nigam, R., Srivastava, S., & Prakash, S. & S. M. (2001). Cadmium mobilisation and plant availability-the impact of organic acids commonly exuded from roots. *Plant and Soil*, 203(3), 107–113. <https://doi.org/10.1023/A>
- Nur Fatin Adlina Mohd Fouzi, E., & Al. (2018). Separation of Pb(II) From wastewater using untreated coconut(Cocos nucifera) frond powder. *Malaysian Journal of Analytical Science*, 22(1), 128–135. <https://doi.org/10.17576/mjas-2018-2201-16>
- Radini, I. A., Hasan, N., Malik, M. A., & Khan, Z. (2018). Biosynthesis of iron nanoparticles using *Trigonella foenum-graecum* seed extract for photocatalytic methyl orange dye degradation and antibacterial applications. *Journal of Photochemistry and Photobiology B: Biology*, 183, 154–163. <https://doi.org/10.1016/j.jphotobiol.2018.04.014>
- Ronda, A., Calero, M., Blázquez, G., Pérez, A., & Martín-Lara, M. A. (2015). Optimization of the use of a biosorbent to remove heavy metals: Regeneration and reuse of exhausted biosorbent. *Journal of the Taiwan Institute of Chemical Engineers*, 51, 109–118.  
<https://doi.org/10.1016/j.jtice.2015.01.016>
- Saranya Kuppusamy; Palanisami Thavamani, Mallavarapu Megharaj, R. N. (2015). *Bioremediation potential of natural polyphenol rich green wastes: A review of current research and recommendations for future directions*. June, 1–33.
- Sud, D., Mahajan, G., & Kaur, M. P. (2008). Agricultural waste material as potential adsorbent for sequestering heavy metal ions from aqueous solutions - A review. *Bioresource Technology*, 99(14), 6017–6027.  
<https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.11.064>
- Tarquino, L. (2018). *Estudio preliminar para optimizar la extracción de compuestos fenólicos bioactivos de quinoa(chenopodium quinoa)*. 67.
- Tejada-Tovar, C., Villabona-Ortiz, Á., & Garcés-Jaraba, L. (2015). Adsorción de metales pesados en aguas residuales usando materiales de origen biológico. *TecnoLógicas*, 18(34), 109. <https://doi.org/10.22430/22565337.209>
- Tejada Tovar, C., Herrera, A., & Núñez Zaru, J. (2016). Remoción de plomo por biomasa residual de cáscara de naranja (*Citrus sinensis*) y zuro de maíz (*Zea mays*). *Revista U.D.C.A Actualidad & Divulgación Científica*, 19(1), 169–178.  
<https://doi.org/10.31910/rudca.v19.n1.2016.126>
- Vizcaíno, L., Fuentes, N., & González, H. (2017). Adsorption of lead ( II) with stems and leaves of *eichhornia crassipes* in aqueous solution. *U.D.C.A*, 20(Ii), 435–444.  
<http://www.scielo.org.co/pdf/rudca/v20n2/v20n2a21.pdf%0Ahttps://revistas.udca.edu.co/index.php/ruadc/article/view/400>

- Y, A. and, & Gartner, E. . (2013). *Estudios preliminares de la biomasa seca de Eichhorna Crassipes como adsorbente de plomo y cromo en aguas* (pp. 81–92).
- Yadav, K. K., Singh, J. K., Gupta, N., & Kumar, V. (2017). A review of nanobioremediation technologies for environmental cleanup: A novel biological approach. *Journal of Materials and Environmental Science*, 8(2), 740–757.
- Yin, H., Tan, N., Liu, C., Wang, J., Liang, X., Qu, M., Feng, X., Qiu, G., Tan, W., & Liu, F. (2016). The associations of heavy metals with crystalline iron oxides in the polluted soils around the mining areas in Guangdong Province, China. *Chemosphere*, 161, 181–189. <https://doi.org/http://dx.doi.org/10.1016/j.chemosphere.2016.07.018>
- Yurtsever, M., & Şengil, I. A. (2009). Biosorption of Pb(II) ions by modified quebracho tannin resin. *Journal of Hazardous Materials*, 163(1), 58–64. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2008.06.077>
- Zhang, X., Zhao, X., Wan, C., Chen, B., & Bai, F. (2016). Efficient biosorption of cadmium by the self-flocculating microalga *Scenedesmus obliquus* AS-6-1. *Algal Research*, 16, 427–433. <https://doi.org/10.1016/j.algal.2016.04.002>

**Recibido:** 14/10/2024

**Aceptado:** 28/10/2024

**Publicado:** 30/12/2024

---