

# Evaluación de la capacidad biosortiva de la cáscara de banano en la eliminación de cobre divalente ( $\text{Cu}^{+2}$ ) de solución de sulfato de cobre pentahidratado a escala de laboratorio, mediante espectrofotometría visible

Fecha enviada: 5 de diciembre del 2021

Fecha corregido: 7 de enero del 2022

Victor Manuel Monzón Valdez, Carlos Mendoza, Ingrid Lorena Benítez Pacheco<sup>1</sup>

## RESUMEN

Los pilares de estas investigaciones consistieron en la determinación del mayor porcentaje de remoción de cobre divalente ( $\text{Cu}^{+2}$ ) posible y en la variación de distintas propiedades físicas y químicas durante la experimentación; por tal razón, con la finalidad de determinar las variables de funcionamiento del método de biosorción propuesto, se varió la cantidad de biosorbente, el tamaño de partícula, tiempo de contacto, pH y la temperatura de trabajo. La experimentación y la obtención de resultados se llevaron a cabo a escala laboratorio mediante espectrofotometría visible y luego de efectuar las mediciones correspondientes, se cuantificaron los valores de las variables estudiadas y se realizó el análisis estadístico de los datos mediante el método de análisis de varianzas ANOVA. Con base en los resultados obtenidos del porcentaje de remoción de cobre divalente ( $\text{Cu}^{+2}$ ) luego de la experimentación, siendo de aproximadamente 12%, se concluye que el método evaluado en la presente investigación es aceptable y funcional para las condiciones propuestas de cantidad de biosorbente, tamaño de partícula, tiempo de contacto, pH y temperatura.

**Palabras clave:** Biosorción, eliminación de cobre divalente, cáscara de banano, espectrofotometría.

## ABSTRACT

The pillars of these research consisted in determining the highest percentage of removal of divalent copper ( $\text{Cu} + 2$ ) possible and in the variation of different physical and chemical properties during experimentation; For this reason, in order to determine the operating variables of the proposed

biosorption method, the amount of biosorbent, particle size, contact time, pH and working temperature were varied. The experimentation and the obtaining of results were carried out at the laboratory scale by means of visible spectrophotometry and after carrying out the corresponding measurements, the values of the variables studied were quantified and the statistical analysis of the data was carried out by the method of analysis of variances ANOVA. Based on the results obtained from the removal percentage of divalent copper ( $\text{Cu} + 2$ ) after experimentation, being approximately 12%, it is concluded that the method evaluated in this investigation is acceptable and functional for the proposed conditions of quantity of biosorbent, particle size, contact time, pH and temperature.

**Keywords:** Biosorption, divalent copper removal, banana peel, spectrophotometry.

## INTRODUCCIÓN

La biosorción es una tecnología emergente que surge como respuesta específica al aumento de contaminación de los recursos hídricos. Consiste en la captación de metales mediante una biomasa completa (viva o muerta), a través de mecanismos fisicoquímicos como la adsorción o el intercambio iónico. Estudios recientes han demostrado que la cáscara de banano (*Musa x paradisiaca*) posee una alta capacidad biosorbente de metales pesados; su estructura química se encuentra formada principalmente por lignina y la superficie está cargada negativamente debido a los grupos carbonilo e hidroxilo, lo cuales favorecen y facilitan la captación de metales pesados por un mecanismo de adsorción

---

<sup>1</sup> Victor Manuel Monzón Valdez, Maestro en Docencia Universitaria e Ingeniero Químico graduado en Universidad de San Carlos de Guatemala, Docente Universitario y Asesor del sector Industrial [vimamonzon@gmail.com](mailto:vimamonzon@gmail.com)

Carlos Mendoza, estudiante tesista de la carrera de Ingeniería Química, en Universidad de San Carlos de Guatemala [carlosmendozameza@gmail.com](mailto:carlosmendozameza@gmail.com)

Ingrid Lorena Benítez Pacheco, Licenciada en Química pura, Docente en Universidad de San Carlos e Investigadora en DIGI. [licdaibenitez@gmail.com](mailto:licdaibenitez@gmail.com)

# Evaluación de la capacidad biosortiva de la cáscara de banano en la eliminación de cobre divalente ( $\text{Cu}^{+2}$ ) de solución de sulfato de cobre pentahidratado a escala de laboratorio, mediante espectrofotometría visible

Fecha enviada: 5 de diciembre del 2021

Fecha corregido: 7 de enero del 2022

o intercambio iónico. El estudio fue realizado con el objetivo de evaluar un método de eliminación de cobre divalente ( $\text{Cu}^{+2}$ ), a escala laboratorio, mediante materia orgánica de desecho como lo es la cáscara de banano. De esta manera, se desea aportar datos y resultados empleando la biosorción, para promover la búsqueda de nuevas alternativas con el afán de mitigar la problemática de la contaminación por metales pesados.

El propósito último de la investigación es implementar nuevos métodos de descontaminación, a escala industrial, de recursos hídricos por metales pesados que sean funcionales, de bajo costo y amigables con el medio ambiente.

## METODO Y MATERIALES

Se utilizó cáscara de banano "Gran enano", la cual fue deshidratada mediante un horno de secado transversal de bandejas.

Se trituró la cáscara de banano seca y se tamizó en tres distintos tamaños para lo cual se utilizaron los tamices Tyler No. 10, 12 y 30.

Se elaboró una curva de calibración del método espectrofotométrico en donde se utilizaron 8 soluciones de sulfato de cobre pentahidratado de distintos volúmenes, acomplejadas con amoníaco al 25%.

Con el objetivo de cuantificar el porcentaje de remoción de cobre divalente de una solución patrón de sulfato de cobre pentahidratado mediante espectrofotometría visible, se mezcló la cáscara de banano en distintas cantidades en varias soluciones preparadas con anterioridad y se dejaron constantes los demás parámetros a evaluar. Posteriormente, se realizó el mismo procedimiento para el tiempo de contacto, la temperatura y el pH.

Luego de realizar los distintos tratamientos propuestos en la experimentación, se prepararon 7 soluciones de sulfato de cobre pentahidratado de distinta concentración y se agregó 50 mg de cáscara de banano de 0.6 mm. Las muestras se dejaron reposar durante 50 minutos a una temperatura de 25°C. Por último, se filtraron las muestras y con los datos obtenidos se elaboraron las isothermas de adsorción de Freundlich y Langmuir.

Los parámetros evaluados en los distintos tratamientos propuestos en la investigación fueron:

- Tamaño de partícula
- Cantidad de cáscara de banano
- Tiempo de contacto

- Temperatura
- pH

## RESULTADOS

Figura I. Curva de calibración

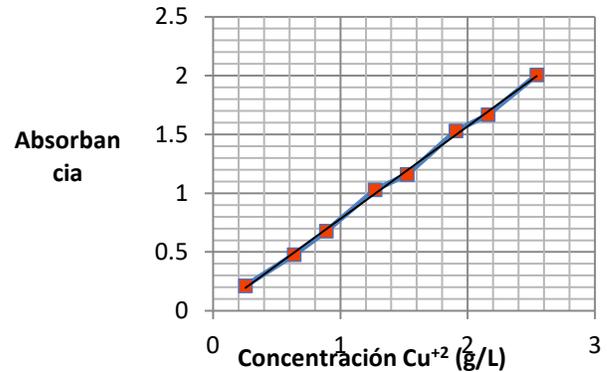
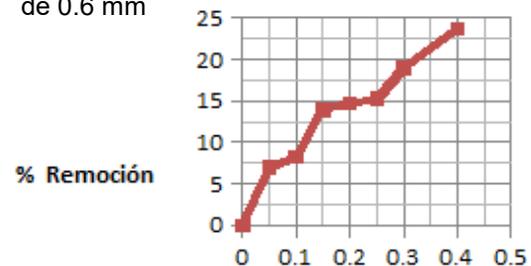


Figura II.

Tendencia de porcentaje de remoción en función de la cantidad con partículas de 0.6 mm



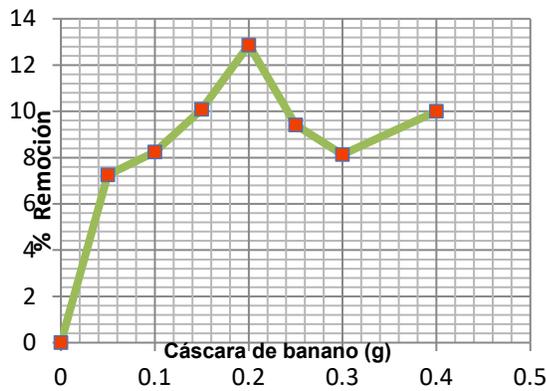
Gráfica III.

Tendencia de porcentaje de remoción en función de la cantidad con partículas de 1.68 mm

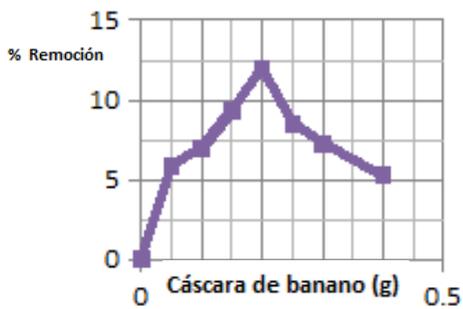
**Evaluación de la capacidad biosortiva de la cáscara de banano en la eliminación de cobre divalente ( $\text{Cu}^{2+}$ ) de solución de sulfato de cobre pentahidratado a escala de laboratorio, mediante espectrofotometría visible**

Fecha enviada: 5 de diciembre del 2021

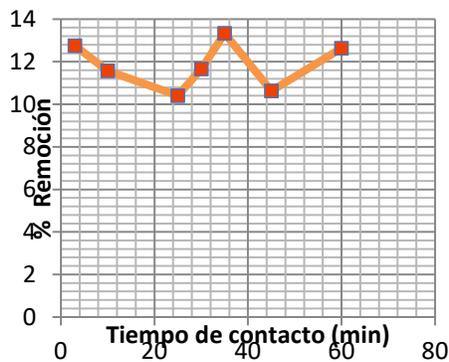
Fecha corregido: 7 de enero del 2022



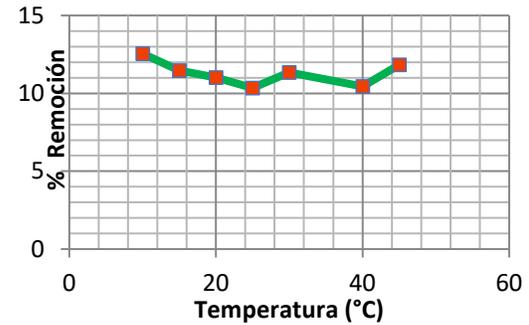
**Figura IV.**  
Tendencia de porcentaje de remoción en función de la cantidad con partículas de 2 mm



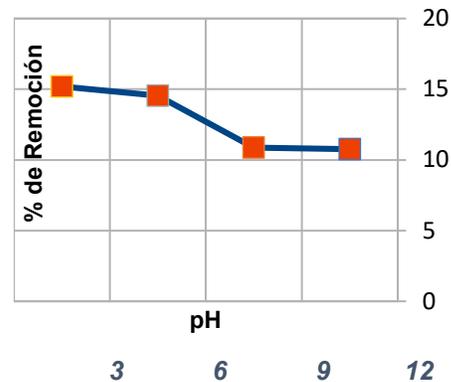
**Figura V.**  
Tendencia de porcentaje de remoción en función del tiempo de contacto



**Figura VI.**  
Tendencia de porcentaje de remoción en función de la temperatura



**Figura VII.**  
Tendencia de porcentaje de remoción en función del pH

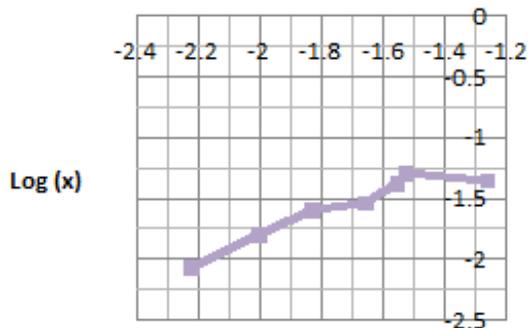


**Figura VIII.**  
Isoterma de Freundlich

## Evaluación de la capacidad biosortiva de la cáscara de banano en la eliminación de cobre divalente ( $\text{Cu}^{+2}$ ) de solución de sulfato de cobre pentahidratado a escala de laboratorio, mediante espectrofotometría visible

Fecha enviada: 5 de diciembre del 2021

Fecha corregido: 7 de enero del 2022

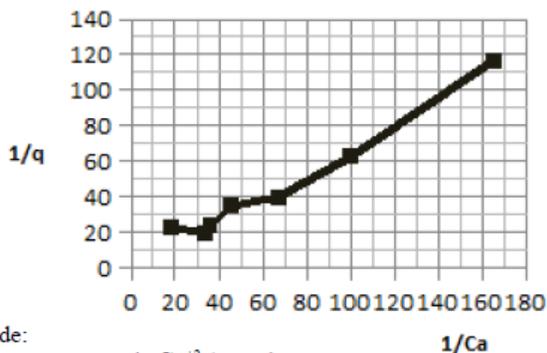


donde:

$$x = \text{g Cu}^{+2} / \text{g sorbato}$$

$$Ca = \text{mol Cu}^{+2} / \text{l}$$

**Figura IX.**  
Isoterma de Langmuir



donde:

$$q = \text{g de Cu}^{+2} / \text{g sorbato}$$

$$Ca = \text{mol Cu}^{+2} / \text{l}$$

### DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Gráfica I muestra la curva de calibración del método espectrofotométrico propuesto; se puede observar una tendencia lineal con un coeficiente  $R^2 = 0.998$ , siendo este un valor aceptable cercano a 1, lo cual demostró que el modelo obtenido es confiable y está listo para poder usarse en la medición de la concentración del ion metálico luego de los distintos tratamientos.

La Gráfica II relaciona el porcentaje de remoción en función de la cantidad de biosorbente al utilizar partículas de tamaño 0.6 mm; el tiempo de contacto

propuesto fue de 3 minutos a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  con  $\text{pH} = 11$ . La tendencia observada muestra que el porcentaje de remoción de cobre divalente aumenta en función de la cantidad de biosorbente; el comportamiento se asemeja a una línea recta, reflejado en el coeficiente de correlación  $R^2 = 0.948$ . Luego de utilizar el método estadístico de análisis de varianzas ANOVA, se corroboró que existen diferencias significativas entre los valores medios del porcentaje de remoción de cobre divalente y las distintas cantidades de cáscara de banano de 0.6 mm con las que se llevó a cabo el análisis.

Las Gráficas III y IV relacionan el porcentaje de remoción de cobre divalente en función de la cantidad de biosorbente, al utilizar partículas de tamaño 1.68 mm y 2 mm respectivamente; el tiempo de contacto propuesto fue de 3 minutos a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  con  $\text{pH} = 11$ . En esta ocasión, las tendencias observadas reflejan que el porcentaje de remoción de cobre divalente aumenta en función de la cantidad de biosorbente hasta utilizar 0.2 gramos, en donde posterior a eso; los porcentajes de remoción de cobre divalente decaen. Los coeficientes de correlación de las gráficas son  $R^2 = 0.908$  y  $R^2 = 0.912$  respectivamente, demostrando que tenían un comportamiento lineal hasta llegar a la cantidad límite de 0.2 gramos.

La Gráfica V relaciona el porcentaje de remoción de cobre divalente en función del tiempo de contacto al utilizar 0.2 gramos de materia prima de tamaño 0.6 mm a  $25\text{ }^\circ\text{C}$  con  $\text{pH} = 11$ . En ella se puede observar que el porcentaje de remoción presenta una tendencia que no varía de manera abrupta conforme avanza el tiempo de contacto ya que se determinó que la capacidad de adsorción de la cáscara de banano llega a su límite en el menor tiempo de contacto evaluado. Posteriormente, se realizó el análisis de varianza ANOVA para los datos de la Gráfica V, y se corroboró que no existen diferencias significativas entre los valores medios del porcentaje de remoción de cobre divalente y los distintos tiempos de contacto a los que se ha llevado a cabo el análisis, con lo cual se puede afirmar que el tiempo de contacto no incide de manera significativa en el porcentaje de remoción de cobre divalente, concluyendo que el tiempo de contacto adecuado para la experimentación con base en lo anterior es de 3 minutos.

## Evaluación de la capacidad biosortiva de la cáscara de banano en la eliminación de cobre divalente ( $\text{Cu}^{+2}$ ) de solución de sulfato de cobre pentahidratado a escala de laboratorio, mediante espectrofotometría visible

Fecha enviada: 5 de diciembre del 2021

Fecha corregido: 7 de enero del 2022

La Gráfica VI relaciona el porcentaje de remoción de cobre divalente en función de la temperatura, al utilizar 0.2 gramos de materia prima de tamaño 0.6 mm con un tiempo de contacto de 3 minutos a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$  con  $\text{pH}=11$ . Presenta una tendencia descendente del porcentaje de remoción conforme la temperatura aumenta; no tuvo cambios notorios. Se considera que el proceso de adsorción realizado es exotérmico, ya que la adición de energía en forma de calor provoca una agitación de los iones y moléculas del sistema, lo cual se traduce en una disminución de retención de estas en la superficie del absorbente. Por otro lado, se realizó el análisis de varianzas ANOVA; demostrando que no existen diferencias significativas entre los valores medios del porcentaje de remoción de cobre divalente y las distintas temperaturas a las que se llevó a cabo el análisis, pudiendo afirmar que, al igual que el tiempo de contacto; la temperatura no incide de manera significativa en el porcentaje de remoción de cobre divalente. Por lo tanto, se determinó que la temperatura para la experimentación, con base en lo anterior, es de  $25^{\circ}\text{C}$ .

En la Gráfica VII se puede observar el porcentaje de remoción de cobre divalente en función del pH al utilizar 0.2 gramos de materia prima de tamaño 0.6 mm, con un tiempo de contacto de 3 minutos a  $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ . La tendencia de la gráfica muestra que mientras menor sea el pH, mejor es el porcentaje de remoción, demostrando que el  $\text{pH}=8$  es el más indicado para trabajar, pero al ser demasiado cercano a la neutralidad, y para no correr riesgos de una reacción de neutralización entre el ácido clorhídrico y el amoniaco, se prefirió tomar el  $\text{pH}=11$  como pH de trabajo más adecuado. Por otro lado, los datos obtenidos fueron analizados mediante el método de análisis de varianzas ANOVA. Se determinó que existen diferencias significativas entre los valores medios del porcentaje de remoción de cobre divalente y los distintos pH a los que se llevó a cabo el análisis, obteniendo como resultado que el pH incide de manera significativa en el porcentaje de remoción del cobre divalente.

Las Gráficas VIII y IX muestran las isotermas de adsorción realizadas, siendo las isotermas de Freundlich y Langmuir, respectivamente. Ambas gráficas presentan un comportamiento lineal, con  $R^2=0.8839$  y  $R^2=0.9717$ , afirmando que la isoterma de Langmuir es más efectiva a la hora de describir el

comportamiento de la biosorción de cobre divalente en la cáscara de banano bajo las condiciones que se determinaron y dieron como resultado el mejor porcentaje de remoción.

### CONCLUSION

- La cáscara de banano puede reducir la concentración de cobre divalente en una solución de sulfato de cobre pentahidratado en un 12% al utilizar 0.2 gramos de cáscara de banano de 0.6 mm, con un tiempo de contacto de 5 minutos a  $25^{\circ}\text{C}$  y  $\text{pH}=11$ .
- El método espectrofotométrico propuesto en la presente investigación es funcional, pero presenta limitaciones en la cantidad de biosorbente a utilizar, debido a la porción de pigmentos del material que interfieren en la lectura.
- Mientras menor sea el tamaño de partícula utilizado en la experimentación, se logran mejores porcentajes de remoción de cobre divalente de una solución de sulfato de cobre pentahidratado.
- La cantidad de biosorbente más adecuada para la remoción de cobre divalente de una solución de sulfato de cobre pentahidratado es de 0.2 gramos en un volumen de 25 mL de solución.
- El tiempo de contacto no incide de manera significativa en la remoción de cobre divalente de una solución de sulfato de cobre pentahidratado por lo que se propone un tiempo de contacto de 3 minutos.
- La temperatura no incide de manera significativa en la remoción de cobre divalente de una solución de sulfato de cobre pentahidratado por lo que se propone una temperatura de trabajo de  $25^{\circ}\text{C}$ .
- El pH para la remoción de cobre divalente de una solución de sulfato de cobre pentahidratado es  $\text{pH}=11$ .
- La isoterma de Langmuir describe de mejor manera la biosorción de cobre divalente en la cáscara de banano en comparación con la isoterma de Freundlich.

### REFERENCIAS

CABARCAS, Henao Esteban. *Extracción y*

**Evaluación de la capacidad biosortiva de la cáscara de banano en la eliminación de cobre divalente (Cu<sup>+2</sup>) de solución de sulfato de cobre pentahidratado a escala de laboratorio, mediante espectrofotometría visible**

Fecha enviada: 5 de diciembre del 2021

Fecha corregido: 7 de enero del 2022

*caracterización de pectina a partir de cáscaras de plátano para desarrollar un diseño general del proceso de producción. Trabajo de graduación. Universidad de Cartagena, Colombia, 2,010.*

CASTELLANOS, Gilbert. *Fisicoquímica.*

*Segunda edición. México: Addison Wesley Iberoamericana, 1998. Págs. Consultadas: 696 -697.*

CHRISTEN, Hans Rudolf. *Fundamentos de la química general e inorgánica. Primera edición. Barcelona. Ed. Reverté, 1986. Págs. Consultadas: 390-391.*

HARRIS, D. C. *Análisis Químico Cuantitativo. Tercera edición. Capítulo 18. Ed. Reverté, 2007.*

HERBERT, Dormond H. *Evaluación preliminar de la cascara de banana Maduro como material de ensilaje, en combinación con pasto King Grass (Pennisetum purpureum) (Nota técnica). Universidad de Costa Rica. Costa Rica, 2011.*

HIGSON, Seamus. *Química analítica. Primera edición. Capítulo 5. Editorial Mc Graw Hill. 2007.*

IZQUIERDO, José. *Cinética de las reacciones químicas. Primera edición. Barcelona, 2004. Págs consultadas: 157 – 161.*

KATZ, Miguel. *Fisicoquímica de superficies. Documento PDF. Departamento de química – Cátedra de química física. Universidad Nacional de Tucumán, Argentina, 2011.*

PERRY, Robert. *Perry's Chemical Engineer's Handbook. Green Don (edit. Lit). Octava edición. E.E.U.U.: McGraw-Hill, 2008. Págs. Consultadas: 2-100 – 2 - 104.*

RODRIGUEZ BONIOLO, Milena. *Biossorção de urânio nas cascas de banana. Trabajo de graduación doctoral. Universidad de Sao Pablo, Brasil. 2008*

SAMPIERI, Roberto. *Metodología de la investigación. Cuarta edición. Capítulo 6 . Editorial Mc Graw Hill. 2006.*