

Características y utilización de carbón activado para la eliminación de plomo (II) en el agua superficial de Zacatecas, México.

Characteristics and use of activated carbon for the elimination of lead (II) in the surface water of Zacatecas, México.

Brenda Carrillo Pérez¹, Ada Rebeca Contreras Rodríguez^{1,2*}.

¹Unidad Académica de Agronomía, UAZ, Carretera Zacatecas-Guadalajara km. 15.5, Zacatecas, Zac, México. ²Unidad Académica de Ciencias Químicas, UAZ, Carretera Zacatecas-Guadalajara Km.6 Ejido la escondida Zacatecas, Zac, México.

Resumen

Se elaboró carbón activado a partir de rastrojo de maíz mediante activación química, el proceso consistió en impregnar la muestra con ácido fosfórico (H_3PO_4) al 5 % v/v en proporción 3:1, seguido de una carbonización a 120 °C y una activación a 450 °C bajo flujo de nitrógeno. El área superficial se obtuvo mediante la adsorción de N_2 a 77k. Los estudios de adsorción de Pb^{2+} disueltos en agua con carbón activado se llevaron a cabo en rango de concentración de 2 a 25 ppm con pH=4. La mayor capacidad de adsorción del Pb^{2+} fue de 8.6 mg/g obteniendo porcentaje de eliminación del 89.1 %.

Palabras clave: Residuos agrícolas, activación química, carbón activado, adsorción, metales pesados.

***Autor responsable:** Dr. Ada Rebeca Contreras. E-mail: a.r.contreras@outlook.com

Introducción

La contaminación ambiental se posiciona como uno de los más importantes problemas que afectan a la sociedad del siglo XXI. Actualmente uno de los recursos naturales que se encuentra fuertemente afectado por la contaminación es el agua (Franek *et al.*, 2015). Las principales causas que originan la contaminación del agua como resultado de la actividad del hombre, son las actividades antropogénicas que arrojan al ambiente metales

Abstract

Activated carbon was elaborated from corn stubble by chemical activation, the process consisted in the impregnation of the sample with 5% v/v phosphoric acid (H_3PO_4) in a 3: 1 ratio, followed by a carbonization at 120 °C and an activation at 450 °C under nitrogen flow. The surface area was obtained by adsorption of N_2 at 77k. Adsorption studies with activated carbon to remove Pb^{2+} dissolved in water were performed in a range concentration from 2 to 25 ppm with a pH=4. The highest adsorption capacity obtained for the removal of Pb^{2+} was 8.6 mg / g, obtaining a removal rate of 89.1%.

Keywords: Agricultural waste, chemical activation, activated carbon, adsorption, heavy metals.

***Corresponding author:** Dr. Ada Rebeca Contreras. E-mail: a.r.contreras@outlook.com

Introduction

Environmental pollution it is positioned as one of the most important problems that affects society of the XXI century. Currently one of the natural resources that is strongly affected by pollution is water (Franek *et al.*, 2015). The main causes that cause water pollution as a result of human activity are anthropogenic activities that throw heavy metals such as lead, cadmium, arsenic and mercury into the environment (Tirado *et al.*,

pesados como plomo, cadmio, arsénico y mercurio (Tirado *et al.*, 2015). Entre los metales de mayor interés en el tratamiento de agua está el plomo dado su abundancia y toxicidad como consecuencia de la movilidad en su medio de reacción, especiación química, persistencia y tendencia de acumulación y bioacumulación (Reyes *et al.*, 2016).

El impacto causado en salud por exposición prolongada o por bioacumulación de metales pesados es alarmante. Una de las principales exposiciones se da por la ingesta prolongada de agua contaminada por plomo que deriva una serie de afectaciones negativas a la salud (Londoño *et al.*, 2016). De forma que la Organización Mundial de la Salud (OMS) ha establecido que la máxima concentración de iones de metales pesados que debe tener el agua de consumo humano y alimentos debe estar en un rango de 0.01 a 1 ppm (WHO, 2003).

Una de las técnicas usadas en la remediación de metales pesados es la adsorción por medio de carbones activados elaborados a partir de residuos de origen agrícola. El carbón activado (CA) es un material sólido poroso que puede ser producido por activación química que permite generar grupos superficiales como la quinona, carbonilo, lactona, fenoles y carboxilo (Echecatl y Chávez, 2010; Bastidas *et al.*, 2010; Valladares *et al.*, 2006).

El cultivo de maíz en el estado de Zacatecas representa el 29% de la producción de los granos cultivados. La biomasa residual que genera este cultivo oscila entre 16 a 25 ton/ha (Monterola, 1999). Bajo este contexto, se plantea la posibilidad de que este tipo de residuo tenga el potencial para ser usado como precursor en la producción de carbón activado. Es por ello que en el presente trabajo de estudio tiene como objetivo obtener carbón activado a partir de rastrojo de maíz para eliminar Pb^{2+} disuelto en el agua.

Materiales y métodos

Análisis próximo del carbón activado. El análisis consistió en determinar los contenidos de humedad, volátiles y cenizas mediante las normas ASTM D 2016-74,

2015). Among the metals of greatest interest in water treatment is lead given its abundance and toxicity as a result of mobility in its reaction medium, chemical speciation, persistence and tendency of accumulation and bioaccumulation (Reyes *et al.*, 2016).

The impact on health caused by prolonged exposure or by bio-accumulation of heavy metals is alarming. One of the main exposures is due to the prolonged intake of lead-contaminated water that derives a series of negative health effects (Londoño *et al.*, 2016). Thus, the World Health Organization (WHO) has established that the maximum concentration of heavy metal ions that water for human consumption and food must have must be in the range of 0.01 to 1 ppm (WHO, 2003).

One of the techniques used in remediation of heavy metals is the adsorption by activated carbon made from waste agricultural sources. Activated carbon (AC) is a porous solid material that can be produced by chemical activation that allows surface groups such as quinone, carbonyl, lactone, phenols and carboxyl to be created (Echecatl y Chávez, 2010; Bastidas *et al.*, 2010; Valladares *et al.*, 2006).

The cultivation of corn in the state of Zacatecas represents 29% of the production of the crops sown. The residual biomass generated by this crop ranges from 16 to 25 tons per hectare (Monterola, 1999). In this context, the possibility that this type of waste has the potential to be used as precursor in the production of activated carbon arises. That is why in the present study work it aims to obtain activated carbon from corn stubble to eliminate Pb^{2+} dissolved in water.

Materials and methods

Proximate analysis. The analysis consisted of determining the moisture, volatile and ash contents following the guidelines ASTM D 2016-74, ASTM D 1102-84 y ASTM D 1764-84 (González, 2017).

ASTMD 1102-84 y ASTMD 1764-84 (González. 2017).

Área superficial. El área superficial del carbón activado se obtuvo por la adsorción de N_2 a 77k en el equipo ChemiSorb modelo 2720, Macrometrics®.

Obtención del carbón activado (Impregnación). La obtención del carbón se obtuvo de la metodología de síntesis propuesta en estudios previos (González. 2017). El rastrojo de maíz recolectado fue molido y tamizado hasta obtener tamaños de partícula menores a 1 mm. El rastrojo de maíz fue impregnado con una solución de H_3PO_4 al 5% v/v en una relación de impregnación de 3:1 (Solución: Precursor). La densidad del rastrojo de maíz es 0.16gr/ml de tal manera que se usaron 92 ml de la solución preparada respectivamente por cada 5 g de muestra. La impregnación se llevó a cabo en una placa de calentamiento con agitación durante 45 min y se dejaron impregnando 16 h (González, 2017).

Carbonización y activación. La muestra impregnada fue carbonizada en una mufla durante 2 h a 120°C. La activación de la muestra carbonizada fue activada dentro de un tubo de cuarzo a 450°C con flujo de N_2 a (100 ml/min) por 60 min en un horno Tube Furnace modelo 21100. El carbón activado fue lavado tres veces con agua desionizada con agitación durante 15 min con el fin de eliminar los restos del ácido y alcanzar un pH 4. El carbón fue secado en una estufa a una temperatura de 95 °C durante 24 h, una vez eliminada la humedad el carbón fue pulverizado en un molino de bolas durante 10 min a 30 rpm (González, 2017).

Estudios de adsorción. Para realizar los estudios de adsorción se preparó una solución madre de 100 ppm de nitrato de plomo (II) ($Pb(NO_3)_2$), ajustada a un pH=4. Los estudios de adsorción se llevaron a cabo manteniendo la concentración del adsorbente fija, 0.05g, y variando la concentración de plomo, de 2 a 25 ppm, en un volumen final de 20 ml. Las muestras se agitaron a 120 rpm durante 24 h a una

Surface area. The surface area of activated carbon was obtained by adsorption of N_2 at 77k in ChemiSorb model 2720, Macrometrics®.

Obtaining activated carbon (Impregnation). The methodology used to obtain the activated carbon is described elsewhere (González. 2017). The corn stubble collected was ground and sieved until particle sizes smaller than 1 mm. The corn stubble was impregnated with a 5% v/v solution of H_3PO_4 with an impregnation ratio of 3: 1 (Solution: Precursor). The density of the corn stubble was 0.16g/mL so that 92 mL of the solution prepared respectively was used per 5 g of sample. The impregnation was carried out on a heating plate with stirring for 45 minutes and left impregnating 16 hours (González, 2017).

Carbonization and activation. The impregnated sample was charred in a flask for 2 hours at 120 ° C. Activation of the charred sample was activated within a quartz tube at 450 ° C with flow of N_2 at (100 mL / min) for 60 minutes in a tube oven model 21100.

The activated carbon was washed 3 times with deionized water with stirring for 15 minutes in order to remove the remains of the acid and reach a pH4. The carbon was dried at a temperature of 95 ° C for 24 hours, once the moisture was removed the coal was pulverized in a ball mill for 10 minutes at 30 rpm (González, 2017).

Adsorption studies. To perform the adsorption studies, a 100 ppm stock solution of lead nitrate ($Pb(NO_3)_2$, Karal) was prepared at a pH 4. Adsorption studies were carried out maintaining the concentration of the fixed adsorbent, 0.05 g, and varying the concentration of lead, from 2 to 25 ppm, in a final volume of 20 mL. The samples were stirred at 120 rpm for 24 hours at room temperature.

temperatura ambiente.

La capacidad de adsorción se calculó utilizando la siguiente ecuación:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

Donde Q_e es la capacidad de adsorción, C_o es la concentración inicial del metal en la solución, C_e es la concentración del metal en equilibrio de la solución y m es la masa del adsorbente.

Voltamperometría de redisolución anódica. La voltamperometría de redisolución anódica es un método electroanalítico altamente sensible empleado para la determinación de metales pesados en el que la información sobre el analito se deduce a partir de las medidas de intensidad de corriente en función de un potencial aplicado (Valdiezo *et al.*, 2017). Los experimentos realizados para obtener la curva de calibración, así como las mediciones de las concentraciones obtenidas después del proceso de adsorción se llevaron a cabo en una celda electroquímica con un electrodo de trabajo de disco de carbón vítreo de 3mm, un electrodo de referencia de calomel saturado y un electrodo de platino como contra electrodo usando un Potenciostato / Galvanostato modelo 283 y un sistema de rotación por electrodo (González *et al.*, 2008).

Se pulió el electrodo de trabajo con alúmina de 0.3 mm en un plato rotatorio Micro Star modelo 200 hasta obtener un pulido espejo, después se colocaron en un baño de ultrasonido Branson 1510 por 15 min con alcohol Isopropílico.

Para el cálculo de la concentración de las muestras problema se prepararon 5 ml de agua desionizada y 5 ml de solución amalgamadora la cual contaba con 100 ppm de Hg (NO₃)₂ (J.T. Baker), KNO₃ (Sigma) a 0.2 M y aforada con HNO₃ al 10% v/v.

La voltamperometría lineal se realizó de -1.200 V a -200.0 EV a una velocidad de barrido de 10 mV/s a un incremento de 5m/V con una escala de 100 μA. La respuesta obtenida se representa en un voltamperograma en donde la

Adsorption capacity was calculated using the following equation:

$$Q_e = \frac{(C_o - C_e)V}{m} \dots\dots\dots \text{Ec. 1}$$

Where Q_e is the adsorption capacity, C_o is the initial concentration of metal in the solution, C_e is the metal concentration in equilibrium of the solution and m is the mass of the adsorbent.

Anodic redissolution voltammetry. Anodic redissolution voltammetry is a highly sensitive electroanalytical method used for the determination of heavy metals in which information on the analyte is deduced from current intensity measurements based on an applied potential (Valdiezo *et al.*, 2017). The experiments performed to obtain the calibration curve, as well as the measurements of the samples after the adsorption process, were carried out in an electrochemical cell with a 3mm vitreous carbon disk working electrode, a calomel reference electrode saturated and a platinum electrode as a counter electrode using a Potentiostat/Galvanostat model 283 and an electrode rotation system (González *et al.*, 2008).

The working electrode was polished with 0.3 mm alumina on a Micro star 200 Mod rotary plate until a mirror polish was obtained, then it was sonic in a Branson 1510 ultrasound bath for 15 minutes with isopropyl alcohol.

For the quantification of the samples of Pb²⁺ in equilibrium, 5 mL of deionized water and 5 mL of amalgamation solution were prepared, which had 100 ppm of Hg (NO₃)₂ (J.T. Baker), KNO₃ (Sigma) at 0.2 M and titrated with 10% v/v HNO₃.

Linear voltammetry was performed from -1,200 V to -200.0 EV at a scanning speed of 10 mV/s at an increase of 5m/V with a scale of 100 μA. The response obtained is represented in a voltamperogram where the current intensity is proportional to the analyte concentration.

intensidad de corriente es proporcional a la concentración de analito.

Curva de calibración para Pb(II). Se construyó una curva de calibración con un estándar de plomo (Pb) de 1000 mg/l, a diluciones seriadas se produjeron las adiciones estándar de las siguientes concentraciones, 5, 10, 15, 20 y 25 ppm y la medición de cinco blancos.

Resultados y discusión

Análisis próximo. En la figura 1 se reportan los resultados obtenidos del análisis próximo del rastrojo de maíz, se puede apreciar que de acuerdo a los porcentajes de humedad, volátiles y cenizas se obtiene un porcentaje de 22.08% de carbón fijo.

Se puede decir que la cantidad de carbón activado está en función al porcentaje de carbón fijo, es decir, a mayor porcentaje de carbón fijo en la muestra mayor será el rendimiento del carbón activado obtenido.

Pb(II) calibration curve. A calibration curve was constructed with a lead standard (Pb, Fluka) of 1000 mg / L, at serial dilutions the standard additions of the following concentrations, 5, 10, 15, 20 and 25 ppm and the measurement of five targets were produced.

Results y discussion

Proximate analysis of activated carbon. In Fig. 1 the results obtained from the proximate analysis of the corn stubble are reported, according to the percentages of moisture, volatile and ash a percentage of 22.08% of fixed coal is obtained.

It can be said that the amount of activated carbon is a function of the percentage of fixed carbon, that is, the higher the percentage of fixed carbon in the sample, the higher the yield of the activated carbon obtained.

Surface area. The surface area of activated carbon constitutes the sum of the surface area of all the particles that form a gram

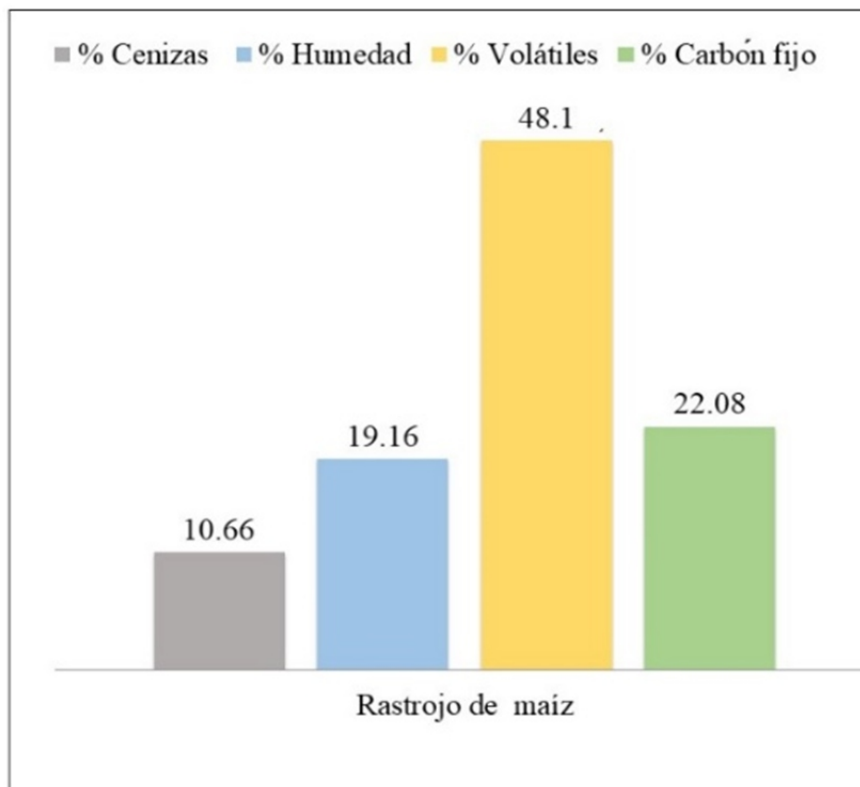


Figura 1. Análisis próximo de carbón activado

Figure 1. Proximate analysis of activated carbon

Área superficial. El área superficial del carbón activado constituye la suma del área de la superficie de todas las partículas que forman un gramo de material. En la Tabla 1, se presenta el área superficial obtenida del carbón activado de rastrojo de maíz en comparación con bagazo de caña que reporta la literatura (Colpas, 2017).

of material. Table 1 shows the surface area obtained from activated charcoal from corn stubble compared to cane bagasse reported by the literature (Colpas, 2017).

A surface area of 500.0 m²/g of activated corn stubble carbon was obtained. It can be seen

Tabla1. Área superficial BET
Table 1. BET surface area

Muestra	Área BET (m ² /g)	Agente químico	Temperatura (Activación)	Tiempo (Activación)
Rastrojo de maíz	500.0	Ácido fosfórico 5% v/v	450° C	1 h
Bagazo de caña	368.7	Ácido fosfórico 21% P/v	450°C	2 h

Se cuantificó un área superficial de 500.0 m²/g en carbón activado de rastrojo de maíz. Se puede apreciar que el carbón activado obtenido de rastrojo de maíz presenta mayor área superficial con respecto al bagazo de caña posiblemente ocasionado por la naturaleza orgánica del precursor.

that activated corn stubble charcoal has a greater surface area than the cane bagasse possibly caused by the organic nature of the precursor.

El rastrojo de maíz se encuentra compuesto por lignina, celulosa y hemicelulosa (Monterola, 1999). La carbonización a 120°C del material permitió la despolimerización de los componentes a excepción de la lignina debido a que se descompone a temperaturas mayores; sin embargo, la impregnación con el ácido fosfórico facilita la hidrólisis de la lignina que queda presente después del proceso de carbonizado, lo que conduce al aumento del área superficial y la porosidad del material (Colpas, 2017; Acevedo, 2015).

The corn stubble is composed of lignin, cellulose and hemicellulose (Monterola, 1999). The carbonization at 120°C of the material allowed the depolymerization of the components with the exception of lignin because it decomposes at higher temperatures; however, impregnation with phosphoric acid facilitates the hydrolysis of lignin that is present after the carbonization process, which leads to increased surface area and porosity of the material (Colpas, 2017; Acevedo, 2015).

Curva de calibración para Pb(II). La curva de calibración se muestra en la figura 2, a partir de la cual podemos ver que el ajuste lineal (Ec. 2) es de 0.998 por lo que se considera un buen resultado con respecto a la relación del método de adición estándar y los blancos efectuados.

Pb(II) calibration curve. The calibration curve of lead dissolved in deionized water is shown in Fig. 2, as from we can observe that the linear adjustment (Ec. 2) is 0.998, which is considered a good adjustment with respect to the method of standard addition as well as the blanks.

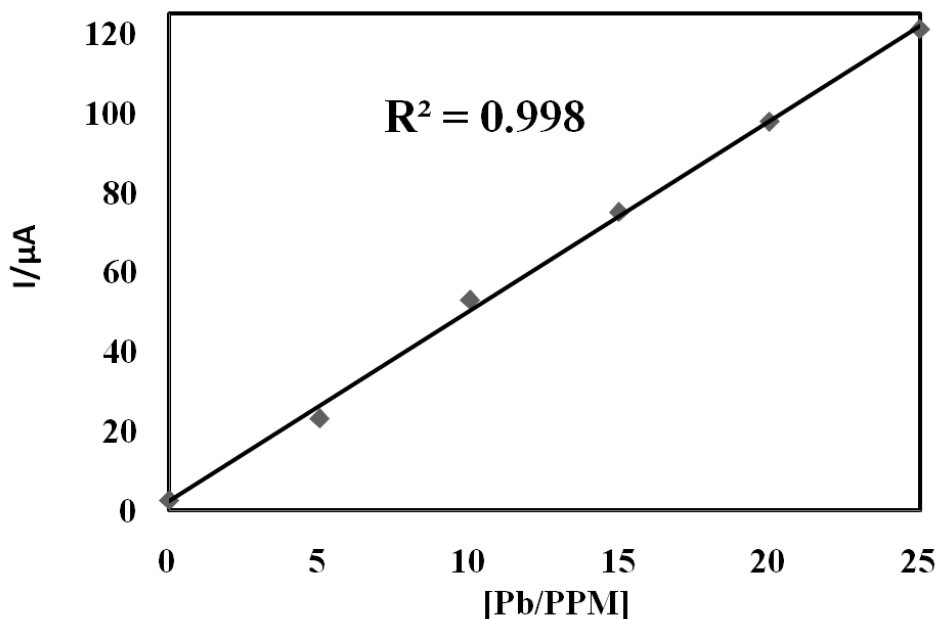


Figura 2. Curva de calibración para Pb(II) con concentraciones de 5,10,15,20 y 25 ppm.
Figure 2. Calibration curve for Pb (II) with concentrations of 5,10,15,20 and 25 ppm.

$$Y = 4.7909x + 2.22682 \dots \text{Ec. 2.}$$

$$Y = 4.7909x + 2.22682 \dots \text{Ec. 2}$$

$$[\text{Pb(II)}]_m = \left(\frac{\text{ADSPb} - 2022682}{4.7909} \right) \dots \text{Ec. 3}$$

$$[\text{Pb(II)}]_m = \left(\frac{\text{ADSPb} - 2022682}{4.7909} \right) \dots \text{Ec. 3}$$

Dónde:

$[\text{Pb(II)}]_m$: Concentración de plomo de la muestra.

ADS_{pb} : Intensidad medida en la muestra de plomo por la técnica.

Where:

$[\text{Pb(II)}]_m$: Lead concentration in the sample.

ADS_{pb} : Intensity measured in lead sample by technique.

Voltamperogramas. En la figura 3 se observan los voltamperogramas de barrido lineal realizados de las concentraciones resultantes de los estudios de adsorción de plomo. Los voltamperogramas muestran un pico correspondiente a la señal de Pb (II) a un potencial aproximado de 480 V con respecto al electrodo de referencia que corresponde a los iones de plomo detectables en cada muestra.

Voltamperograms. Figure 3 shows the linear scanning voltamperograms made of the concentrations resulting from the lead adsorption studies. The voltamperograms show a peak corresponding to the Pb (II) signal at an approximate potential of -480 V with respect to the reference electrode corresponding to the detectable lead ions in each sample.

Las diferencias en las intensidades que se muestran en los picos asignados al plomo en los voltamperogramas son debido a que el carbón activado tiene una estructura ligeramente irregular, lo que provoca la diferencia de los

The differences in the intensities shown in the peaks assigned to lead in voltamperograms are due to the fact that activated carbon has a slightly irregular structure, which causes the difference in ions of the adsorbed metal. Low signal intensities are

iones del metal adsorbido. Se observan intensidades de señal bajas en concentraciones de 2 y 5 ppm, mientras que en concentraciones de 20 y 25 ppm se observan intensidades de señal más altas.

Mediante la ecuación de la curva de calibración obtenida y la intensidad de los picos de plomo detectable en cada muestra resultante se pudo calcular la concentración adsorbida por el carbón activado con respecto a la concentración inicial de cada muestra.

observed at concentrations of 2 and 5 ppm, while at concentrations of 20 and 25 ppm higher signal intensities are observed.

By means of the equation of the calibration curve obtained and the intensity of the detectable lead peaks in each resulting sample, the concentration adsorbed by activated carbon with respect to the initial concentration of each sample could be calculated

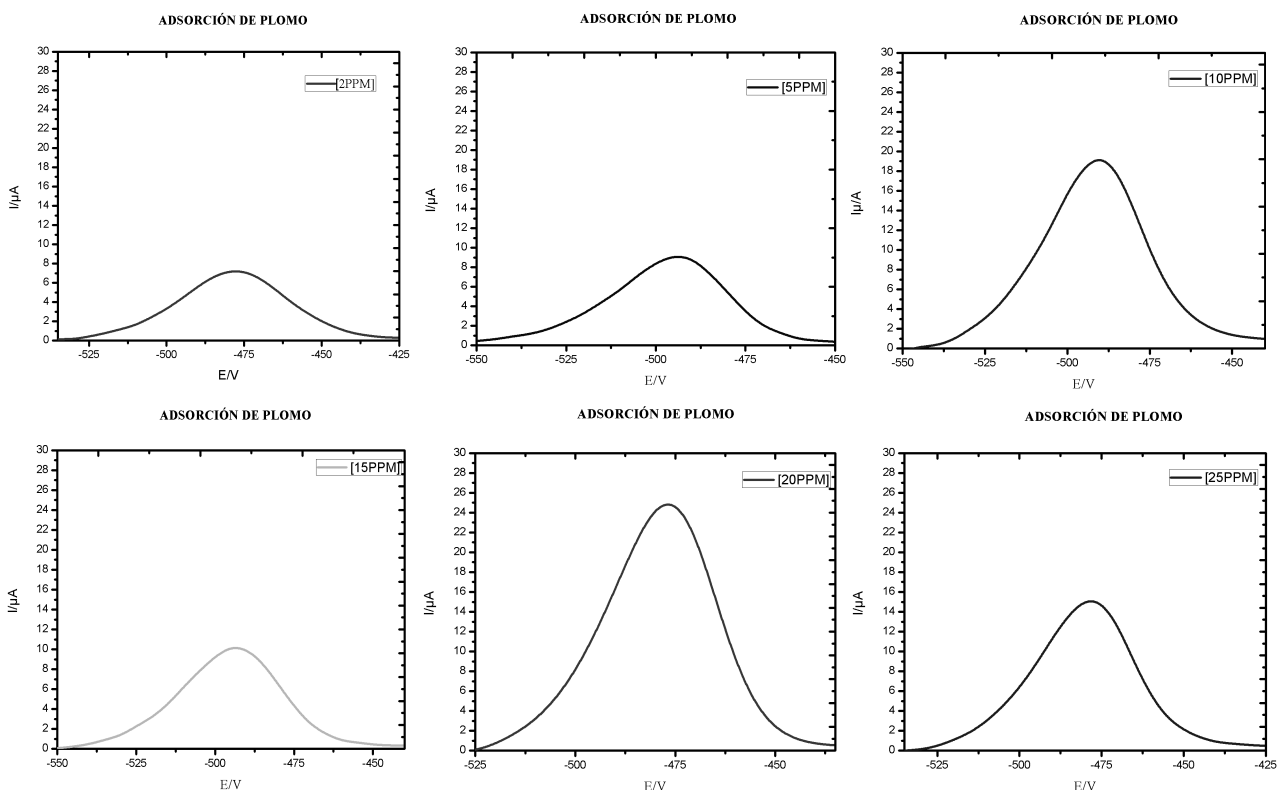


Figura 3. Intensity of lead obtained at an approximate potential of -480 V

Figure 3. Intensidad de plomo obtenido a un potencial aproximado a -480 V

Capacidad de adsorción de Pb (II). De los resultados presentados en la Tabla 2, se obtiene una mayor capacidad de adsorción de 8.9 mg/g en una concentración de 25 ppm, obteniendo 89.1 % de eliminación de plomo con respecto a la concentración inicial y concentración del metal en equilibrio de la solución de la muestra. Se estima que los altos valores obtenidos en los experimentos de adsorción son debido a la acidez superficial del

Pb (II) adsorption capacity. From the results presented in Table 2, a higher adsorption capacity of 8.9 mg/g is obtained at a concentration of 25 ppm obtaining 89.1% lead removal with respect to the initial concentration and the equilibrium concentration of the sample. It is estimated that the high values obtained in the adsorption experiments are due to the surface acidity of the carbon, the porosity of the adsorbate and the pH of the solution.

carbón, la porosidad del adsorbato y al pH de la solución.

El pH inicial de la solución se ajustó a 4, pasado el experimento de adsorción se midió el pH final, el cual fue de 3.5, lo que quiere decir que, se produjo la liberación de iones H^+ lo que favoreció la atracción electrostática de las especies del metal existente y por consiguiente el aumento del valor de la adsorción (Lavado *et al.*, 2010).

Para hacer una comparación entre las capacidades de adsorción de diferentes carbones activados debemos tener en cuenta diferentes variables como: la metodología de síntesis, condiciones de reacción, el precursor utilizado, etc., que contribuyen a tener diferentes morfologías, impurezas, tamaño, entre otros. Asimismo, la metodología utilizada en los experimentos de adsorción es variable.

The initial pH of the solution was adjusted to 4, after the adsorption experiment the final pH was measured, which was 3.5, which means that the release of H^+ ions occurred, which favored the electrostatic attraction of the species of the existing metal and consequently the increase in adsorption value (Lavado *et al.*, 2010).

To make a comparison between the adsorption capacities of different activated carbons we must consider different variables such as: the synthesis methodology, reaction conditions, the precursor used, etc., which contribute to having different morphologies, impurities, size, among others. Also, the methodology used in adsorption experiments is variable.

Tabla2. Capacidad de adsorción del carbón activado
Table 2. Activated carbon adsorption capacities

Peso Muestra (g)	C_0 (ppm)	C_e (ppm)	Q_e (mg/g)	Eliminación (%)
0.05g	2	1.065	0.373	46.75
0.05g	5	1.457	1.417	70.86
0.05g	10	3.516	2.593	64.84
0.05g	15	1.676	5.329	88.82
0.05g	20	4.798	6.080	76.01
0.05g	25	2.707	8.917	89.17

Sin embargo, se podría hacer una comparación aproximada con carbones sintetizados a partir de otros residuos por ejemplo, se utilizó la semilla de aguaje (Sokuet *al.*, 2014) para la eliminación de plomo con una capacidad de adsorción de plomo de 74,8 mg/g, cuya capacidad de adsorción se atribuye a las condiciones de impregnación, o carbón activado a partir del epicarpio de *Attalea macrolepis* (Ramos *et al.*, 2017) que obtuvo una capacidad máxima de adsorción de Pb(II) de 0.500 mg/g, puede ser aplicado con éxito de manera selectiva en la remoción de iones de plomo en aguas que

However, an approximate comparison could be made with coals synthesized from other residues, for example, the aguaje seed was used (Sokuet *al.*, 2014) for the removal of lead with a adsorption capacity of 74.8 mg/g, whose adsorption capacity is attributed to the impregnation conditions, or activated carbon from the epicarp of *Attaleamacrolepis* (Ramos *et al.*, 2017) that obtained a maximum adsorption capacity of Pb (II) of 0.500 mg / g, can be successfully applied Selective manner in the removal of lead ions in waters containing

contengan concentraciones de este elemento menores a 2 mg/L.

Bajo esta perspectiva estos materiales, en este caso el rastrojo de maíz, se consideran como precursores por ser residuos que se obtienen en grandes cantidades, los cuales su acumulación y disposición constituye un gran problema ambiental, y que su reúso como materiales para la adsorción de iones metálicos podría ayudar a minorar su impacto ambiental (Tovar *et al.*, 2014).

Conclusiones

Se obtuvo carbón activado a partir de rastrojo de maíz por medio de un proceso de carbonización a 120 °C, seguido de una activación con ácido fosfórico. Se utilizó como adsorbente para la eliminación de Pb^{2+} disuelto en agua. Los resultados demuestran que el carbón activado tiene una mayor capacidad de adsorción de Pb^{2+} en concentraciones altas debido al área superficial que presenta.

Una posible vía de utilización del carbón activado a partir de rastrojo de maíz en el tratamiento de agua contaminada por Pb^{2+} en concentraciones altas tendría la calidad para uso de riego agrícola debido a que el límite máximo permisible de plomo estipulado por la NOM-001-ECOL-1996 es de 5 mg/L (DOF, 2016).

Agradecimientos

Los autores de este trabajo agradecemos el apoyo financiero por PRODEP (UAZ-PTC-2019) y a la Universidad Autónoma de Zacatecas - Unidad Académica de Ciencias Químicas por haber permitido utilizar sus instalaciones para el desarrollo experimental de este trabajo.

Referencias

Acevedo, S. Giraldo, L. Moreno, J. 2015 Influencia de la temperatura de activación en las características superficiales de carbones activados granulares preparados por impregnación con $MgCl_2$ Y $CaCl_2$. Afinidad: Revista de química teórica y aplicada, ISSN

concentrations of this element less than 2 mg / L.

Under this perspective, these materials, in this case the corn stubble, are considered as precursors because they are a waste obtained in large quantities, which accumulation and disposal constitutes a great environmental problem, and that their reuse as adsorption materials of metal ions could help reduce its environmental impact (Tovar *et al.*, 2014).

Conclusions

Activated carbon was obtained from corn stubble through a carbonization process at 120 ° C, followed by an activation with phosphoric acid. It was used as an adsorbent for the elimination of Pb^{2+} dissolved in water. The results show that activated carbon has a higher adsorption capacity of Pb^{2+} in high concentrations due to its surface area.

A possible route of use of activated carbon from corn stubble in the treatment of water contaminated by Pb^{2+} in high concentrations would have the quality for agricultural irrigation use because the maximum allowable limit of lead stipulated by NOM-001-ECOL-1996 is 5 mg/L (DOF, 2016).

Acknowledgments

The authors of this work are grateful for the financial support by PROMEP (UAZ-PTC-2019) and the Autonomous University of Zacatecas - Academic Unit of Chemical Sciences for having allowed their facilities to be used for the experimental development of this work.

References

0001-9704, Vol. 72, N°. 571, 2015, pp.182-187
Bastidas, M. Buelvas, L.M. Márquez, M.I. Rodríguez, K. 2010. Producción de carbón activado a partir de precursores carbonosos del departamento del cesar, Colombia. Información Tecnológica Vol 21(3)87-96

- Colpas, F. Tarón, A. González, R. 2017. Área superficial de carbones activados y modificados obtenidos del recurso agrícola *Saccharum officinarum*. *Rev. Cienc. Agr.* 3 42: 62-72.
- Diario Oficial de la Federación, NOM-001-SEMARNAT 2017. . Que establece los límites máximos permisibles de contaminantes en las descargas de aguas residuales en aguas y bienes nacionales. http://www.dof.gob.mx/nota_detalle.php?codigo=5510140&fecha=05/01/2018
- Echecatl, A y Chávez, L. 2010. Producción y caracterización de carbón activado usando vaina de frijol: extracción de Cd²⁺ en solución acuosa. *Ingenierías* 13 48: 8-15. ISSN 1405-0676
- Franek, A. Koncagul, E. Connor, R. Diwata, H. 2015. Informe de las Naciones Unidas sobre los recursos hídricos en el mundo: agua para un mundo sostenible: datos y cifras. 12 pp
- González, B.D. 2017. Desarrollo de carbón activado a partir de desechos agroindustriales con aplicación en adsorción de arsénico. Tesis de pre-grado para obtener el título de Ingeniería en Biotecnología. Universidad de Chile.
- González, V.E., González, R. E, Bedolla C. C, Arrollo, O.E. L., Manzanares, A.E. 2008. Niveles de plomo en sangre y factores de riesgo por envenenamiento de plomo en niños mexicanos. *Revista Facultad de Ingeniería Universidad de Antioquia.* 43, pp. 114-119.
- Jiménez Ramos, I., Rondón, W., Rojas de Astudillo, L., Rojas de Gáscue, B., Prin, J.L., Freire, D., Díaz, Y., Pino, K., & González, O. 2017. Síntesis de carbón activado a partir de epicarpio de *Attalea macrolepis* y su aplicación en la remoción de Pb²⁺ en soluciones acuosas. *Revista internacional de contaminación ambiental*, 33(2), 3033-16. <https://dx.doi.org/10.20937/rica.2017.33.02.11>
- Lavado, C.M. Sun, H.K. Bendezu, S. 2010. Adsorption of lead from industrial Wastewater using activated carbon with H₃PO₄. *Rev. Soc. Quimic*, 76 2: 165-178.
- Londoño, L.F. Londoño, P.T. Muñoz, F.G. 2016. Los riegos de los metales pesados en la salud humana y animal. *Biotechnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial*, 14 2: 145-153.
- Monterola, B.H., Cerda, A.D., Mira, J.J. 1999. Los residuos agrícolas y su uso en la alimentación de los rumiantes. Santiago, Chile : Fundación para la Innovación Agraria, Ministerio de Agricultura 221 pp
- Reyes, Y. C.; Vergara, I.; Torres, O. E.; Díaz, M.; González, E. E. 2016. Contaminación por Metales Pesados: Implicaciones en la Salud, Ambiente y Seguridad Alimentaria. *Revista Ingeniería, Investigación y Desarrollo.* 16: 2. pp. 66-77.
- Sun-Kou, M.R., Obregón-Valencia, D., Pinedo-Flores, Á., Paredes-Doig, A.L., & Aylas-Orejón, J. 2014. Adsorción de metales pesados empleando carbones activados preparados a partir de semillas de aguaje. *Revista de la Sociedad Química del Perú*, 80(4), 225-236.
- Tejada Tovar, C., Villabona Ortiz, A., & Ruiz Paternina, E. 2014. Remoción de Pb (II), Ni (II) y Cr (VI) en soluciones acuosas usando matrices modificadas químicamente. *Prospectiva*, 12(2), 7-17.
- Tirado L.R., González F.D., Martínez L.J., Wilches L.A., Celedón, J.N. 2015. Niveles de metales pesados en muestras biológicas y su importancia en salud. *Rev Nac Odontol*, 11(21): pp. 83-99.
- Valdiezo, J. Muñoz, G. Garchi, T. Fernández, L. 2017. Validación de un método electroanalítico para determinación *in situ* de cadmio y plomo en agua potable. *Revista Cumbres.* 3 (1): pp 47-53.
- Valladares, M.C. Valerio, C.C. De la cruz, P.B. 2006. Adsorbentes no convencionales, alternativas sustentables para el tratamiento de aguas. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín.* 16(31): pp 55-77.
- WHO (World Health Organization). (2003). Chromium in drinking-water. Background document for development of WHO Guidelines for Drinking-water Quality. Geneva Switzerland. 8 pp