



## **Remoción de molibdeno con carbón activado de tusa de maíz (Zea Mays) en aguas del río Challhuahuacho – Cotabambas**

**Gustavo Janqui Guzmán**

[gjanqui@unamba.edu.pe](mailto:gjanqui@unamba.edu.pe)

Facultad de Ingeniería - Escuela Académica de Ingeniería Civil.  
Universidad Nacional Micaela Bastidas de Apurímac.

**Leónidas G. Janqui Esquivel**

[Leonidas.janqui@unsaac.edu.pe](mailto:Leonidas.janqui@unsaac.edu.pe)

Facultad de Ciencias - Escuela Académica de Física.  
Universidad Nacional de San Antonio Abad del Cusco.

### **RESUMEN**

Se determinó la capacidad de remoción de molibdeno con carbón activado de tusa de maíz (Zea Mays) de aguas del río Challhuahuacho Cotabambas - Apurímac. El carbón se obtuvo por activación física-térmica (pirólisis), en dos etapas: carbonización y gasificación del producto a temperatura de 900°C; su estructura química se determinó por análisis de rayos infrarrojos. Se tomaron muestras del agua, del mes de setiembre 2015 hasta diciembre del 2017; con el diagrama de Pourbaix Molibdeno-Agua se determinó que la solubilidad y especiación de los compuestos de molibdeno dependen de la temperatura y composición de la solución; los cambios de pH de la solución se lograron utilizando reactivos H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> e NaOH. Las soluciones obtenidas fueron sometidos a 5 tratamientos variando los pesos de carbón activado y los pH, obteniendo una máxima remoción (90.5%) a un pH 9 con 0.8 g de carbón; la capacidad de adsorción (2.22 mg Mo/g) con 0.05 g de carbón a pH 9. La isoterma de Langmuir muestra coeficientes de 32.36 mg/g; por método gravimétrico se determinó porosidad de 60.21%, el área superficial de 174.55 m<sup>2</sup>/g con el ChemiSorb 2720. Se concluye que el carbón activado de tusa de maíz ofrece excelentes condiciones para el tratamiento de aguas contaminadas con molibdeno.

**Palabras clave:** Adsorción; carbón activado; molibdeno; remoción; tusa de maíz.

## **Removal of molybdenum with activated carbon from corncob (Zea Mays) in waters of the Challhuahuacho River - Cotabambas.**

### **ABSTRACT**

The molybdenum removal capacity with activated carbon from corn gopher (Zea Mays) from waters of the Challhuahuacho Cotabambas-Apurímac river was determined. The coal was obtained by physical-thermal activation (pyrolysis), in two stages: carbonization and gasification of the product at a temperature of 900 ° C; its chemical structure was determined by infrared ray analysis. Water samples were taken from September 2015 to December 2017; With the Pourbaix Molybdenum-Water diagram it was determined that the solubility and speciation of the molybdenum compounds depend on the temperature and composition of the solution; the pH changes of the solution were achieved using reagents H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> and NaOH. The solutions obtained were subjected to 5 treatments varying the weights of activated carbon and the pH, obtaining a maximum removal (90.5%) at pH 9 with 0.8 g of carbon; the adsorption capacity (2.22 mg Mo/g) with 0.05 g of carbon at pH 9. The Langmuir isotherm shows coefficients of 32.36 mg/g; By gravimetric method, porosity of 60.21% was determined, the surface area of 174.55 m<sup>2</sup>/g with ChemiSorb 2720. It is concluded that activated carbon from corncob offers excellent conditions for the treatment of waters contaminated with molybdenum.

**Keywords:** Adsorption; activated carbon; molybdenum; removal; corncob.

Artículo recibido: 05 ene. 2021

Aceptado para publicación: 06 feb. 2021

Correspondencia: [gjanqui@unamba.edu.pe](mailto:gjanqui@unamba.edu.pe)

Conflictos de Interés: Ninguna que declarar

## **1. INTRODUCCION**

El futuro de la tierra es un asunto preocupante para el género humano debido a la necesidad de alimentos, agua y oxígeno. Es evidente que el suelo, el agua y el aire se van deteriorando en forma progresiva debido a la contaminación; la concentración de metales pesados en el medio ambiente está en constante incremento cada día debido al desarrollo industrial tecnológico, provocando grandes daños por su acumulación en el aire, agua y suelo (Jafari, 2010). La contaminación ambiental con metales pesados es actualmente de gran importancia, tanto en el campo de la ingeniería ambiental como en el ámbito de salud pública, debido al conocimiento creciente de los efectos potencialmente severos ocasionados por la exposición crónica a estos materiales. (Chantawong, Harvey, & Bashkin, 2003)

La contaminación del agua se presenta por sustancias químicas como compuestos orgánicos e inorgánicos (Busetti, et al., 2005); metales pesados o metaloides, cuya peligrosidad es mayor ya que no son biodegradables, y que una vez emitidos pueden permanecer en el ambiente por cientos de años; del mismo modo se ha demostrado científicamente que la exposición a estos elementos contaminantes en determinadas circunstancias es causa de muerte en vegetación y fauna. (Chen, Luo, Hills, Xue, & Tyrer, 2009).

Los daños que se pueden ocasionar por una exposición crónica al molibdeno son severos y en ocasiones ausente de síntomas, lo que ha ocasionado que las autoridades ambientales y de salud de todo el mundo pretendan minimizar la exposición de la población a estos elementos tóxicos; las principales fuentes de contaminación del agua con metales pesados comprenden a las industrias del sector minero, recubrimientos metálicos y fundidoras, entre otras. El molibdeno es un metal pesado cuyos efectos sobre el funcionamiento de los ecosistemas varían considerablemente y son de importancia económica y de salud pública. (Elangovan, Philip, & Chandraraj, 2008)

En la región de Apurímac la contaminación ambiental es evidente. Específicamente el río Challhuahuacho (Cotabambas) que se ha convertido en receptor de efluentes mineros del megaproyecto “Las Bambas”, drenajes ácidos provenientes de las minas como pasivos ambientales, aguas servidas y residuos sólidos generados por los pobladores del ámbito de estudio. La remoción a través del proceso de adsorción se convierte en una opción para la remediación de aguas contaminadas por metales pesados, debido a su sencillez, bajo costo, fácil aplicación, y sobre todo por ser capaz de eliminar sustancias de baja concentración (Ming, et al., 2011). Los residuos agrícolas se han utilizado como materias primas para la elaboración de

carbón activado, con dos ventajas: primero: el material de desecho se convierte en adsorbentes útiles de valor agregado, segundo: el carbón activado obtenido a partir de residuos agrícolas es útil para la remoción de productos químicos orgánicos y metales del agua residual (Adegoke & Bello, 2015). La adsorción por carbón activado de residuos agrícolas se ha convertido en un método económico y realístico para la remoción de diferentes contaminantes tales como los metales pesados, abreviándose con ello los problemas de costos que implica la eliminación de las ingentes cantidades de residuos agrícolas (Argun, Sukru, Ozdemir, & Karatas, 2007); (Monu, et al., 2008).

La aceleración profunda del deterioro del entorno vivo de nuestro planeta y la inminente catástrofe a producirse que afectan a los seres vivos e inertes, motivó a realizar el presente trabajo de investigación y las conclusiones arribadas, permitirán resolver los problemas sociales actuales, económicos, ambientales, tecnológicos y científicos, para beneficio de los comuneros, sociedad apurimeña, regional y nacional; y lograr desarrollo en la provincia de Cotabambas- Apurímac con cambio de conciencia y conocimiento del problema latente existente.

En el trabajo se utilizó el método experimental y estadístico, porque se realizaron muchas pruebas para corroborar los resultados. Con la solución estándar para adsorbancia del molibdeno preparada de las aguas del río Challhuahuacho, se procedió con los experimentos para determinar el % de remoción del molibdeno variando los pesos del carbón activado y el pH, lográndose en medio básico, y la máxima capacidad de adsorción con azul de metileno y con los valores obtenidos en 5 disoluciones se elaboró la Isoterma de Langmuir y se obtuvo 32.36 mg/g. Se concluye que la tusa de maíz es un precursor adecuado para la preparación de carbón activado, ya que posee un alto contenido de materia volátil de 76.5%, y un contenido de carbono de alrededor 8.5% el cual aumenta con los procesos de carbonización y activación; con contenido bajo de cenizas de 3.5%. Estos resultados aseguran una descomposición y reorganización del material una vez se someta a tratamientos térmicos para obtener carbones activados.

## **2. MATERIALES Y METODOS**

### **Obtención del carbón activado.**

Se preparó carbón activado con 15 g de marlo triturado y secado a temperatura ambiente, se llevó a la mufla a 500°C para su combustión; luego se agregó 300 mL de agua destilada para ebullición y decantar para eliminar el color de los lavados y luego activarlo por 8 horas. Se procedió a la gasificación en horno mufla refractaria a 900°C y enfriado posterior. Se realizó análisis

granulométrico a mallas Tyler 50, 60,70 y 100 quedando apto para los experimentos de remoción y adsorción del molibdeno.

#### **Análisis estructural de carbón activado y no activado por espectroscopia de FTIR.**

Los espectros se realizaron en el carbón activado sólido que fue aplicado en forma sólida en el aditamento ATR (Reflectancia total atenuada) del espectrómetro Infrarrojo de Transformada de Fourier FTIR Nicolet iS10, en el rango de infrarrojo medio de 400 a 4000  $\text{cm}^{-1}$ . Teniéndose en cuenta los siguientes parámetros de método standard: Número de barridos de la muestra 32, número de muestras de fondo 32, resolución 4, espaciado 0.482  $\text{cm}^{-1}$ , ganancia de la muestra (auto ganancia), velocidad del espejo 0.4747, apertura 80.00, el procesamiento e interpretación de los espectros se realizó usando el software OMNI. (Barragan & Aro, 2017)

#### ***Determinación de la solubilidad y especiación***

La solubilidad y especiación del molibdeno se determinó con la construcción del diagrama de Pourbaix molibdeno- agua, con el cálculo de la concentración de  $10^{-7}$  molar del agua del río Challhuahuacho, que indica que el molibdeno es un metal relativamente noble debido a que su zona de inmunidad tiene una parte en común con la zona de estabilidad del agua; esto significa que el molibdeno no podrá reducir al agua en esta área. En disoluciones débiles y fuertemente alcalinas, el molibdeno se pasiva con formación del compuesto molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ). Del mismo modo el diagrama indica que el molibdeno es estable en condiciones reductoras ( $E = 0.75$  voltios) y su estabilidad disminuye a medida que se aumenta el pH de la solución. El  $\text{MoO}_2$ , producto de la oxidación de la molibdenita ( $\text{MoS}_2$ ) es estable en condiciones moderadamente reductoras ( $E < 0.3$  voltios) y desde condiciones ácidas ( $\text{pH} < 1.8$ ) y su estabilidad disminuye con el aumento del pH de la solución.

#### **Determinación del modelo del equilibrio del proceso de remoción por adsorción del molibdeno.**

##### ***Determinación del porcentaje de remoción***

Se empleó el método de análisis por absorción atómica con diferentes pesos de carbón activado y a pH 5, 7 y 9. Disolviendo 1g de molibdeno metálico 99.99% para luego diluir en 1 L y obtener 1000  $\mu\text{g/mL}$  de Mo. Se determinó 90.5% de remoción a pH 9 con 0.8 g de carbón.

##### **Determinación de la capacidad de adsorción con azul de metileno**

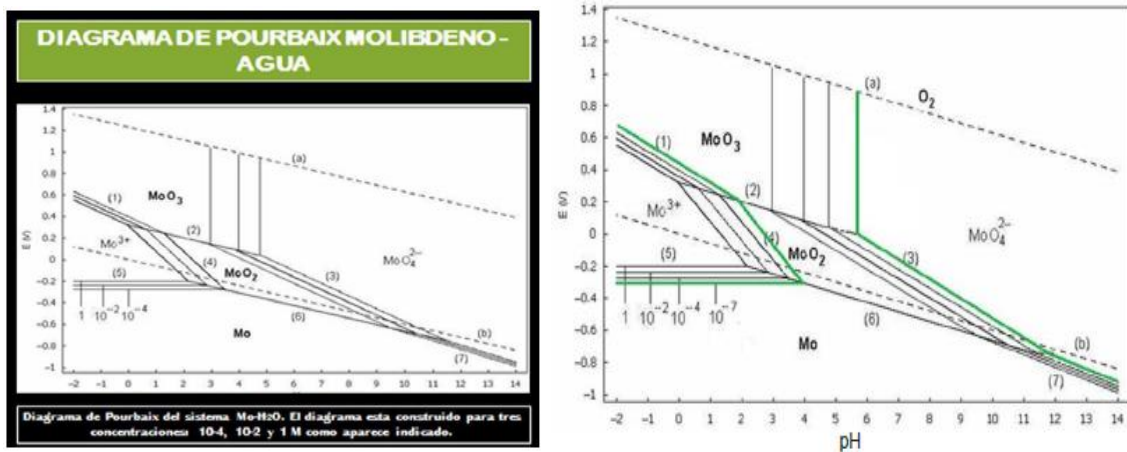
Se prepararon diluciones con concentraciones de 1, 4, 7, 10, 12 ppm, a partir de la solución patrón 50 ppm de azul de metileno. Se dio lectura en el fotómetro a una longitud de onda de 665 nm, luego se añadió 0,030g de carbón activado a cada dilución y se agito por 30 min en el

agitador magnético y finalmente se filtraron cada dilución después de la adsorción para luego ser leídas en el espectrofotómetro UV-Visible.

### Área superficial

La adsorción es un fenómeno superficial, como tal, el grado de adsorción es proporcional al área superficial específica. El área superficial específica se define como la porción del área total que está disponible para la adsorción. Por tanto, la cantidad adsorbida por peso unitario del adsorbente sólido es tanto mayor cuanto más finamente dividido y poroso sea el sólido. El área superficial se determinó con CHEMISORB 2720: MICROMERITIC que es un sistema básico que no posee la opción TPx, lleva a cabo análisis tanto de quimisorción como de fisorción, es accesible aún para el más modesto laboratorio. El instrumento realiza estudios de quimisorción y área de superficie de manera rápida y precisa.

### 3. RESULTADOS Y DISCUSION



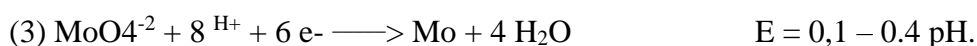
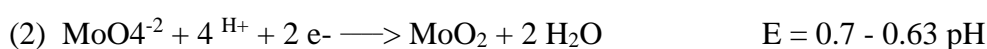
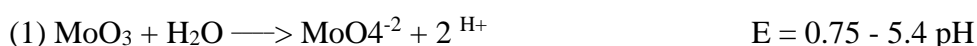
**Figura 1.** Solubilidad y especiación de molibdeno en el diagrama de Pourbaix (molibdeno-agua).

En el río Challhuahuacho, por sus características propias la concentración de molaridad calculada es de  $10^{-7}$  molar, que se determinó de la siguiente manera: Se tomó como punto de partida el límite máximo permisible de molibdeno en el agua (0.07 mg/L) según la OMS, hallándose que la concentración molar del molibdeno en el agua es:

$$0.07 \text{ mg/L} * 1 \text{ g/1000 mg} = 0.00007 \text{ g}$$

$$0.00007 \text{ g/L} / 96 \text{ g/mol} = 1 \times 10^{-7} \text{ mol/L (molar).}$$

**Las reacciones producidas en las diferentes fases son:**

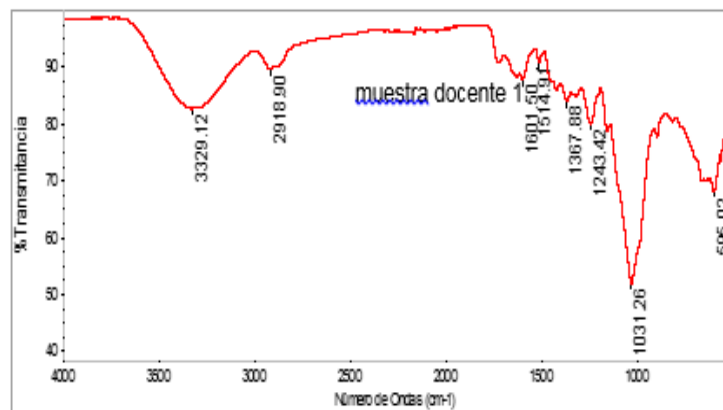


Con los datos y resultados obtenidos, se construyó el nuevo diagrama (derecho) con las nuevas regiones en el diagrama. En el área de la línea verde lado derecho la solubilidad del  $\text{MoO}_4^{2-}$  en el agua es muy alta del orden de 20 - 200 veces mayor que el del  $\text{MoO}_3$  (Haight y Boston, 1973). En soluciones acuosas el Mo (IV) forma complejos iónicos o neutros según el valor de pH, generalmente se encuentra disuelto como anión molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) a pH mayores a 6 - 8, formando una solución incolora. (Elvers, Hawkins, Schulz, & Ullmann, 1990)

El proceso de minado expone el mineral de molibdenita al ambiente donde hay presencia de oxígeno. La molibdenita se oxida gradualmente a  $\text{MoO}_2$  y luego a  $\text{MoO}_3$ . Los óxidos al entrar en contacto con agua de lluvia y de escorrentía forman molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ) el cual es estable desde  $\text{pH} > 5, 6$ ; incrementa su solubilidad con el incremento del pH.

En disoluciones débiles y fuertemente alcalinas, el molibdeno se pasiva con formación del compuesto molibdato ( $\text{MoO}_4^{2-}$ ). Si aumentamos la actividad del molibdeno de  $10^{-4}$  a 1, esto nos lleva a una disminución del valor del pH para la formación de  $\text{Mo}^{3+}$ . (Muñoz, 2011)

Se determinó que la solubilidad y especiación del molibdeno depende de la composición de la solución y la temperatura.



LABORATORIO ESPECTROSCOPIA FTIRT

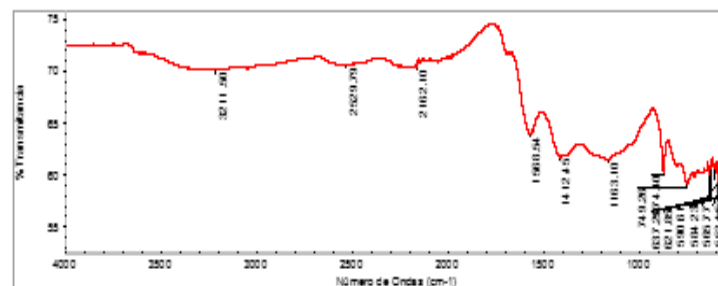


Figura 1. Determinación de estructura química y propiedades de la tusa de maíz.



Se determinó los espectros FTIR en el carbón activado sólido en el espectrómetro infrarrojo con accesorio ATR. Observando los grupos funcionales indicados por FTIR, se puede deducir que corresponden a grupos funcionales del carbono activado en medio ácido (HCl) (Pavia, Lampman, Kriz, & Vyvyan, 2008), la técnica IR en el análisis de carbón activado en la figura indica una banda en un número de onda de  $3329\text{ cm}^{-1}$ , la cual es característica de vibraciones hidroxilo ( $\text{OH}^-$ ) de los grupos básicos o sistemas acuosos, lo cual indica la hidratación de la muestra. Paralelamente aparece el pico en  $2918\text{ cm}^{-1}$  los mismos que son atribuidas a las vibraciones C - H de los grupos básicos (cetonas, quinonas, éteres cíclicos). También se observan picos entre  $1000$  y  $1400\text{ cm}^{-1}$ , que corresponden a los movimientos H-C=C, C-O-H y C-O-C ( $\sim 1100\text{ cm}^{-1}$ ), también se debe mencionar la tensión C-Cl: banda intensa  $730 - 550\text{ cm}^{-1}$ , por lo que se puede concluir que el carbón activado sinterizado en medio ácido posee grupos funcionales similares al carbón activado Merck tal como se ha determinado las característica en el trabajo de investigación “Estudio de las variables operativas sobre la reformación de metano con dióxido de carbono sobre catalizadores de níquel y calcio soportados en carbón activado”. También existen trabajos de investigación de síntesis de carbón activado donde se indica que los picos alrededor de  $1100\text{ cm}^{-1}$  como en el presente trabajo de investigación que es en ( $1031\text{ cm}^{-1}$ ) son propios del estiramiento asimétrico del enlace C - O. (Peña, Giraldo, & Moreno, 2012)

**Tabla 1**

*Valores para determinar capacidad de adsorción por Isoterma de Langmuir*

Dilución	Concentración (ppm)	Adsorbancia inicial	Adsorbancia final	Adsorbente (g)
1	1	0.137	0.107	0.03
2	4	0.612	0.138	0.03
3	7	1.164	0.273	0.03
4	10	1.624	0.177	0.03
5	12	2.054	0.298	0.03

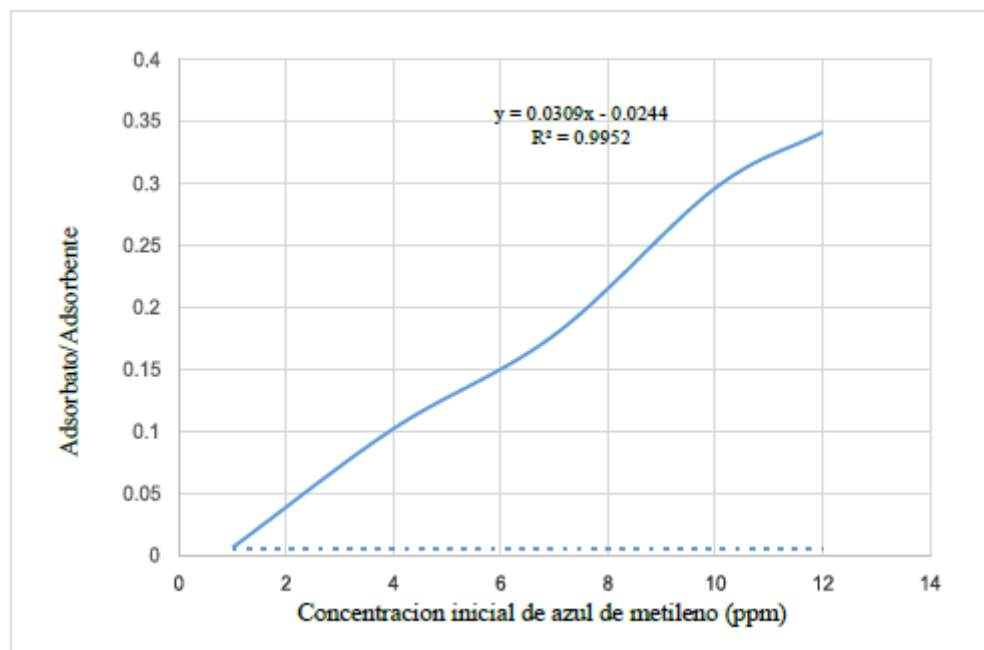
Con el siguiente cuadro se construye la isoterma de adsorción con ajuste a la isoterma de Langmuir. Con valores de las dos últimas celdas de la tabla 1, se determina la ecuación de Langmuir y se construye la respectiva figura 3.



**Tabla 2**

Valores obtenidos para desarrollar la Isoterma de Langmuir

Concentración (ppm)	adsorbancia inicial	adsorbancia final	adsorbente (g)	(adsorb inic) - (adsorb final)	Concent adsorbida = (Concentrac inicial)x(Δadsorb/adsorb inicial)	Concentrac No adsorb = (concent inicial) - (concent adsorbida)	masa de soluto adsorbido = (Concentrac adsorb)x(volumen de solución) (mg)	Adsorbato = (masa de soluto adsorb) * (1g/1000mg) (g)	Y = (adsorbato)/(adsorbente)
1	0.137	0.107	0.03	0.03	0.218978102	0.781021898	0.2189781	0.000218978	0.00729927
4	0.612	0.139	0.03	0.473	3.091503268	0.908496732	3.09150327	0.003091503	0.103050109
7	1.164	0.273	0.03	0.891	5.358247423	1.641752577	5.35824742	0.005358247	0.178608247
10	1.624	0.177	0.03	1.447	8.910098522	1.089901478	8.91009852	0.008910099	0.297003284
12	2.054	0.298	0.03	1.756	10.25900682	1.740993184	10.2590068	0.010259007	0.341966894

**Figura 2.** Elaboración del diagrama de isoterma de Langmuir con azul de metileno.

La figura muestra el comportamiento lineal ( $y = 0.0309x - 0.0244$ ) de adsorbente en función a la concentración inicial de azul de metileno con un ajuste de  $R^2 = 0.9995$  del modelo lineal a la variable que explica el comportamiento de la concentración inicial de azul de metileno, lo que nos indica la cantidad de molibdeno adsorbido con el carbón activado de la tusa de maíz; que nos infiere que son directamente proporcionales.

El diagrama indica que la relación adsorbato/adsorbente de la solución preparada para la determinación de la adsorción de molibdeno, es directamente proporcional a la concentración inicial de azul de metileno con un coeficiente de determinación ( $R^2$ ) de 0.9952 que es muy próximo a la unidad, cuya pendiente de la curva de la función del experimento es positivo de

0.0309 lo que nos indica que tiene una relación directa entre las variables de estudio con aproximación de 99.52%.

**La forma lineal del modelo de la isoterma de Langmuir está dada por la ecuación:**

$$C_{eq}/q = (1/C) C_{eq} + (1/C*b)$$

$$C_{eq}/q = 0.0309 C_{eq} + 0.0244$$

Dónde:

$C_{eq}$  = Es la concentración de equilibrio del adsorbato (AM) en (mg/L)

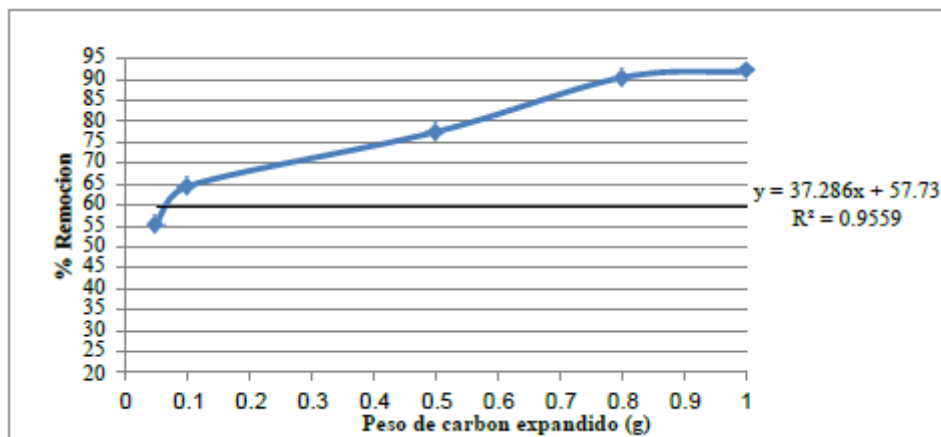
$q$  = Es la cantidad de adsorbato adsorbido por unidad de masa adsorbente (mg/L)

$C$  = Es la capacidad máxima de adsorción (mg/g)

$b$  = Es una constante de la velocidad de adsorción.

$1/C$  = pendiente  $C = 1/\text{pendiente } C = 1/0.0309$

$C = 32.36 \text{ mg/g}$ .



**Figura 3.** Determinación del porcentaje de porosidad de la tusa de maíz.

El porcentaje de porosidad del carbón activado se obtuvo por el método gravimétrico, determinando la densidad aparente con:

Peso de la probeta = 27.595 g

Peso de la probeta + carbón activado = 29.451 g

Volumen ocupado por el carbón activado = 8 mL

$DA = ((\text{peso probeta} + CA) - (\text{peso de probeta})) / \text{volumen ocupado de carbón activado}$ .

$DA = (29.451 - 27.595) \text{ g} / 8 \text{ mL}$   $DA = 0.232 \text{ g/mL}$ . Y la densidad real con:

Peso del picnómetro = 20.657 g.

Peso del picnómetro + carbón activado = 21.248 g

Peso del picnómetro + CA + agua = 45.443 g

Peso del picnómetro + agua = 45.670 g

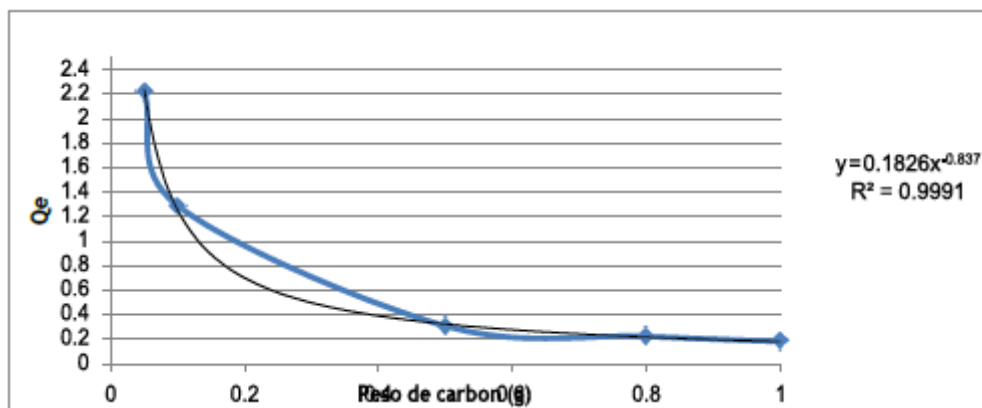
Simbología: S = peso del carbón activado

A = peso del agua

S + a = peso del carbón activado + agua

$DR = S / (S+A - (s + a)) = 0.591 \text{ g} / (0.591 + 25.013 - 24.591) = 0.583 \text{ g/mL}$ . Para luego obtener el porcentaje de porosidad de 60.21%.

En el diagrama se observa el tipo de porosidad de la tusa de maíz. Según la isoterma de adsorción de Langmuir es del tipo (IV), indicando que la porosidad del carbón activado tiene microporos y macro poros que uno seguido de otro se van saturando con Molibdeno. También se observa que existe una relación lineal positiva o directa excelente entre el peso de carbón expandido y el porcentaje de remoción, a mayor peso de carbón activado es mayor el porcentaje de remoción. Con un coeficiente de determinación del 95.59% de la variabilidad en el porcentaje de la remoción es explicada por la variabilidad en el peso del carbón expandido.



**Figura 4.** Determinación de la capacidad de adsorción.

Se prepararon diluciones con concentraciones de 1, 4, 7, 10, 12 ppm, a partir de la solución patrón, se dio lectura en el fotómetro a una longitud de onda de 665 nm, se añadió 0,030g de carbón activado a cada dilución y se agito por 30 min en el agitador magnético y finalmente se filtraron cada dilución después de la adsorción para luego ser leídas en el espectrofotómetro UV-Visible.

En el diagrama, se observa que existe una relación potencial negativa o inversa excelente entre el peso de carbón y la capacidad de adsorción, a mayor peso menor capacidad de adsorción; además el 99.91% de la variabilidad en la capacidad de adsorción es explicada por la variabilidad en el peso del carbón expandido. De acuerdo con las curvas presentadas se concluye que:

El pH adecuado en el que se observa mayor remoción es 9, comparado con pH 5 y 7. La capacidad mínima de adsorción por parte del adsorbente es 0.184, correspondiente a un pH 9. Las curvas que representan % remoción Vs peso de carbón, son asintóticas y similares en todos los casos, indicando así, que a medida que aumenta la cantidad de adsorbente aumenta también el porcentaje de remoción.

**Tabla 3**

*Determinación del porcentaje de remoción y capacidad de adsorción*

	Peso carbón (g)	[Mo]ppm inicial	carbon expandido				carbon sin tratamiento				carbon con tratamiento			
			[Mo]ppm final	[Mo] adsorbida	%R	Qe	[Mo]ppm final	[Mo] adsorbida	%R	Qe	[Mo]ppm final	[Mo] adsorbida	%R	Qe
pH 5	0.05	20	8	12	60	240	19.2	0.8	4	16	19.1	0.9	4.5	18
	0.1	20	7.7	12.3	61.5	123	18	2	10	20	18.5	1.5	7.5	15
	0.5	20	7.4	12.6	63	25.2	16.4	3.6	18	7.2	16.2	3.8	19	7.6
	0.8	20	6.9	13.1	65.5	16.375	16	4	20	5	15.2	4.8	24	6
	1	20	6.5	13.5	67.5	13.5	16	40 <sub>0</sub>	20	4	15	50 <sub>0</sub>	25	5
pH 7	0.05	20	9.5	10.5	52.5	210	17	3	15	60	18.8	1.2	6	24
	0.1	20	7.6	12.4	62	124	16.4	3.6	18	36	17.9	2.1	10.5	21
	0.5	20	4.8	15.2	76	30.4	14.6	5.4	27	10.8	13.5	6.5	32.5	13
	0.8	20	1.8	18.2	91	22.75	14	6	30	7.5	12	8	40	10
	1	20	1.7	18.3	91.5	18.3	14	6	30	6	11.5	8.5	42.5	8.5
pH 9	0.05	20	8.9	11.1	55.5	222	14.8	5.2	26	104	18.8	1.2	6	24
	0.1	20	7.1	12.9	64.5	129	13.8	6.2	31	62	18	2	10	20
	0.5	20	4.5	15.5	77.5	31	12	8	40	16	12.8	7.2	36	14.4
	0.8	20	1.9	18.1	90.5	22.625	11	9	45	11.25	10.4	9.6	48	12
	1	20	1.6	18.4	92	18.4	10	10	50	10	10	10	50	10
				Max	240					104				24

De los experimentos para determinar el porcentaje de remoción y la capacidad de adsorción obtenidos con carbón expandido mostrados en la tabla, observamos que el mayor porcentaje de remoción se obtiene a un pH= 9 (92%) y con mayor peso de carbón (1 gr.); La mayor capacidad de adsorción (Qe) 2.40, se logra a un pH=5 y con menor peso de carbón (0.05).

**Tabla 4***Replicas para determinar la desviación estándar óptima*

Replicas	Carbón sin tratamiento.			Carbon con tratamiento.			Carbon expandido			Para PH P(valor)
	pH 5	pH 7	pH 9	pH 5	pH 7	pH 9	pH 5	pH 7	pH 9	
1	4	15	26	4.5	6.3	6.3	57.5	50	55	0.314
2	10	18	31	7.5	10.5	10	60	60	63.5	
3	18	27	40	19.3	32.5	36.3	60	75	76	
4	20	30	45	24	40	48	63.5	90	90	
5	20	30	50	25	42.5	50	64.5	90	90.5	
Promedi o.	14.4	24	38.4	16.06	26.36	30.12	61.1	73	75	
Desv. Est.	6.374951	6.292853 1	8.822698	8.489664 3	15.08769	18.57583 4	2.557342 4	16	14.13152 5	
CV. %	0.442704 9	0.262202 2	0.229757 8	0.528621 7	0.572370 7	0.616727 5	0.041855	0.219178 1	0.188420 3	
P(valor)	0.002			0.000			0.269			
Promedi o	25.6			24.180			69.7			
Desv. Est.	12.676186			16.374			14.3325304			
CV. %	0.495163551			0.677			0.205631714			
Para tipo de Carbón P(valor)	0.000									

En la tabla al realizar 4 réplicas con carbón sin/tratado y expandido y a pH 5, 7 y 9, observamos con carbón expandido y a pH 9 el promedio de remoción de molibdeno es 69.7 valor muy superior a 25.6 y 24.18 que son promedios de carbón sin tratamiento y tratado respectivamente, de lo que deducimos que la remoción óptima se logra a un pH básico y con carbón expandido; la desviación estándar es menor que los carbón tratado y sin tratamiento lo que nos infiere que la recuperación es regular a pH 9.

**Análisis estadístico de los datos experimentales:** El tratamiento estadístico de los datos de bioadsorción se llevó a cabo con el programa informático SPSS 19.0 (Statistical Package for the Social Sciences). Se calculó el coeficiente de correlación de Pearson (r) entre los distintos parámetros, con el fin de determinar el grado de correlación lineal de los mismos. Además, el rendimiento del ajuste de los diferentes modelos cinéticos propuestos se calculó por medio de la distribución de probabilidad continua F- Snedecor, el coeficiente de correlación (R), el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) y el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adj), un índice este último muy útil para comparar el poder explicativo de los diferentes modelos (Para los estudios de adsorción- desorción), se empleó el estadístico t- Student. Así mismo, se empleó el estadístico de Durbin- Watson para detectar la ausencia de autocorrelación en los valores residuales de los modelos cinéticos.

#### 4. CONSIDERACIONES GENERALES

Se evaluó que la superficie del adsorbente proveniente del carbón activado de la tusa de maíz (*Zea mays*), tiene la capacidad de adsorber molibdeno de soluciones acuosas de 32.36 mg/g en un tiempo de 6 horas con un pH 9.

Con pruebas de espectros FTIR-Análisis de rayos infrarrojos, se determinó que la tusa de maíz posee grupos funcionales a diferentes longitudes de onda óptimos para la adsorción de molibdeno.

El tamaño de partícula de carbón activado está comprendido entre 500 – 700 nm, con una porosidad de 62.21% y un área superficial específica de mono capa de 174.55m<sup>2</sup>/g.

La isoterma de Langmuir nos indica una ecuación lineal que se ajusta al modelo de un pseudo primer orden, mientras que la isoterma de Freundlich indica que se ajusta a una ecuación pseudo segundo orden.

#### 5. LISTA DE REFERENCIAS

- Adegoke, K. A., & Bello, O. S. (2015). Dye sequestration using agricultural wastes as adsorbents. *Water Resources and Industry*, 8-24.
- Argun, M. E., Sukru, D., Ozdemir, C., & Karatas, M. (2007). Heavy metal adsorption by oak sawdust: thermodynamics and kinetics. *Journal of Hazardous Materials*, 141(1), 77-85.
- Barragan, M., & Aro, J. M. (2017). Determinacion del efecto de procesos de coccion en papas nativas pigmentadas (*Solanum tuberosum* spp. andigena) sobre sus compuestos bioactivos. *Revista de Investigaciones Altoandinas*, 18(1), 47-52.
- Busetti, F., Badoer, S., Cuomo, M., Rubino, B., & Traverso, P. (2005). Occurrence and removal of potentially toxic metals and heavy metals in the wastewater treatment plant of Fusina (Venice, Italy). *Industrial & Engineering Chemistry Research*, 44(24), 9264-9272.
- Chantawong, V., Harvey, N. W., & Bashkin, V. N. (2003). Comparison of heavy metal adsorptions by thai kaolin and ballclay. *Water Air and Soil Pollution*, 148(1), 111-125.
- Chen, Q., Luo, Z., Hills, C., Xue, G., & Tyrer, M. (2009). Precipitation of heavy metals from wastewater using simulated flue gas: Sequent additions of fly ash, lime and carbon dioxide. *Water Research*, 43(10), 2605-2614.
- Elangovan, R., Philip, L., & Chandraraj, K. (2008). Biosorption of hexavalent and trivalent chromium by palm flower (*Borassus aethiopum*). *Chemical Engineering Journal*, 141(1-3), 99-111.

- Elvers, B., Hawkins, S., Schulz, G., & Ullmann, F. (1990). Ullmann's encyclopedia of industrial chemistry. Vol. A16, Magnetic materials to mutagenic agents (5th Revised edición ed.). Cambridge: VCH Publishers.
- Jafari, N. (2010). Ecological and socio-economic utilization of water hyacinth (*Eichhornia crassipes* Mart Solms). *Journal of Applied Sciences and Environmental Management*, 14(2), 43-49.
- Ming, H., Shujuan, Z., Bingcai, P., Weining, Z., Lu, L., & Quanxing, Z. (2011). Heavy metal removal from water/wastewater by nanosized metal oxides: A review. *Journal of hazardous Materials*(211-212), 317-331.
- Monu, A., Bala, K., Shweta, R., Anchal, R., Barinder, K., & Neeraj, M. (2008). Heavy metal accumulation in vegetables irrigated with water from different sources. *Food Chemistry*, 111(4), 811-815.
- Muñoz, M. J. (2011). Características y usos de los diagramas de Pourbaix. Valencia: Departamento de Ingeniería Química y Nuclear. Universidad Politécnica de Valencia.
- Peña, K. J., Giraldo, L., & Moreno, J. C. (2012). Preparación de carbón activado a partir de cáscara de naranja por activación química. caracterización física y química. *Revista Colombiana de Química*, 41(2), 311-323.