

## Empleo de residuos de Gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) para la bioadsorción de mercurio de aguas sintéticas a concentraciones equivalentes a las generadas por la explotación aurífera.

María Mónica Rocha Caicedo<sup>1</sup>, Isabel Cristina Paz Astudillo<sup>2</sup>, Candelaria Tejada Tovar<sup>3</sup>.

<sup>1</sup>Bióloga, estudiante de Maestría en Ciencias Agroalimentarias, Universidad del Tolima.

<sup>2</sup>Doctora en Ingeniería Automática, Magister en Ingeniería Química, Ingeniera Química, Profesora de tiempo completo, Facultad de Ingeniería Agronómica, Universidad del Tolima.,

<sup>3</sup>Magíster en Ingeniería Ambiental, Magíster en Educación, Especialista en Química Analítica, Ingeniera Química, Profesora de tiempo completo del Programa de Ingeniería Química, Universidad de Cartagena.

Grupo de Investigación: Centro de Desarrollo Agroindustrial del Tolima- CEDAGRITOL.

Email : [mrocha@ut.edu.co](mailto:mrocha@ut.edu.co), [icpaza@ut.edu.co](mailto:icpaza@ut.edu.co), [ctejadat@unicartagena.edu.co](mailto:ctejadat@unicartagena.edu.co)

### RESUMEN

En Colombia las prácticas agrícolas y las actividades agroindustriales han traído consigo la generación de residuos que ocasionan problemas de tipo ambiental. En el caso particular de la Gulupa (*Passiflora edulis f. edulis*) aunque el 70% de la producción nacional es exportada a Europa (Ocampo et al., 2012), también se presentan frutos que no cumplen con los estándares para comercialización. Estos suelen perderse si no se logran comercializar a nivel local y son desechados en las plazas de mercado. Asimismo, las cooperativas locales que procesan la Gulupa para la obtención de productos alimenticios tales como yogurt, generan un alto volumen de cáscara que corresponde al 47% del fruto (Franco, 2013), la cual se convierte en un material más que es desechado. En el presente estudio se evaluó la viabilidad de usar cáscaras de Gulupa (*Passiflora edulis*) para la bioadsorción de mercurio en agua sintética; para ello, se aplicó un diseño experimental factorial 2<sup>2</sup> con una réplica en cada punto y cuatro puntos centrales, las variables fijas fueron el pH (6), la concentración del metal (0,2 ppm), el tiempo de adsorción (4 H), la velocidad de agitación (150 rpm) y la relación biomasa/solución (5gr/L); la variable de respuesta fue la cantidad de metal remanente en la solución, la cual fue detectada por absorción atómica. Las pruebas de adsorción indicaron que el biomaterial (cáscara de Gulupa) logró adsorber hasta un 98,25% del metal de la solución a una condición de temperatura de 28 °C y un diámetro de partícula de 0,8 mm. La biomasa utilizada en los ensayos de adsorción, se encapsuló mediante el proceso de cementación con material portland, para su respectiva disposición final.

**Palabras Claves:** Bioadsorción; Mercurio; manejo de residuos; biomateriales; metales pesados.

# RUMBO 20.30.



26  
NOV

29  
NOV

**CONAMA 2018**  
CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

# RUMBO 20.30.



26  
NOV

29  
NOV

**CONAMA 2018**  
CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE

## ABSTRACT

In Colombia, agricultural practices and agro-industrial activities have brought with them the generation of residues that cause environmental problems, In the particular case of the Gulupa (*Passiflora edulis F. Edulis*), although 70% of domestic production is exported to Europe (Ocampo et al., 2012), there are also fruits that do not meet marketing standards. These are often lost if they cannot be marketed locally and are discarded in the marketplaces. Likewise, the local cooperatives that process Gulupa to obtain food products such as yogurt, generate a high volume of shell corresponding to 47% of the fruit (Franco, 2013), Which becomes another material that is discarded. The present study evaluated the feasibility of using Gulupa peels (*Passiflora edulis*) for the bioadsorption of mercury in synthetic water was evaluated; For this, a factorial experimental design was applied  $2^2$  with a replica in each point and 2 central points, the fixed variables were pH (6), metal concentration (0.2 ppm), adsorption time (4 H), stirring speed (150 rpm) and the biomass/solution ratio (5gr/1L); the response variable was the amount of metal remaining in the solution, which was detected by atomic absorption. Adsorption tests showed that the biomaterial (Gulupa shells) was able to adsorb up to 82.5% of the metal in the solution at a temperature condition of 28 ° C and a particle diameter of 0.8 mm. The biomass used for the adsorption tests was encapsulated by the cementing process with Portland material, for final disposal.

Keywords: Bioadsorption; Mercury; Waste management; Biomaterials; Heavy metals

## INTRODUCCIÓN

La contaminación del recurso hídrico por metales pesados es un problema ambiental que ha tenido un notorio crecimiento, debido a que estos son de uso generalizado y se encuentran frecuentemente en los ecosistemas. Los metales son introducidos a los sistemas acuáticos de forma natural como resultado de la lixiviación de suelos, rocas y erupciones volcánicas (Laws, 1993), o también pueden provenir de las actividades antropogénicas como son, agrícolas, domésticas, industriales y mineras (Mountouris et al., 2002). Las altas concentraciones de metales pesados tales como el mercurio (Hg) pueden atribuirse a la minería, generando un fuerte impacto en el medio ambiente y en la población humana. El mercurio constituye también una problemática ambiental debido a su uso en la minería ilegal aurífera, ya que es un método económico para la extracción del oro.

La intoxicación crónica por mercurio elemental se debe a exposición crónica a los vapores de mercurio, que es la forma más frecuente en el medio laboral tanto en la minería como en la industria (Crespo- López, 2005), produciendo alteraciones en el sistema nervioso central, en donde se pueden presentar síntomas tales como trastornos psíquicos como irritabilidad, ansiedad, temblor, pérdida de las funciones motoras entre otras (Echeverría D, et al, 2005).

De acuerdo con la resolución 2115 de 2007, en Colombia los límites máximos permisibles para mercurio en el agua es

de 0,001 mg/L.

Según Díaz-Arriaga (2014), en algunos municipios de Colombia se han detectado concentraciones de mercurio en aguas superficiales mayores a 0,003 ppm. El uso de mercurio en la extracción del oro en el Tolima constituye un verdadero riesgo ambiental y de salud para los habitantes del departamento. De acuerdo con la Controlaría General de la Nación, en el año 2014 se reportó que la minería ilegal en municipios como Ataco, Ortega y San Luis por medio del dragado, donde se usa indiscriminadamente el mercurio para la extracción de oro, ha conllevado a que se encuentren restos de este metal en algunos peces, personas y en lodos de las quebradas que son vertientes del río Saldaña, lo cual es una preocupación no solo desde el punto de vista ambiental sino de la salud pública.

Por otro lado, la agricultura y agroindustria producen residuos que pueden ocasionar problemas de tipo ambiental y de salud pública. En el caso particular de la Gulupa, (*Passiflora edulis f. edulis*) aunque el 70% de la producción nacional es exportada a Europa (Ocampo et al., 2012), también se presentan frutos que no cumplen con los estándares para su comercialización. Estos suelen perderse si no se logran comercializar a nivel local y son desechados en las plazas de mercado. Así mismo, las cooperativas locales que procesan la Gulupa para la obtención de productos alimenticios tales como yogurt, generan un volumen de cáscara que corresponde al 47% del fruto (Franco, 2013), que también es desechado, lo que ocasiona contaminación por la mala disposición de estos residuos.

Con el fin de proporcionar valor agregado y reducir contaminación por este tipo de residuos, se ha evaluado la aplicación de varias biomásas en procesos de adsorción de metales. Específicamente para la adsorción de mercurio existen por ejemplo estudios con desechos de guayaba manzana (*Psidium guajava*), con los cuales se logró una adsorción de 3.364 mg de metal/g de biomasa en un tiempo de 80 min (Lohani et al., 2008); con espiga de arroz se logró una máxima capacidad de adsorción de iones metálicos de Hg (II) de 0,110 mmol/g, a un pH de 5 y en un tiempo inferior a 90 minutos (Rocha et al., 2009); y con un material carbonaceo a base de cascarilla de arroz modificada con ácido sulfúrico se logró una adsorción máxima de 384,6 mg/g, en 120 min (El-Shafey, 2010).

En ese mismo sentido, este estudio tuvo como finalidad evaluar el uso de la cáscara de Gulupa como bioadsorbente para la remoción de mercurio en cuerpos de agua contaminados por la explotación minera; con el fin de agregar valor a la biomasa, y generar un biomaterial para su aplicación en el tratamiento de aguas, contribuyendo así a reducir el impacto ambiental generado por diferentes actividades económicas tales como la agricultura, la agroindustria y la minería.

## METODOLOGÍA

La investigación se llevó a cabo en el laboratorio de Postcosecha de la Universidad del Tolima (Colombia). La cáscara de Gulupa fue obtenida en el municipio de Cajamarca, el cual es una zona agroindustrial del departamento del Tolima donde se ha identificado la generación masiva del residuo y además,

se desarrolla la actividad minera.

**Preparación del Bioadsorbente:** las cáscaras de Gulupa fueron seleccionadas, lavadas y picadas, posteriormente se secaron en horno a 70°C durante 24 horas. La biomasa seca fue sometida a reducción de tamaño en un molino de martillo y tamizada manualmente.

**Evaluación de la adsorción:** El estudio consistió en evaluar el efecto de la temperatura de proceso, y del diámetro de partícula del biomaterial sobre el porcentaje de mercurio adsorbido. Se implementó un diseño experimental factorial 2<sup>2</sup> con una réplica en cada punto y cuatro puntos centrales; Las condiciones fijas fueron el pH (6), la concentración inicial del metal (0,2 ppm) en la solución, el tiempo de adsorción (4 horas), la velocidad de agitación (150 rpm), el volumen de solución (400 ml) y la relación masa de biomasa /volumen de solución (2 g/L). En la Tabla 1 se presentan las condiciones de operación de cada experimento y su respectiva replica.

**Tabla 1. Condiciones de operación para las pruebas de adsorción.**

<b>Puntos del factorial</b>	0,4	20
	0,8	20
	0,4	28
	0,8	28
<b>Punto central</b>	0,6	24

Para el desarrollo de los experimentos se preparó una solución de cloruro de mercurio con una concentración de 0,2 ppm del metal; lo anterior, con el fin de evaluar el proceso de bioadsorción sobre concentraciones similares a las generadas por la explotación aurífera. El pH de la solución fue ajustado con hidróxido de sodio y ácido clorhídrico. Luego, 400 ml de la solución se pusieron en contacto con 2 gramos de la biomasa en un erlenmeyer durante 4 horas, a temperatura constante y agitación continua.

Una vez concluido el experimento, la solución fue pasada por un filtro de tela y posteriormente filtrada al vacío. La fase líquida fue almacenada en frascos ámbar y enviada para análisis por absorción atómica. La fase sólida fue secada a temperatura ambiente y almacenada en bolsas herméticamente selladas para su posterior disposición final.

A partir de la concentración inicial de mercurio en la solución, y de la concentración remanente detectada en la fase líquida, se calculó el porcentaje de

metal adsorbido sobre la biomasa. Los datos fueron ajustados a un modelo y analizados estadísticamente.

**Disposición final de los residuos:** para la disposición final de la biomasa contaminada con el metal, el biomaterial fue encapsulado en concreto tipo portland. Para ello, se realizó la construcción de cilindros de concreto mediante moldes de PVC de 4 pulgadas de diámetro y una altura de 30 cm aproximadamente. La dosificación de la preparación del concreto consistió en una mezcla de cemento portland (18,1%) arena (30,6%), y grava de (43,2%). La fabricación de cada cilindro se realizó de manera manual adicionándose primero una capa de la mezcla, posteriormente se agregó el biomaterial y luego se terminó de llenar el molde con el concreto, esto con el fin de encapsular el metal dentro de los cilindros. Dichos cilindros se dejaron en fraguado durante 28 días.

Posteriormente, el bloque fue triturado en partes pequeñas con el fin de realizarle una prueba de lixiviación. Para ello, se preparó una solución de ácido sulfúrico y ácido nítrico (60/40 en peso) en 1 L de agua destilada, pH 4. En 250 ml de la solución se sumergieron 12 g del bloque triturado durante 20 horas con agitación continua a 115 rpm. Luego, la mezcla fue filtrada, y la fase líquida se envió a laboratorio para análisis por absorción atómica.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Según los resultados experimentales, para las condiciones de operación

estudiadas, se logró una adsorción de mercurio entre 95,35 y 98,38%. El mayor porcentaje de adsorción se observó a las mayores condiciones de temperatura y de diámetro de partícula.

Estas observaciones, concuerdan con lo descrito por Marichelvam, M.K. & Azhagurajan, A. (2018), quienes indicaron que a mayor temperatura se registra una mejor capacidad de adsorción del mercurio con cáscaras de plátano, lo que sugiere un proceso endotérmico. Esta tendencia indica que al aumentar este parámetro hay un mayor número de sitios activos que participan en el enlace con el compuesto o que existe una mayor afinidad adsorbente/adsorbato.

No obstante, el análisis de varianza (ANOVA) de los datos experimentales indicó que en la región de condiciones explorada, no es significativo el efecto de la temperatura y del diámetro de partícula sobre el porcentaje de mercurio adsorbido; y que tampoco se observa interacción entre estos factores (Ver Tabla 2).

**Tabla 2. Análisis de varianza de datos de adsorción de mercurio sobre cáscara de Gulupa.**

Fuente de variación	SS	df	MS	Fo, $\alpha=0.05$
Temperatura	0,90	1	0,903	3,66
Diámetro de partícula	0,06	1	0,063	0,25
Interacción entre temperatura y diámetro de partícula	0,90	1	0,903	3,66

Curvatura			
Error	0,74	3	0,247
Total	2,7893	7	

Esto permitió suponer que la capacidad de adsorción de la cáscara de Gulupa es similar a las condiciones de temperatura y diámetro de partícula estudiadas, cuando el mercurio se encuentra en concentraciones cercanas a 0.2 ppm.

Del ANOVA se determinó el modelo descrito por la Ec. (1), con un coeficiente de correlación,  $R^2$ , de 0,734. El modelo refleja el poco efecto de la temperatura y del diámetro de partícula sobre el porcentaje de adsorción del metal. Sin embargo, este modelo solo da cuenta del 73,4 % de variabilidad de los datos. Se considera que esta variabilidad pudo ser consecuencia de imprecisiones en la detección de cantidades tan bajas del metal en la solución.

$$\hat{Y} = 97,274 + (0,475 * X_1) + (-0,125 * X_2) + (0,475 * X_1 * X_2)$$

Ec. (1).

Donde,  $X_i$  corresponde a las variables parametrizadas.

$X_1$ : Temperatura

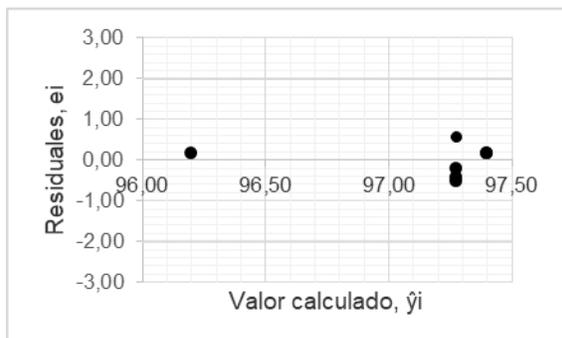
$X_2$ : Diámetro de partícula

$\hat{y}$ : Porcentaje de mercurio adsorbido

En la Gráfica 1 se presentan los residuales  $e_i$  entre los valores de porcentaje de adsorción experimentales, y los predichos por el modelo,  $\hat{y}_i$ . El comportamiento de los datos demostró que estos se encuentran normalmente distribuidos, lo cual permite concluir la adsorción lograda en la región de

condiciones estudiadas es en promedio del 97%.

### Grafica 1. Residuales, $e_i$ Vs porcentaje de adsorción de mercurio



### Disposición final de los residuos

La prueba de lixiviación realizada, después de 28 días, al sistema de encapsulamiento de las biomásas contaminadas con mercurio, no evidenció concentraciones perceptibles del metal en la solución. Sin embargo no es posible garantizar estos resultados para períodos de tiempo más prologados y condiciones ambientales variables y adversas.

### CONCLUSIONES

Se logró una remoción del 98.38% de mercurio (Hg) con polvo de cáscara de Gulupa, al llevar a cabo el proceso de bioadsorción con una relación masa volumen de 5g/L, pH inicial de 6, tiempo de contacto de 4 horas, tamaño de partícula de 0,8mm y una temperatura de 28 °C.

Los resultados demostraron alta capacidad que posee la cáscara de Gulupa para la remoción de mercurio (Hg) en solución acuosa, destacando su potencial uso para tratamientos de

efluentes contaminados debido a la minería aurífera.

### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen:

A La Oficina de Investigaciones y Desarrollo Científico de la Universidad del Tolima por el apoyo económico al proyecto "Evaluación de la capacidad de adsorción de algunas biomásas residuales para la remoción de mercurio en aguas sintéticas con concentraciones equivalentes a las generadas por la explotación aurífera" código: 230230516.

Al Laboratorio de Postcosecha de la Universidad del Tolima por su colaboración y disposición en el préstamo de equipos y espacios para la ejecución del trabajo.

### BIBLIOGRAFÍA

Crespo-López ME. (2005) Mercurio y neurotoxicidad. *Rev Nerol.* 2005;40(7):441-7.

Díaz-Arriaga, Farith A. (2014). Mercurio en la minería del oro: impacto en las fuentes hídricas destinadas para consumo humano. *Revista de Salud Pública*, 16(6), 947-957. <https://dx.doi.org/10.15446/rsap.v16n6.45406>

Echeverria D, Woods JS, Heyer NJ, Rohlman DS, Farin FM, Bittner AC, et al. (2005). Chronic low-level mercury exposure, BDNF polymorphism, and associations with cognitive and motor function. *Neurotoxicology and Teratology.* 2005 27:781 - 96.

El-Shafey, E. (2010). Removal of Zn(II)

and Hg(II) from aqueous solution on a carbonaceous sorbent chemically prepared from rice husk. *Journal of Hazardous Materials* 175, 319–327.

Franco, G. (2013). Caracterización fisiológica del fruto de gulupa (*Passiflora edulis* Sims), en condiciones del Bosque Húmedo Montano Bajo de Colombia. Tesis para optar al título de Doctor en Ciencias Agrarias. Universidad Nacional de Colombia. Facultad de Ciencias Agrarias. Medellín, Colombia 173 páginas.

Laws EA, (1993). *Aquatic Pollution: an Introductory Text*. John Wiley & Sons, Inc., New York. 611pp.

Lohani, M., Singh, A., Rupainwar, D., & Dharc, D (2008). Studies on efficiency of guava (*Psidium guajava*) bark as bioadsorbent for removal of Hg (II) from aqueous solutions. *Journal of Hazardous Materials* 159, 626–629.

Marichelvam, M.K. & Azhagurajan, A. (2018). Removal of Mercury from Effluent Solution by using Banana Corm and Neem Leaves Activated Charcoal. *Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management*. 10. 10.1016/j.enmm.2018.08.005.

Mountouris, A., E Voutsas & D. Tassios. (2002). Bioconcentration of heavy metals in aquatic environments: the importance of bioavailability. *Mar. Poll. Bull.*, 44: 1136-1141.

Ocampo, J.; Parra M.; Casas, A.(2012). Costos de producción y comercialización de la Gulupa. *Tecnología para el cultivo de la gulupa (*Passiflora edulis* f. *edullis* Sims) en Colombia.*

Resolución 2115. Por medio de la cual se señalan características, instrumentos básicos y frecuencias del sistema de control y vigilancia para la calidad del agua para consumo humano. Bogotá D. C. Ministerio de la protección social - ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial. 22 de junio de 2007.

Rocha, C., Morozin, D., Da Silva, R., & Da Silva, A.(2009). Use of rice straw as biosorbent for removal of Cu(II), Zn(II), Cd(II) and Hg(II) ions in industrial effluents. *Journal of Hazardous Materials* 166, 383–388.

# RUMBO 20.30.



26  
NOV

29  
NOV

**CONAMA 2018**  
CONGRESO NACIONAL DEL MEDIO AMBIENTE