



Article scientific

Removal of Zinc (Zn) and Lead (Pb) in aqueous solution using the activated carbon adsorption column system

Elvis Mariano Evangelista Medina ^a and Patricia Pilar Romero Ushuñahua ^a

^a Universidad Nacional Agraria de la Selva, Perú 

ITEM INFORMATION

Published: 2022-06-30
Accepted: 2022-06-28
Received: 2022-03-30

Keywords:

Activated carbon
Adsorption
Lead
Zinc
Removal
Aqueous solution

ABSTRACT

Water is one of the resources of great importance for human life and the development of multiple human activities makes it even more so, however, but as we see the water suffers various alterations. Water pollution in Peru is caused by mining activities, factories, domestic, etc., being this a problem of great relevance that requires much attention. An alternative solution is the adsorption of heavy metals with the use of activated carbons; adsorption is a very low cost technology and is eco-friendly with the environment, there are several ways to obtain activated carbons, one of them is from organic material with a high percentage of carbon and its activation is given in different ways, in the chemical case it can be through phosphoric acid (H₃PO₄), sodium hydroxide (KOH) or zinc chloride (ZnCl₂) and in a physical way there are the water method (H₂O(v)), carbon dioxide (CO₂) or oxygen (O₂), whichever method you choose you will have porous activated carbon that have various applications, among these is the ability to absorb heavy metals. The present investigation was carried out in the water quality laboratory of the Universidad Nacional Agraria de la Selva, whose general objective is to determine the efficiency of the removal of heavy metals in Zinc (Zn) and/or Lead (Pb) in an aqueous solution through the system of adsorption columns with activated carbon, where we worked with a flow rate of 12.5 mL/s, with a height of 60 cm, cross-sectional area of 86.59 cm². Therefore, 10.478 mL of 68.5% HNO₃ is needed to prepare 1 liter of 1% nitric acid solution. It is concluded that the efficiency of the system increases when the adsorbent has more contact with the wastewater, in a time of 100 minutes the efficiency is 51.5% and 58% in the removal of Pb and Zn respectively

Remoción del Zinc (Zn) y Plomo (Pb) en solución acuosa mediante el sistema de columnas de adsorción con carbón activado


RESUMEN

El agua es uno de los recursos de gran importancia para la vida humana y el desarrollo de las múltiples actividades humanas lo hace más aun, sin embargo, pero como vemos el agua sufre diversas alteraciones. La contaminación hídrica en el Perú es a causa de las actividades mineras, fabricas, doméstica, etc., siendo esto un problema de gran relevancia que requiere de mucha atención. Una alternativa de solución es la adsorción de metales pesados con el uso de carbones activados; la adsorción es una tecnología de muy bajo costo y es eco amigable con el medio ambiente, existe diversas formas de obtener los carbones activados, una de ella es de material orgánico con alto porcentaje en carbono y su activación se da de diferentes formar, en el caso químico puede ser a través del ácido fosfórico (H₃PO₄), hidróxido de sodio (KOH) o cloruro de zinc (ZnCl₂) y de manera física existen el método del agua (H₂O(v)), dióxido de carbono (CO₂) u oxígeno (O₂), ya que sea el método que escojas se tendrá carbón activado porosos que tienen diversas aplicaciones, entre estos se encuentra la capacidad de absorber de metales pesados. La presente investigación se ejecutó en el laboratorio de calidad de agua, de la Universidad Nacional Agraria de la Selva, cuyo objetivo general es Determinar la eficiencia de la remoción de metales pesados es en el Zinc (Zn) y/o en el Plomo (Pb) en una solución acuosa mediante el sistema de columnas de adsorción con carbón activado, donde se trabajó con un caudal de 12.5 mL/s, con una altura de 60 cm, área transversal de 86.59 cm². Por lo tanto, se necesitan 10.478 ml de HNO₃ al 68.5 % para preparar 1 litro de solución al 1% de ácido nítrico. Se concluye que la eficiencia del sistema aumenta cuando tiene más contacto el adsorbente con el agua residual, en un tiempo de 100 minutos la eficiencia es de 51.5% y 58% en la remoción de Pb y Zn respectivamente.

Palabras clave:

Carbón activado
Absorción
Plomo
Zinc
Remoción
Solución acuosa



 <https://doi.org/10.47422/GreenHorizon.v1i1.5>



INTRODUCCIÓN

En el tratamiento de aguas residuales, el carbón activado suele aplicarse en la última etapa, denominada “tratamiento terciario”. En esta etapa se busca “pulir” el agua. Es decir, se busca llevarla a mayores niveles de pureza de los que se pueden alcanzar con los métodos tradicionales fisicoquímicos y biológicos. Esto se requiere cuando: (a) Un contaminante específico, como un olor o un color, no está cumpliendo con lo que el usuario requiere; o (b) No sólo se requiere cumplir con la norma de agua residual, sino que se busca reutilizar el agua o utilizarla para servicios o para riego u otros usos en los que es necesario un mayor nivel de pureza respecto al que se pudo obtener con los tratamientos primario y secundario. El carbón activado es capaz de retener contaminantes poco polares, covalentes y no disociados que suelen ser los de origen orgánico en cualquier concentración, sin embargo, se aplica en el tratamiento terciario ya que, en términos técnico-económicos, es competitivo respecto a otros procesos, para llevar los niveles de contaminantes orgánicos de “relativamente bajos” a “muy bajos”. El Carbón Activado Granulado tiene la capacidad de adsorber relativamente pequeñas cantidades de compuestos orgánicos solubles y compuestos inorgánicos como nitrógeno, sulfuros y metales pesados remanentes en las aguas residuales tras el tratamiento primario y secundario. En el siguiente Trabajo de investigación implantamos un sistema de adsorción mediante Carbón Activado Granulado cuya finalidad es eliminar el olor, color del agua residual proveniente de industrias de Pinturas, lacas y solventes, así como también la adsorción de metales pesados (Plomo y Zinc).

MATERIALES Y MÉTODOS

Lugar de Ejecución

La presente investigación se desarrolló en las instalaciones del laboratorio de calidad de agua, ubicado en la Universidad Nacional Agraria de la Selva, distrito de Rupa Rupa, provincia de Leoncio Prado y departamento de Huánuco.

Tabla 1

Coordenadas en UTM, WGS84 18L

Zona	Norte	Este
18 L	8970228.84	390705.91

Materiales, Reactivos y Equipos

Dos válvulas, 02 tanques de PVC, 01 balde de PVC, Tubos de PVC de ½”, Tubos de PVC de ¾”, 04 llaves universal, 06 codos de PVC, 01 Tee, 32 tornillos, 8 filtros de asbesto de ½”, 04 envases de plástico, 02 envases de vidrio, Grava de 2 mm, Grava de 4mm, 04 Teflón, Pegamento para tubos, Rotuladores, Libreta de apuntes, Vasos precipitados de 40 ml, Piseta, 4 L agua destilada; Carbón activado granular (GAC), Plomo (Pb), Zinc (Zn), Ácido nítrico (HNO₃); Espectrofotómetro de absorción atómica VARIAN SPECTR AA 55B, Lámpara de cátodo hueco VARIAN SPECTR AA Plomo, Lámpara de cátodo hueco VARIAN SPECTR AA Zinc, GPS GARMIN

Parámetros de diseño del sistema de columnas de adsorción con carbón activado.

Caudal de operación (Q)

$$Q = \frac{VOLUMEN}{TIEMPO}$$

El caudal de operación se manejará de 10 – 12 mL/s.

Área transversal de la columna (A_t)

$$A = \frac{\pi (\Phi \text{ cm})^2}{4}$$

Φ = diámetro

Altura total de la columna (h)

La relación de esbeltez entre la altura de la columna y el diámetro de la columna se ha extraído del Perry y en dicho manual hemos encontrado:

$$\frac{h}{D} = 3 \text{ a } 5$$

Altura del lecho de carbón (*hc*)

La altura del lecho de carbón se establece una distancia máxima con el fin de garantizar un espacio libre en la columna para añadir capas de grava de distintos mm en los extremos de este lecho que actuaran como filtro lento, además en caso en que esta deba ser lavada.

Instalación hidráulica

Selección del caudal adecuado para la instalación hidráulica

Implementar tubos de Marriot

Selección de tuberías

Determinación de diámetro de tubería

Determinar la pérdida de carga de las columnas

Una vez se conoce el diámetro de las tuberías, deberemos calcular la pérdida de carga en las mismas (*hf*). Para ello, se seguirá la ecuación de Darcy-Weisbach:

$$hf = f * \frac{L * v_f}{D * 2 * g}$$

Donde:

L= es la longitud total de tuberías

v_f = la velocidad del fluido

D:es el diámetro interior de la tubería

g = el valor de la gravedad

f = es el coeficiente de fricción

El coeficiente de fricción depende del número adimensional de Reynolds y de la rugosidad del material empleado en la tubería. El valor de la rugosidad se ha extraído del catálogo y necesitaremos calcular el valor del número de Reynolds mediante la siguiente ecuación:

$$Re = \frac{D * v_f}{\text{viscosidad dinámica}}$$

Una vez conocido ambos parámetros, emplearemos la ecuación de Colebrook-White:

$$\frac{1}{\sqrt{f}} = -2 * \log \left(\frac{L * v_f}{3.7 * D} + \frac{2.51}{Re * \sqrt{f}} \right)$$

Una vez que obtenemos el valor de *f* ya podremos proceder al cálculo de la pérdida de carga en las tuberías.

Concentración de metales pesados (*Zn* y *Pb*) en la preparación del agua sintética para el sistema de columnas de adsorción con carbón activado.

Para determinar las concentraciones iniciales y finales se utilizó el espectrofotómetro de absorción atómica, debido a que este equipo se realizó por lectura directa.

Dosis de ácido nítrico para la operación de retro lavado del sistema de columnas de adsorción con carbón activado.**Reactivación química**

Comprende las siguientes operaciones:

Sumergir al carbón activado en agua durante una hora.

Lavar al carbón activo con ácido nítrico diluido.

Este proceso se realiza haciendo circular *ácido nítrico* (HNO_3) a través del carbón hasta llegar a un pH aproximado de 2, el tiempo estimado es de dos horas con un posterior lavado del carbón ya reactivado.

Para realizar el lavado del sistema también se tiene en cuenta:

La cantidad de carbón activado presente en las columnas

Pérdida de carga del filtro

Cantidad de carbón activado presente en las cuatro columnas

Por lo tanto:

Densidad aparente del carbón: 0.48 g/cm³

Volumen que ocupa el carbón: 865.901 cm³

Entonces:

$0.48 \text{ g} \text{ --- } 1 \text{ cm}^3$

$X \text{ g} \text{ --- } 865.901 \text{ cm}^3$

Cantidad de carbón en las columnas: 450 g

Ahora:

Dependiendo de la concentración de carbonatos en el carbón activado saturado, se realiza las concentraciones de ácido nítrico en relación con la cantidad de carbón.

Preparación de ácido nítrico

Se preparó ácido nítrico diluido a las concentraciones de 1%, 3% y 5%, a partir de ácido al 68.5%. Para realizar esta dilución se necesitó las densidades del ácido nítrico diluido a diferentes concentraciones. **Tabla 2:** nos muestra la cantidad de ácido nítrico concentrado que se utilizó para preparar 1 litro de las diluciones requeridas (1%, 3% y 5%).

Tabla 2

Volumen de ácido nítrico concentrado (mL) al 68.5% para preparar las diluciones de ácido requeridas en la prueba.

Vol. HNO ₃ cc.(ml)	% Peso en dilución	Aforo
10.48	1	1 L
31.77	3	1 L
53.49	5	1 L

Para realizar la prueba se necesitó preparar en total 3 litros de HNO₃ diluido de cada concentración (1, 3 y 5%).

Cálculo para preparar 1 litro de solución al 1% a partir de solución de ácido nítrico concentrado (68.5%). Se utiliza la siguiente fórmula:

$$\% P1 \times \rho1 \times V1 = \% P2 \times \rho2 \times V2$$

Dónde:

% P1: Porcentaje en peso a la concentración requerida (g soluto/g solución).

$\rho1$: Densidad a la concentración requerida (g/ml).

V1: Volumen de solución a preparar (ml).

% P2: Porcentaje en peso de ácido concentrado (g soluto/g solución).

$\rho2$: Densidad de ácido concentrado (g/ml).

V2: Volumen de solución requerida de ácido concentrado (ml).

Parámetros organolépticos del agua residual en la entrada y salida del sistema de columnas de adsorción con carbón activado.

Color

Este parámetro se determina con observación directa, viendo el color del agua de entrada y salida.

Olor

El método se hace por dos o más analistas. Uno hace diluciones y el otro determina las intensidades de olor. Las muestras son analizadas generalmente en orden creciente de concentración del odorante, aunque no es una secuencia consecutiva de diluciones, hasta que el olor es percibido. El analista hace la prueba seleccionando la muestra olorosa entre tres matraces, dos de los cuales contienen agua libre de olor. El olor se mide sin tener en cuenta materia suspendida o materiales inmiscibles en la muestra. Se toma como un hecho el que no existe un valor absoluto de olor y que la prueba se usa como comparación únicamente.

Parámetros físicos y químicos del agua residual sintética en la entrada y salida del sistema de columnas de adsorción con carbón activado.

Determinación de parámetros físico

Tabla 3

Parámetros fisicoquímicos

Parámetro	Unidad	Ecuación
Conductividad	μS/cm	HANNAN modelo HI98131
DQO	mg/L O ₂	HANNAN modelo HI839800
pH	Unidades	HANNAN modelo HI 98128
STD	mg/L	HANNAN modelo HI98131

Eficiencia de adsorción de plomo y zinc del sistema de columnas de adsorción con carbón activado

Determinación de concentraciones finales

Se realiza la toma de muestras del efluente del sistema y se dispone para realizar el análisis por medio del equipo: espectrofotómetro de absorción atómica. El análisis de metales pesados como: *Pb* y *Zn* en el laboratorio de suelos se lleva a cabo en la muestra sin filtrar sometida a una lectura rápida para determinar dichos metales pesados.

Determinación de la eficiencia

Obtenidos los datos de concentración de entrada y salida del sistema se determinará la eficiencia del sistema mediante la ecuación:

$$Eficiencia = \frac{Concentración\ de\ entrada - Concentración\ de\ salida}{Concentración\ de\ entrada} * 100$$

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Determinación los parámetros de diseño del sistema de columnas de adsorción con carbón activado para la remoción de metales pesados (*Zn* y *Pb*) presentes en el agua residual industrial.

La capacidad de adsorción del carbón activado aumenta cuando se disminuye el flujo volumétrico. En consecuencia, desde el punto de vista de operación de la columna los mejores resultados se obtienen a flujos volumétricos bajos de 1cm³/min respecto a 3 y 5 cm³/min, ya que los iones metálicos tienen suficiente tiempo para difundirse y transportarse hacia el carbón activado mejorando su capacidad de adsorción.

Caudal de operación (Q)

Tabla 4

Caudal de operación del sistema

Volumen (L)	Tiempo (min)	Caudal (ml/s)
0	45	12.5

El caudal usado en el sistema fue de 12 ml/s obteniéndose una remoción de metales promedio de 54%, esto es debido a que no se tomó en cuenta la variación de caudales luego de cada columna, perdiendo la constancia de este parámetro.

Área transversal de la columna (At)

Tabla 5

Área transversal de las columnas

Diámetro (cm)	At (cm ²)
10.5	86.59

Altura total de la columna (h)

Tabla 6

Altura de las columnas

Diámetro (cm)	Altura (cm)	h/D
10.5	60	5.7

El efecto que la cantidad de carbón activado para el cual se realizaron experimentos con tres cantidades de carbón activado correspondientes a tres alturas de lecho de 1, 5 y 10 cm, donde el tiempo de rompimiento aumentó de 4,0 min a 130,5 min, cuando se eleva la altura de 1 a 10 cm, el aumentar del lecho aumenta el tiempo de rompimiento por lo tanto la cantidad de Pb (II) eliminado. Esta situación puede explicarse por los fenómenos de transferencia de masa que ocurren en estos procesos. Cuando se reduce la altura del lecho, la transferencia de masa está dominada por el fenómeno de la dispersión axial, por lo que los iones metálicos no tienen suficiente tiempo para difundirse a través de toda la masa adsorbente.

Altura del lecho de carbón (h_c)

Tabla 7

Altura del lecho de carbón y grava de las columnas

h_c (cm)	Grava 2 mm (cm)	Grava 4 mm (cm)
15	10	10

El sistema utilizado no se optó por lechos a diferentes alturas solo se utilizó un lecho de carbón de 15 cm, iguales para cada columna por lo que no se observó variaciones en la remoción de cada columna, por otra parte, no se tuvo en consideración evaluar los efluentes en la salida de cada columna.

Figura 1

Esquema de la columna de adsorción



Para la caracterización del carbón se tiene en cuenta el análisis próximo y análisis último de este; el análisis próximo proporciona información del contenido de humedad, material volátil y contenido de cenizas y el análisis último o elemental suministra el contenido de carbono, hidrógeno, nitrógeno y azufre presente en el material (Garzón, 2018).

De acuerdo con los resultados obtenidos en cada uno de los análisis se puede inferir que el carbón utilizado es de tipo metalúrgico y térmico. Este tipo de carbón es utilizado por empresas de servicio público para generar electricidad y es caracterizado por tener una volatilidad alta y un bajo contenido de cenizas y humedad, que lo hace ser eficiente para la combustión, contribuyendo con la reactividad (Drummond Ltd., 2018; Cutimbo, 2017). Por otra parte, el bajo contenido de azufre y nitrógeno resulta ser una ventaja para la calidad del aire al igual que el alto contenido de oxígeno, ya que en el proceso de combustión puede significar una baja emisión de NOx y SOx (Cutimbo, 2017).

Instalación hidráulica

Para el correcto funcionamiento de nuestro equipo, una vez diseñado, es imprescindible que vaya acompañada la implementación de un sistema hidráulico que en definitiva alimente nuestra columna, una instalación la cual vamos a diseñar en este apartado prestando especial interés a la fuerza del caudal por diferencia de altura que tendremos que implementar para alimentar nuestro sistema. Además, se implementó un tubo de Marriot en los tanques de abastecimiento y retro lavado para un caudal constante. Se utilizó un tubo de ½" con una longitud de 44 y 59 cm para cada tanque. La instalación hidráulica que se va a diseñar se encuentra esquematizada en la siguiente figura:

Tabla 8*Elementos usados en la instalación hidráulica*



Etiqueta identificativa	Elemento	Unidades
D (1-3)	Tanques	3
V(1-2)	Válvulas	2
E (1-4)	Columnas de adsorción	4
	Codos	6
	Tuberías	4.5 m
T-1	Tee	1
U (1-4)	Llave universal	4

Figura 2*Esquema de instalación hidráulica*

Se han tomado esos diámetros de tubería porque son mayores sin superar mucho al diámetro mínimo requerido para que circule el caudal deseado de 12 ml/min.

Tabla 9*Pérdida de carga en el sistema hidráulico*

Longitud total de tuberías L (m)	4.5
Numero de Reynolds	86500
Coefficiente de fricción f	0.0182
Perdidas de carga totales hf (m)	0.0789

Concentraciones de contaminantes (Zn y Pb) presentes en la pintura a usar en las mezclas de aguas residuales industriales sintéticas

Tabla 10*Concentraciones de Pb y Zn presentes en la pintura*

Pb (mg/L)	Zn (mg/L)
2	20

Según el artículo 50 de los límites máximos permisibles para plomo y zinc totales provenientes de la Industria de Pinturas Lacas y Solventes es: 0.5 mg/l y 1 mg/l, respectivamente.

Concentración de ácido nítrico para la operación de retro lavado del sistema.

Tabla 11*Disoluciones de ácido nítrico para el retrolavado.*

% Peso	Densidad (g/ml)	% Peso	Densidad (g/ml)
1	1.0049	7	1.0372
2	1.0102	8	1.0423
3	1.0156	9	1.0479

4	1.0206	10	1.0539
5	1.0259	15	1.0835
6	1.0316	68.5	1.4000

$$1\% \times 1.0049 \times 1000 = 68.5\% \times 1.4000 \times V_2$$

$$V_2 = 10.478 \text{ ml HNO}_3 \text{ al } 68.5\%$$

Por lo tanto, se necesitan 10.478 ml de HNO₃ al 68.5 % para preparar 1 litro de solución al 1% de ácido nítrico.

Parámetros organolépticos del agua residual en la entrada y salida del sistema de columnas de adsorción con carbón activado

Tabla 12

Determinación de la variación del color del agua residual

Inicial	Final
Blanquecino	Incoloro

Tabla 13

Determinación de la variación del color del agua residual

Inicial	Final
Intenso	Inodoro

Parámetros físicos y químicos del agua residual sintética en la entrada y salida del sistema de columnas de adsorción con carbón activado

Tabla 14

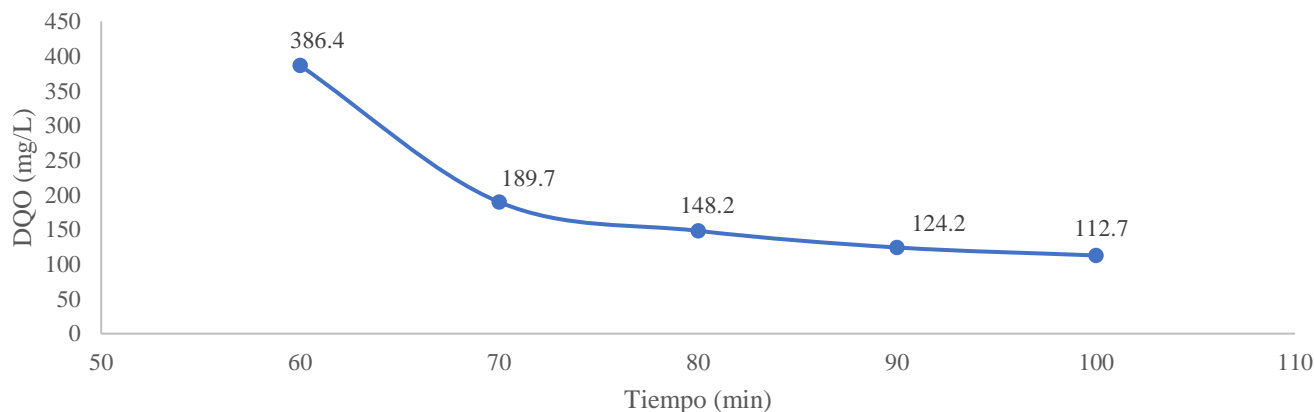
Parámetros fisicoquímicos del agua residual sintética con Plomo

Parámetros medidos	Muestra inicial	Muestra 1	Muestra 2	Muestra 3	Muestra 4	Muestra 5
pH	3.2	4.5	5.6	6.2	6.3	6.6
DQO (mg/l)	610.6	386.4	189.7	148.2	124.2	112.7
ST (mg/l)	7876.5	5620	4678.2	3891.2	2767.4	1256.8
Conductividad (Us/cm)	129.3	155.3	160.25	171.3	240.7	312.1

El pH tiene influencia en la adsorción de metales pesados en las diferentes soluciones. Los mayores porcentajes de adsorción (Pb; 99.75%, Cd; 99.85%) se presentaron en las soluciones de pH 6 con carbón modificado. En cambio, los porcentajes de remoción de plomo y cadmio usando el carbón sin modificar fueron de 75 % y 52%, respectivamente. Se ha reportado que al incrementar el pH las fuerzas de repulsión se debilitan, favoreciendo la difusión de los iones de plomo y cadmio hacia la superficie del adsorbente, lo cual aumenta la adsorción (Núñez et al., 2015).

Figura 3

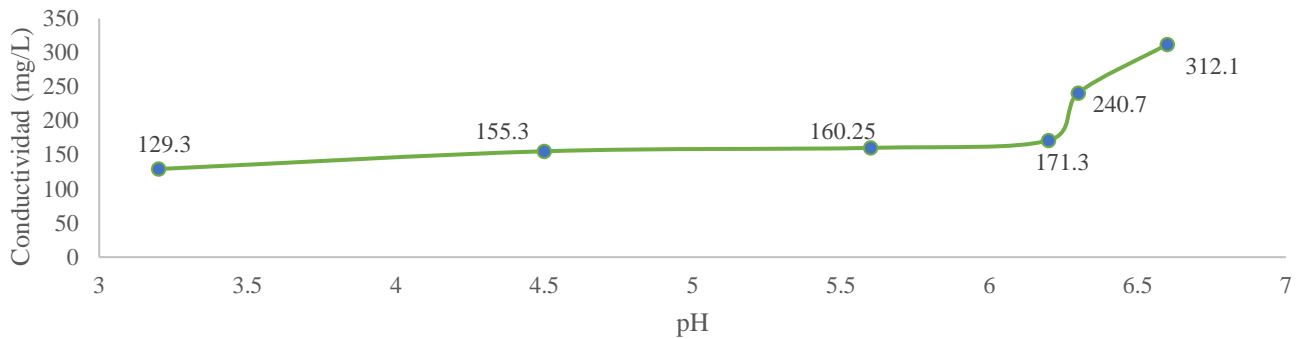
Comportamiento de la DQO



La DQO del efluente del sistema tiende a bajar respecto al tiempo en que se tomaron las muestras, llegando a reducirse hasta los 113.7mg/L de 610.6 mg/L de la muestra inicial

Figura 4

Comportamiento de la conductividad en los diferentes pH de las muestras del efluente



Eficiencia del sistema de adsorción con carbón activado para la remoción de metales pesados (Zn y Pb) presentes en el agua residual industrial

Para el Plomo

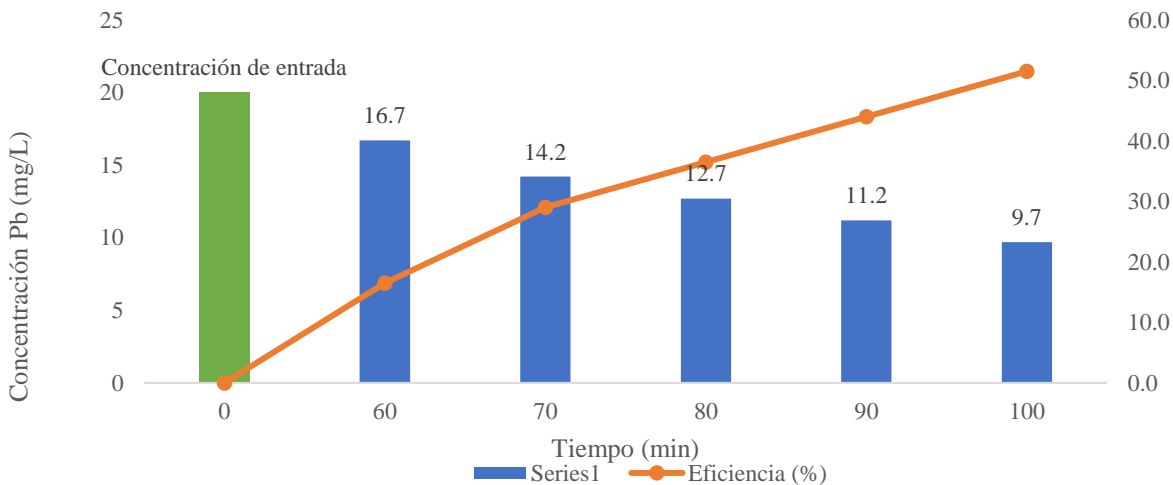
Tabla 15

Concentraciones de salida de Plomo del agua residual sintética

Muestra	Tiempo (min)	Concentración (mg/L)	Eficiencia (%)
Entrada	0	20	0.00
M1	60	16.7	0.17
M2	70	14.2	0.29
M3	80	12.7	0.36
M4	90	11.2	0.44
M5	100	9.7	0.55

Figura 5

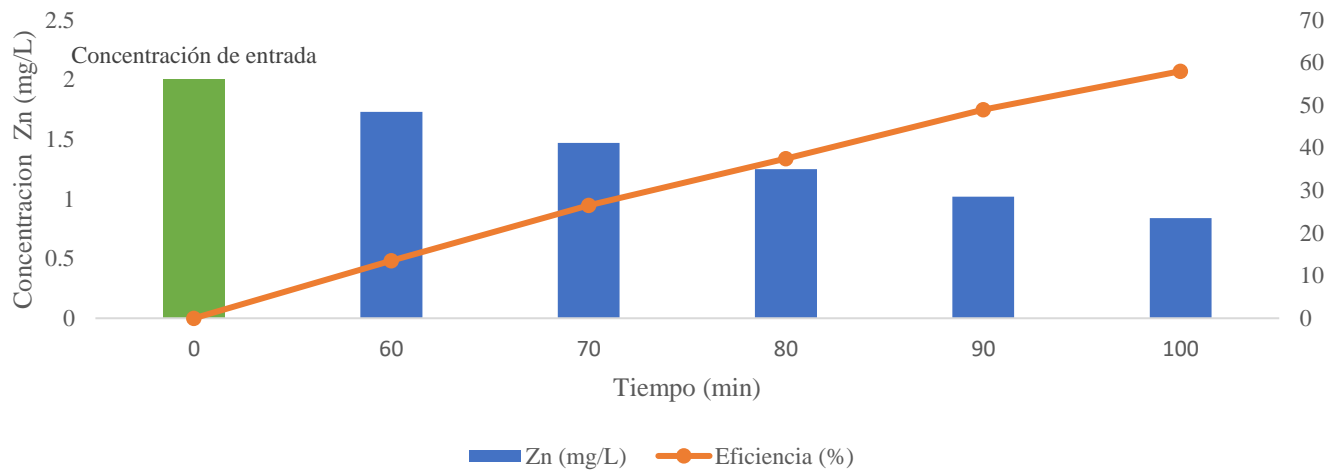
Comportamiento de la eficiencia del sistema de adsorción en la remoción de Pb



Se observa que la concentración inicial afecta tanto al porcentaje de adsorción como a la capacidad de adsorción del adsorbente. Con respecto al primero, el hecho que sean inversamente proporcionales puede explicarse considerando que la cantidad de iones Pb (II) en la disolución es menor a concentraciones bajas y los sitios de adsorción del carbón activado los remueven casi completamente. A medida que aumenta la concentración, es decir, la cantidad de iones metálicos, la disponibilidad de los sitios activos se reduce y aún después de haber alcanzado el equilibrio quedan iones en la disolución. Ahora bien, con respecto al segundo, la masa de Pb (II) adsorbido aumenta de la misma manera que lo hace la concentración inicial, si se emplea una masa de carbón activado constante en todo el estudio, esta razón que se conoce como capacidad de adsorción también aumentará, mostrando una relación directa.

Para el Zinc**Tabla 16***Concentraciones de salida de Zinc del agua residual sintética*

Muestra	Tiempo (min)	Concentración (mg/L)	Eficiencia (%)
Entrada	0	2	0
M1	60	1.73	0.14
M2	70	1.47	0.27
M3	80	1.25	0.38
M4	90	1.02	0.49
M5	100	0.84	0.58

Figura 6*Comportamiento de la eficiencia del sistema de adsorción en la remoción de Zn*

Mamani et al (2017) menciona que antes de los ensayos por agitación magnética y columna de adsorción, hay presencia de Zinc en un 3.6460 mg/L en la muestra analizada, lo que implica que después de los ensayos existe una disminución significativa por columna por adsorción donde disminuye notablemente a 3.0498 mg/L, mientras que por el ensayo de remoción llega a disminuir notablemente a 3.2480 mg/L, estos datos no concuerdan con nuestra investigación, debido a que solo solo se obtuvo un 58% de eficiencia en nuestro sistema.

CONCLUSIONES

Los parámetros de diseño son: el caudal de operación de 12 mL/s, el área transversal 86.59 cm², altura total de la columna 5.7 cm, altura del lecho de carbón 15 cm.

La concentración de ácido nítrico para la operación de retro lavado del sistema se determinó en relación con el peso del carbón activado en cada columna, por lo tanto, se necesitan 10.478 ml de HNO₃ al 68.5 % para preparar 1 litro de solución al 1% de ácido nítrico.

El color se determinó mediante observación directa la cual nos permitió saber que el afluente tenía un color blanquecino y el efluente un color transparente, lo mismo pasó con el olor que tuvo el afluente que fue un olor intenso y el efluente fue de un olor inodoro.

Se determinaron los parámetros físicos y químicos del agua residual sintética utilizado en el sistema de columnas, siendo el pH en el afluente 2.9 y en el efluente varía de 4.5 a 6.6 en un tiempo de 100 min, además el DQO en el afluente es de 610.6 mg/l y disminuye hasta 112.7 mg/l, los Sólidos Totales (ST) en el afluente es de 7876.5 mg/l y la variación después de haber pasado por el sistema es de 1150 mg/l, la conductividad en el afluente es de 150.2 us/cm y varía de 156.4 hasta 296 us/cm.

La eficiencia del sistema de columnas de adsorción con carbón activado se determinó según las concentraciones de entrada y salida del agua residual sintética: El contenido de plomo presente en el afluente es de 20 ppm después de 100 min obtuvimos una disminución a 9.7 ppm dando una eficiencia de 55 % al sistema. Y para el zinc presente en el afluente es de 2 ppm después de los 100 min fue de 0.84 ppm dando una eficiencia de 58% al sistema.

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- Cutimbo, M. (2017). Estudio exploratorio del proceso de co-combustión de carbón y mediante biomasa análisis termogravimétrico para su aprovechamiento en la generación de calor. [Tesis pregrado, Universidad Nacional de Colombia]. Repositorio UNAL. <https://repositorio.unal.edu.co/handle/unal/62195>
- Drummond Ltd. (2018). Informe de sostenibilidad de 2018. Consultado 10 enero del 2023. [En Línea]: INAP. (<https://www.drummondLtd.com/noticias/informes-de-sostenibilidad/> documento del 2018).
- Garzón, G. (2018). Evaluación del proceso de pirolisis de material lignoceluloso proveniente del eucalipto en atmosfera de dióxido de carbono [Tesis pregrado, Universidad Libre de Colombia]. Repositorio UNILIBRE. <https://repository.unilibre.edu.co/handle/10901/11026?show=full>
- Núñez, J.; Colpas, F., Tarón, A., (2015). Aprovechamiento de residuos maderosos para la obtencion de resinas de intercambio iónico. *Chemosphere*, 22(1), 54-61.
- Mamani, Wile., Inofuente, W., De la Cruz, D., Zea, N., Salas, R., Mamani, Dany., Sucapupa, R. (2017). Adsorción de Metales Pesados a través de Carbón Activado a partir de Lemna gibba L. Puno, Perú – 2015. [Trabajo de investigación, Universidad Nacional de Juliaca]. Repositorio UNAJ. <http://repositorio.unaj.edu.pe/handle/UNAJ/4>