

1

Estudio Isotérmico de biosorción de plomo en aguas utilizando residuos vegetales

Larenas Uría Christian¹, Andrango Daniel², Inga Pablo²

1. Introducción

Existen diversas fuentes de contaminación por plomo de aguas naturales, siendo la principal la descarga de efluentes industriales directamente a los ríos sin ningún tratamiento previo. Este problema se debe tanto a los altos costos como a la baja eficiencia de muchos de los métodos empleados para la remoción de los metales pesados. En la actualidad se ha desarrollado una diversa gama de tecnologías que apuntan a ser soluciones a bajo costo y ambientalmente amigables. Una de estas técnicas es la llamada biosorción, en la cual se hace uso de materia orgánica -viva, muerta o inmovilizada- para la remoción de metales pesados y su posterior recuperación (Sánchez *et al.*, 2008).

El presente trabajo tiene por objeto evaluar la capacidad de biosorción, mediante un estudio isotérmico (Gutiérrez *et al.*, 2008) de material procedente de hojas de césped cortado tomando en consideración criterios como el pH y el tiempo de contacto entre el biosorbente y el contaminante. Se espera que a través de un proceso controlado de hidrólisis, la estruc-

1 Director del Proyecto de investigación, Director de la Carrera de Ingeniería Ambiental de la Universidad Politécnica Salesiana

2 Estudiantes de la Carrera de Biotecnología de los Recursos Naturales de la Universidad Politécnica Salesiana.

tura celulósica del material presente una gran cantidad de sitios activos para la adsorción o retención de iones Pb^{2+} en solución.

2. Materiales y Métodos

2.1 Reactivos

Se utilizaron únicamente reactivos de grado analítico. Las soluciones de Pb^{2+} fueron preparadas a partir de una solución estándar certificada de 1.000 ppm de Pb^{2+} . Para el ajuste del pH se prepararon soluciones buffer así como soluciones de NaOH y HNO_3 0,1 M.

2.2 Obtención del Biosorbente

Se utilizó una mezcla al azar de muestras de césped cortado. La mezcla se secó a 40°C en estufa durante 15 días. La muestra fue molida y tamizada, luego de lo cual se hidrolizó secuencialmente con soluciones de H_2SO_4 y Na OH mediante reflujo durante 4 horas. El material obtenido se desecó a 60°C durante 3 días.

2.3 Efecto del pH

En vasos de precipitación se colocó 50 ml de solución de 1,0 ppm Pb^{2+} . Se ajustó el pH de las soluciones a 3,0 4,0 5,0 6,0 7,0 y 8,0 y a cada una se le agregó 0,1 g de biosorbente. Las soluciones se agitaron a 200 rpm durante 2 horas luego fueron filtradas, utilizándose la solución resultante para determinar la capacidad de biosorción de plomo en función del pH.

2.4 Cinéticas de Biosorción

La cinética de biosorción se determinó colocando en vasos de precipitación 50 ml soluciones de 50, 70, 100, 500 y 1.000 ppm de Pb^{2+} . A cada solución se agregó 0,1 g de biosorbente y se ajustó el pH a 6,0. Las soluciones se mantuvieron en agitación a 200 rpm durante 1, 5, 10, 15, 30, 60, 90 y 120 minutos. Cumplidos los tiempos respectivos las soluciones fueron

filtradas y el resultante fue analizado para determinar la concentración del metal.

2.5 Isotermas de Biosorción

Para este estudio se consideró la utilización de dos modelos isotérmicos: Langmuir y Freundlich. En cada caso la metodología consistió en colocar en vasos de precipitación 50 ml de soluciones de Pb^{2+} de 50, 500, 700, 1.000 y 2.000 ppm. A cada solución se agregó 0,1 g de biosorbente, se ajustó el pH a 6,0 y se mantuvo en agitación a 200 rpm durante 30 minutos. Posteriormente, las soluciones fueron filtradas y la solución resultante se utilizó para evaluar la capacidad máxima de retención ($q_{m\acute{a}x}$) de plomo.

Los cálculos se realizaron tomando en cuenta las siguientes relaciones:

$$q = \frac{(C_i - C_e) * V}{X_o} \quad (1)$$

Donde q = Tasa de biosorción de Pb^{2+} (mg de plomo por gramo de biosorbente)

C_i = Concentración inicial de Pb^{2+} en solución (mg/l)

C_e = Concentración final de Pb^{2+} (en equilibrio) en solución (mg/l)

X_o = Cantidad de biosorbente agregada (g)

V = Volumen de solución (l)

Para la isoterma de Langmuir se linealizó la ecuación graficando $1/q$ vs. $1/C_e$, obteniéndose la siguiente relación:

$$\frac{1}{q} = \frac{1}{q_{m\acute{a}x}} + \frac{1}{b * q_{m\acute{a}x} * C_e} \quad (2)$$

Donde:

- $q_{\text{máx}}$ = Tasa máxima de retención de plomo (mg de plomo/g biosorbente)
 b = constante relacionada con la afinidad del biosorbente por los iones Pb^{2+}

Pudiendo evaluarse la isoterma de Langmuir a partir de un factor adimensional R_L , así:

$$R_L = \frac{1}{1 + b * C_i} \quad (3)$$

Donde los valores de R_L indican:

- $R_L = 0$ Sistema isotérmico irreversible.
 $0 < R_L < 1$ Sistema isotérmico favorable, siendo $R = 1$ lineal
 $R_L > 1$ desfavorable.

Para la isoterma de Freundlich la ecuación usada fue:

$$\log q = \frac{1}{n} \log C_e + \log K \quad (4)$$

Donde:

- n = Constante relacionada con la intensidad de sorción del biosorbente en función de su grado de heterogeneidad.
 K = constante de Freundlich relacionada a la capacidad de sorción del biosorbente

2.6 Análisis de las muestras

El plomo contenido en todas las muestras se analizó mediante la técnica de Absorción Atómica utilizando un equipo Varian 20 trabajando a

dos longitudes de onda. Para las soluciones de 1,0 a 50 ppm se realizó las mediciones a 283,3 nm y para las soluciones de 50 a 2.000 ppm a 205,3 nm.

3. Resultados

3.1 Efecto del pH

De acuerdo a lo observado en la Figura 1 el pH óptimo para la biosorción de plomo es igual a 6,0. En los valores superiores e inferiores a este pH se aprecia una disminución progresiva de la biosorción; en valores superiores a pH 8 el Pb^{2+} en solución empieza a precipitar como $Pb(OH)_2$ y por tanto existe menos plomo disponible para ser retenido por el biosorbente. En valores de pH por debajo de 4 existe una competencia por los sitios activos del biosorbente entre los iones Pb^{2+} y los iones H^+ .

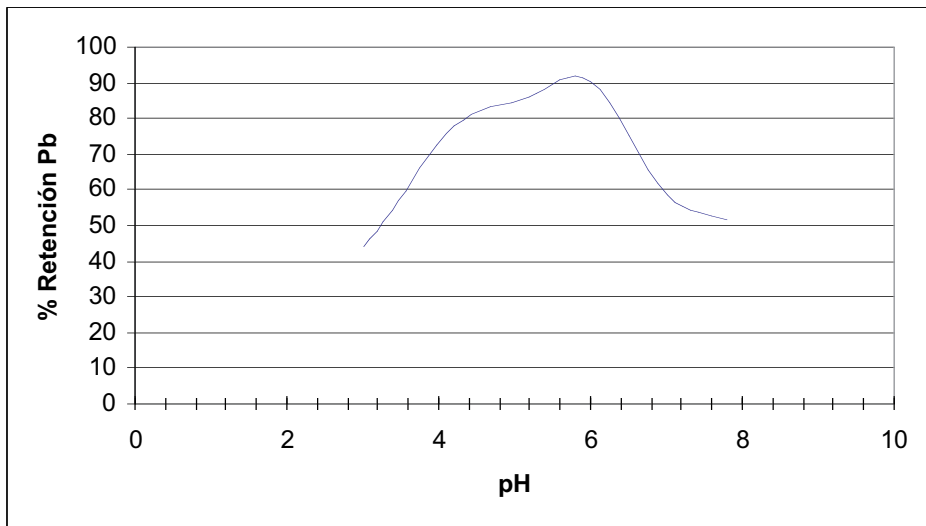


Figura 1. Efecto del pH sobre la Biosorción de Pb^{2+}

3.2 Cinéticas de Biosorción

Los resultados obtenidos de acuerdo a la figura 2 denotan que la máxima biosorción de Pb^{2+} se produce entre los 15 y 30 minutos; sin

embargo, para soluciones más diluidas (hasta 100 ppm) el valor máximo de biosorción se produce a los 5 minutos. Esto representa una saturación progresiva del biosorbente; es decir, que el Pb^{2+} se une más débilmente a la superficie del biosorbente a medida que este se va saturando.

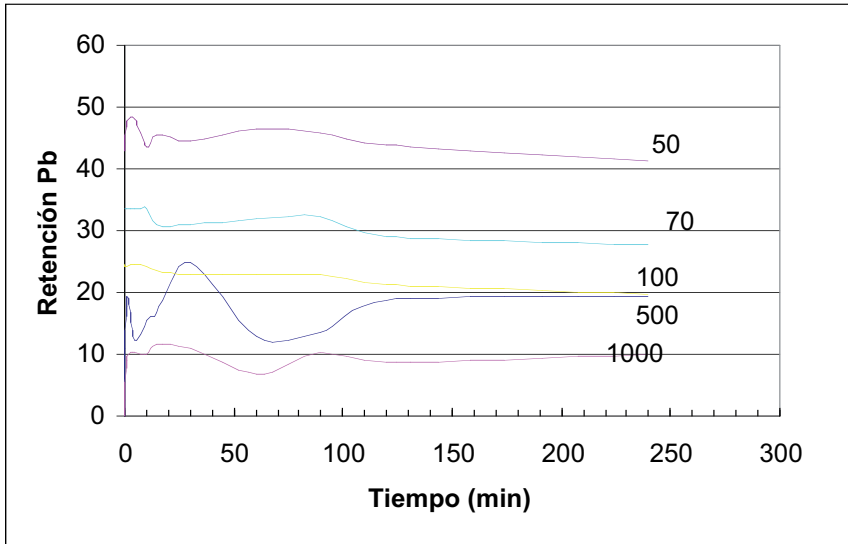


Figura 2. Cinética de Biosorción de Pb^{2+}

3.3 Isotermas de Biosorción

Los resultados de acuerdo al modelo de Langmuir presentados en la figura 3 nos permiten calcular la ordenada al origen $1/q_{\text{máx}}$ y la pendiente $1/b \cdot q_{\text{máx}}$ con lo cual $q_{\text{máx}}$ resultante es igual a 182 mg de Pb/g biosorbente.

El análisis de los valores de R_L denota un comportamiento isotérmico favorable ($0 < R_L < 1$).

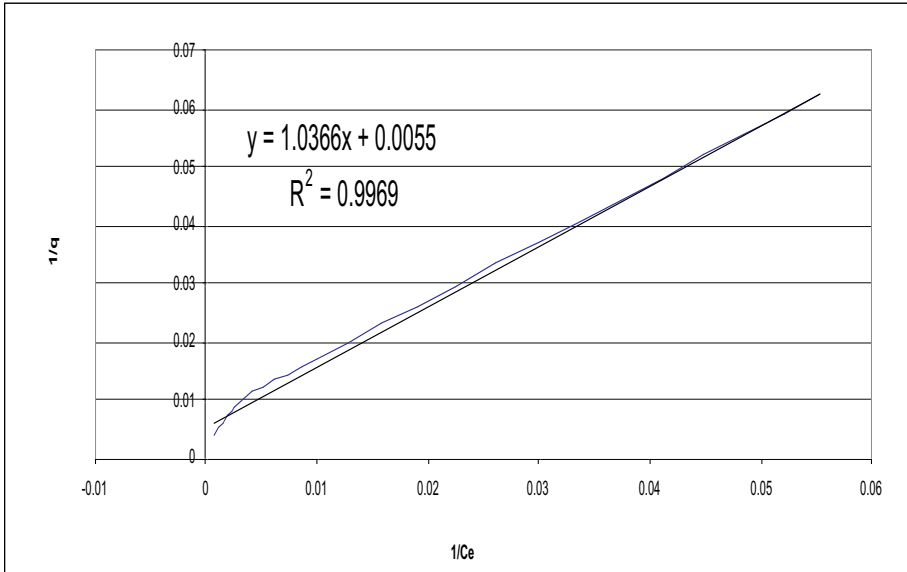


Figura 3. Isotherma de Langmuir

Tabla 1. Resultados de biosorción de Pb^{2+}

C_i [ppm]	C_e [ppm]	q [mg/g]	R_L
1	0,1	0,09641807	- 0,9947222
5	0,3	0,28894775	0,97415656
10	1,2	1,15030675	0,94961524
50	18,1	15,930995	0,79033242
500	313	113,48392	0,27375482
700	458	128,81089	0,21213113
1000	702	143,335511	0,15858397
2000	1528	161,854119	0,08612067

Para el modelo de Freundlich la ecuación (4) se presenta en la Figura 4 permitiendo calcular $K = 2,76$ y $n = 1,64$; demostrándose por tanto una afinidad significativa del biosorbente por el Pb^{2+} ($n > 1$) así como una fuerza de adsorción intensa del metal por la matriz de adsorción.

Ambos modelos presentan coeficientes de correlación (R^2) muy cercanos a la unidad, por tanto el comportamiento isotérmico de sorción del biosorbente puede evaluarse adecuadamente por cualquiera de ellos.

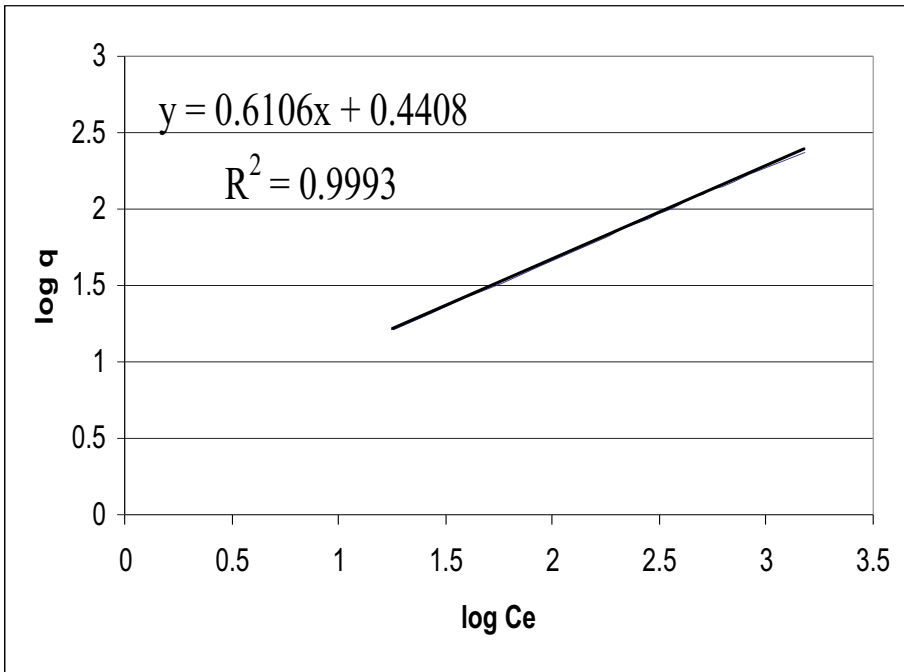


Figura 4. Isoterma de Freundlich

4. Discusión

El biosorbente desarrollado presenta un comportamiento óptimo para la sorción del Pb^{2+} cuando el pH de la solución es igual a 6,0; sin embargo, con valores cercanos hasta $pH = 5$ la tasa de retención del metal es todavía significativa.

La cinética de biosorción indica que para soluciones de hasta 100 ppm de Pb^{2+} la cantidad máxima retenida de metal se produce a los cinco minutos desde que se pone en contacto al biosorbente con la solución; en

concentraciones superiores a 500 ppm el tiempo óptimo está comprendido entre 15 y 30 minutos.

Tanto el modelo de Langmuir como el de Freundlich se ajustan idealmente para describir las isothermas de biosorción del sistema ($R^2 = 0,99$). Sin embargo el sistema de Langmuir linealizado en función de C_e presenta menor linealidad ($R^2 = 0,90$) pero un mayor valor de $q_{m\acute{a}x}$. ($q_{m\acute{a}x} = 333$ mg Pb/g). Por otra parte al obtener las ecuaciones de regresión tomando como referencia datos exclusivamente de alta concentración, a partir de 500 ppm, $q_{m\acute{a}x}$ aumenta hasta un valor de 360/mg de Pb/g biosorbente.

Otros estudios (Edgar Millán-Carbajal *et al.*; Gutiérrez *et al.*) mencionan como excelentes alternativas a materiales cuyos $q_{m\acute{a}x}$ van desde aproximadamente 3 hasta 500 mg Pb^{2+} /g de biosorbente, por tanto el césped hidrolizado, utilizado como biosorbente, representa una muy buena alternativa dado su bajo costo y facilidad de procesamiento, además se aprovecha de un producto habitualmente considerado como desecho.

Es importante resaltar la necesidad de continuar con estudios que permitan evaluar otras variables como la capacidad de desorción del material con objeto de evaluar su posible reutilización, así como probar la eficiencia de esta matriz en la remoción de otros metales contaminantes como cadmio, zinc, níquel, mercurio y cromo hexavalente.

5. Agradecimiento

Los autores agradecen a la Universidad Politécnica Salesiana por el financiamiento a este trabajo a través del proyecto “Obtención de un biosorbente por modificación química o física de residuos vegetales”, así como a todas las personas que directa o indirectamente contribuyeron a abrir los espacios físicos, espirituales y mentales para la realización del mismo.

Bibliografía

GUTIÉRREZ, Miguel A.

González, Leandro; Sánchez, Enrique; Mellado, Doris: *Biosorción de Pb²⁺ por biomasa de Saccharomyces cerevisiae*. <http://www.femisca.org/publicaciones/XIcongreso/XICNIS089.pdf>

SÁNCHEZ, Edna Lilian; Garza González, M^a teresa; Almaguer, Cantú Verónica; Sáenz Tavera, Isabel; Liñán Montes, Adriana

Estudio cinético e isotermas de adsorción de Ni (II) y Zn (II) utilizando biomasa del alga Chlorella sp. Inmovilizada. <http://dialnet.unirioja.es/servlet/articulo?codigo=2565693>

SAIFUDDIN, N.; Raziah, A.Z.

Removal of Heavy Metals from Industrial Effluent Using Saccharomyces Cerevisiae (Baker's Yeast) Immobilised in Chitosan/lignosulphonate Matrix.