

# Bioacumulación de mercurio en vegetación proveniente de zonas contaminadas, en minas inactivas de El Arenal y Puente Roto, estado Bolívar, Venezuela.

## Bioaccumulation of mercury in vegetation from contaminated areas in inactive mines of El Arenal and Puente Roto, Bolivar State, Venezuela.

Méndez, Fernando<sup>1\*</sup>; Rondón, Carlos<sup>1</sup>; Ayala, Carlos<sup>1</sup>; Díaz, Wilmer<sup>2</sup>; Silva, Frank<sup>3</sup>; Miliani, Luisana<sup>1</sup>; Salcedo, Mariana<sup>1</sup>; Ruiz, Juan<sup>1</sup>; Yaguare, Ana<sup>1</sup>.

<sup>1</sup> Laboratorio de Espectroscopia Molecular, Departamento de Química, Facultad de Ciencias, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela.

<sup>2</sup> Centro de Investigaciones Ecológicas de Guayana, Universidad Nacional Experimental de Guayana, Bolívar 8050, Venezuela

<sup>3</sup> Departamento de Análisis y Control, Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de los Andes, Mérida 5101, Venezuela

\* mendezpfj@gmail.com

### Resumen

*En el estado Bolívar, conocido por sus actividades mineras, se llevó a cabo un estudio para medir los niveles de mercurio en plantas ubicadas en las minas inactivas El Arenal y Puente Roto. Se analizó con un método de generación de vapor frío por espectroscopia de absorción atómica (CV-AAS) con las siguientes características analíticas: límite de detección 0,15 µg/l, límite de cuantificación 0,5 µg/l, intervalo lineal (0,5-8) µg/l, se encontró presencia de mercurio en la mayoría de las especies, Para las especies "Clavel Asteraceae sp", "Huevo de Gato Solamnum sp.", "San José Jacaranda sp.", "Clavel de Pozo Ludwigia L." y "Lacre Hoja Grande Vismia sp." la concentración de mercurio es superior en las raíces, para las especies "Yagrumo Cecropia peltata L." y "Tabaquillo Solanum sp." la concentración más alta de mercurio se encontró presente en las hojas, entre todas las especies se hizo notable la "San José Jacaranda sp", la cual tiene una capacidad de absorción del mercurio en sus raíces, alcanzando valores superiores a los 3320 µg/kg, respecto a las hojas y el tallo.*

**Palabras clave:** absorción atómica, contaminación, mercurio, fitoremediación.

### Abstract

*In the Bolívar state, known for its mining activities, a study was carried out to measure mercury levels in plants located in the inactive El Arenal and Puente Roto mines. It was analyzed with a cold vapor generation by atomic absorption spectroscopy (CV-AAS) method with the following analytical characteristics: detection limit 0.15 µg/l, quantification limit 0.5 µg/l, linear range (0,5-8) µg/l, the presence of mercury was found in most of the species. For the species "Clavel Asteraceae sp", "Cat's Egg Solamnum sp.", "San José Jacaranda sp.", "Clavel de Well Ludwigia L." and "Big Leaf Wax Vismia sp." The concentration of mercury is higher in the roots, for the species "Yagrumo Cecropia peltata L." and "Tabaquillo Solanum sp." The highest concentration of mercury was found in the leaves. Among all the species, "San José Jacaranda sp" was notable, which has a mercury absorption capacity in its roots, reaching values higher than 3320 µg/kg, regarding the leaves and stem.*

**Keywords:** atomic absorption, pollution, mercury, phytoremediation.

## 1 Introducción

El mercurio es un elemento natural presente en la corteza terrestre y también se encuentra en la biosfera a niveles bajos. Su absorción por parte de las plantas puede explicar su presencia en combustibles fósiles como el carbón, el petróleo y el gas. El crecimiento y desarrollo de las actividades mineras han generado un gran impacto ambiental, especialmente sobre zonas de bosque, involucrando cuerpos de agua y suelos, esto debido al manejo inadecuado de este metal pesado en la extracción de minerales (Herrmann et al. 2014). Es por ello, que se hace necesario el desarrollo de metodologías amigables con el ambiente, que sean utilizadas para extraer minerales y de esta forma se logre reformar los bosques a su estado natural.

Considerando que el mercurio es un metal pesado, y que este tipo de elemento, así como, los metaloides y los radio-núclidos pueden ser inmovilizados por las plantas por medio de fitoestabilización, fitoextracción o fitofiltración (Molero, 2023). Se hace necesario diseñar procedimientos ecotecnológicos como lo es la fitoremediación de desechos o almacenamiento de biomasa contaminada por sustancias tóxicas, debido a que estos elementos no se metabolizan, sino que se acumulan como biomasa (Romero, 2017).

Esto debido a que la acumulación de mercurio en las plantas es un fenómeno importante que afecta tanto la salud del ecosistema como la seguridad alimentaria (González et al. 2014), pues a medida que los animales u otros organismos se alimentan de estas plantas o pequeños organismos, acumulan el mercurio en sus tejidos.

Por otra parte, la fitoremediación aprovecha la capacidad de las plantas para remover, reducir, transformar, mineralizar, degradar, volatilizar o estabilizar contaminantes presentes en el suelo, aire, agua o sedimentos (Delgadillo et al. 2011) ofreciendo ventajas en relación con los métodos físico-químicos, por ejemplo, su amplia aplicabilidad y bajo costo. La elección de plantas para la fitoremediación debe basarse en factores como la tolerancia al mercurio, la velocidad de crecimiento y la facilidad de manejo (Cano, 2012). Además, siempre es importante considerar las condiciones específicas del sitio antes de implementar cualquier estrategia de fitoremediación (sea fitoextracción, fitodegradación, rizofiltración, fitoestabilización o fitovolatilización).

Venezuela es un país de extraordinaria biodiversidad, con una rica variedad de flora y fauna, donde al tener una gran variedad de plantas endémicas, estas se deben proteger y preservar no solo para el bienestar del país, sino de todo el mundo (Salvador et al. 2005), ya que deben existir especies que sean capaces de emplearse en la fitoremediación de los espacios comprometidos por la contaminación.

Para identificar especies de plantas con un alto potencial de acumulación de mercurio y así mitigar el impacto ambiental de los metales utilizados en la minería artesanal, se propone evaluar diversas especies autóctonas de la zona en estudio. El objetivo es observar el comportamiento del mercurio en estas plantas y determinar cuáles son más efectivas para la fitoremediación de agua y suelo. De esta manera, se busca mejorar la calidad del medio ambiente de forma efectiva y segura, sin trasladar el problema a otras áreas.

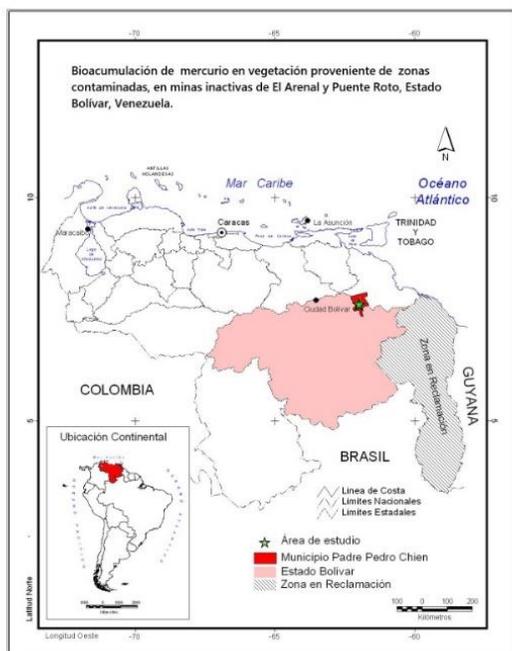
## 2 Procedimiento Experimental

En este trabajo se utilizó para tomar las medidas de absorbancia un espectrofotómetro de absorción atómica Perkin – Elmer modelo 3100 Norwalk Ct USA, controlado mediante un programa Perkin – Elmer, modelo “3100 Enhanced Data System”. Como unidad de atomización se utilizó una celda de cuarzo en forma de ‘T’, y como fuente de radiación una lámpara de cátodo hueco de mercurio marca Perkin Elmer. La longitud de onda empleada fue de 253,7 nm para el elemento en estudio (Hg), con un ancho de rendija para todas las medidas de 0,7 nm. Los experimentos fueron realizados utilizando un sistema de flujo continuo, utilizando un separador de fases de 7 cm de longitud x 2 cm de d.i., con 22 mL de capacidad, hecho de vidrio en el laboratorio.

Todas las soluciones fueron preparadas con reactivos de la más alta pureza disponible y de grado analítico. Se utilizó, ácido nítrico de LABOQG Reagent con un 83% de pureza, peróxido de hidrógeno de Sigma-Aldrich con un (34,5 - 36,5) % de pureza, ácido clorhídrico de Riedel-de Haen con un 37 % de pureza, borohidruro de sodio de Sigma con un 98 % de pureza e hidróxido de sodio de Riedel-de Haen. El agua empleada para la preparación de soluciones y lavado de material de laboratorio, fue doblemente destilada y desionizada con resistividad específica de 18 M  $\Omega$ .cm, obtenida en un sistema Millipore Milli-Q plus. Para las soluciones de la curva de calibración, se preparó una solución estándar de 1000 mg/L de  $Hg^{2+}$  a partir de óxido de mercurio (II)  $HgO$  marca Merck con un 97 % de pureza.

En la planificación del muestreo en la ubicación señalada en la figura 1 se consideraron (02) dos minas inactivas denominadas: El Arenal y Puente Roto. La recolección de las plantas (cinco muestras de cada material vegetal) se llevó a cabo de forma aleatoria, bordeando las lagunas formadas por el proceso de la minería. No obstante, se establecieron dos zonas de trabajo; primer segmento de 0 - 10 mts (S1), un segundo segmento de 10 – 20 mts (S2) y un tercer segmento de 20 – 30 mts (S3) hasta el borde del bosque. En el caso de la mina El Arenal, para S1 se encontraron las siguientes especies: *Cyperus luzulae* L., *Calea* sp, *Emilia* sp, *Cyperus* sp, *Vismia* sp (hoja pequeña), *Cecropia peltata* L. Y en el S2, se ubicaron las siguientes especies: *Pentaclethra macroloba* (Willd.) Kuntze, *Vismia* sp (hoja pequeña), *Calea* sp, *Piper*

sp, *Cecropia peltata* L, *Pityrogramma calomelanos* (L.) Link. Finalmente en S3, se ubicaron las siguientes especies: *Vismia* sp (hoja pequeña), *Calea* sp, *Piper* sp, *Cecropia peltata* L, *Pityrogramma calomelanos* (L.) Link.



**Fig 1.** Mapa de ubicación de los puntos de muestreo de las minas.  
Location map of mine sampling points.

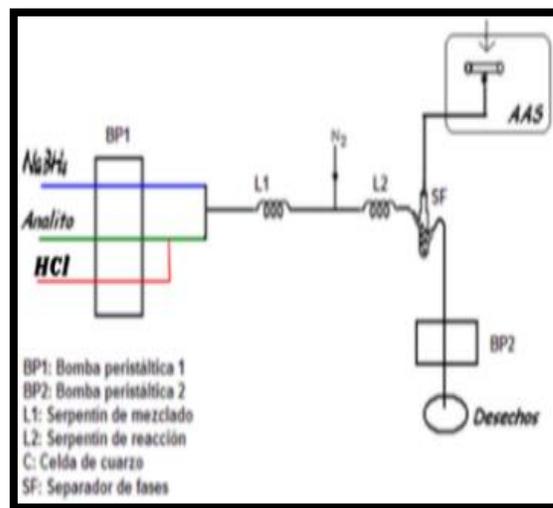
Con respecto, de la mina inactiva Puente Roto se recolectaron las plantas de la misma forma donde para el caso S1, se encontraron las especies: *Pterocarpus* sp, *Cyperus* sp (grande), *lalea* sp, *Ludwigia* L, *Asteraceae* Giseke, *Cyperus luzulae* L., *Calea* sp, *Ludwigia* L (fruto globozo). De la misma forma para el caso de S2, se localizaron las siguientes especies: *Pterocarpus* sp, *Rubiaceae* Juss, *Cyperus* sp, *Eclipto* sp, *Perama* sp, *Sahovajecea*, *Vismia* sp (hoja pequeña), *Lasmiaceae* y *Asteraceae*.

Adicional a esto, se escogieron 7 especies comunes entre las dos minas inactivas Puente Roto y El Arenal para ser muestreadas por separado de manera aleatoria en cada una de las minas inactivas, estas fueron *Clavel Asteraceae* sp, *Guevo de Gato Solamnnun* sp, *San José Jacaranda* sp, *Yagrumo Cecropia peltata* L, *Tabaquillo Solanum* sp, *Clavel de Pozo Ludwigia* L, *Lacre Hoja Grande Vismia* sp. Para la determinación de mercurio, las muestras de planta se recolectaron en bolsas de papel para su transporte, estas fueron secadas, trituradas y tamizadas para su posterior análisis.

Con respecto al tratamiento de las muestras, fue una propuesta basada en la experticia del Laboratorio de Espectroscopia Molecular, y la misma se llevó a cabo de la siguiente

forma: se tomaron 0,05 g de masa vegetal, se colocaron en un balón de digestión de 25 mL, se añadieron 4 mL de ácido nítrico, y se colocaron en una plancha de calentamiento durante 1 h a 45 °C, luego se le agregan 1 mL de peróxido de hidrógeno donde posteriormente, se pone a digestar la muestra durante 4 h y 45°C.

Los experimentos fueron realizados utilizando el sistema de flujo continuo mostrado en la figura 2, realizados mediante un procedimiento del Laboratorio de Espectroscopia Molecular (Vielma et al. 2007), utilizando el sistema de flujo continuo. Las soluciones de los patrones o la muestra (flujo 6,0 mL/min) se acidifican con HCl 1 M y luego esta se combina con el agente reductor NaBH<sub>4</sub> 0,75 % m/v y NaOH 0,5 % m/v, para pasar por los serpentines de mezclado y reacción L1 (24 cm de longitud) y L2 (18 cm de longitud), para la generación de las especies volátiles de mercurio. Luego de esto, las especies MeHg y HgO generadas son separadas de la fase líquida y transportadas con la ayuda del gas de arrastre (Nitrógeno, 150 mL/min) hacia la celda de cuarzo, para luego medir la absorbancia de los átomos del analito.



**Fig 2.** Sistema de Flujo Continuo empleado en los experimentos realizados.

Continuous Flow System used in the experiments.

### 3 Discusión y Resultados

Utilizando el método de análisis desarrollado para el mercurio, se presenta en la tabla 1 los resultados obtenidos para la curva de calibración sencilla y adición estándar realizada para las 6 diferentes concentraciones en ppb (0,5, 1, 2, 4, 6 y 8 µg/l).

**Tabla 1.** Resultados obtenidos para las curvas de calibración para el análisis de mercurio en plantas.

Results obtained for the calibration curves for mercury analysis in plants.

Curva de calibración sencilla		Curva de adición estándar	
Pendiente (m)	$(0,0102 \pm 0,0008)$	Pendiente (m)	$(0,0153 \pm 0,0002)$
Corte (b)	$(0,0010 \pm 0,0003)$	Corte (b)	$(0,0697 \pm 0,0003)$
Coefficiente de Correlación lineal ( $R^2$ )	0,9996	Coefficiente de Correlación lineal ( $R^2$ )	0,9967

Para corroborar la ausencia de efectos de matriz se realizó la curva de adición de estándar sobre un pool de muestras de planta de la zona, asimismo se lleva a cabo un estudio estadístico con el fin de comparar la pendiente de la curva de calibración sencilla. El estudio efectuado corresponde al estadístico “t” de Student, el cual consiste en la asociación de dos variables comparando dos coeficientes de regresión o pendientes para estimar con un 95 % de confianza (Crespo, 2017). Una vez aplicado la prueba estadística se tiene que la zona de aceptación (ZA) para hipótesis de igualdad de las pendientes:  $ZA: \{0,46 < 2,12\}$ . Debido a que el valor de “t” calculado es menor que el “t” teórico, se acepta la hipótesis nula indicando que no existe diferencia significativa entre las pendientes bajo evaluación, asimismo, se puede indicar que el método propuesto está libre de interferencias de tipo físico y químico por parte de la matriz (Miller et al. 2002).

A continuación, en la tabla 2 se presentan las figuras de mérito del método utilizado para la determinación de mercurio en plantas.

**Tabla 2.** Figuras de mérito del método utilizado.  
Figures of merit of the method used.

Parámetro	Valor establecido
Límite de detección	0,15 $\mu\text{g/L}$
Límite de cuantificación	0,5 $\mu\text{g/L}$
Intervalo lineal	(0,5-8) $\mu\text{g/L}$

Con el fin de evaluar la precisión del método se calculó la desviación estándar relativa (RSD), para ello se procedió a realizar el cálculo de las concentraciones de una muestra de planta dopada con una muestra certificada Standard Reference Material 1575 PINE NEEDLES a tres distintas concentraciones 2, 4 y 6  $\mu\text{g/l}$ . La desviación estándar relativa se encuentra en 1 % según los datos de la tabla 3.

**Tabla 3.** Valores de concentraciones de mercurio para 2, 4 y 6  $\mu\text{g/L}$ .  
Mercury concentration values for 2, 4 and 6  $\mu\text{g/L}$ .

Parámetro	Concentración ( $\mu\text{g/L}$ )		
Porcentaje (%)	2*	4*	6*
Réplica 1	$(2,02 \pm 0,02)$	$(4,03 \pm 0,04)$	$(6,04 \pm 0,05)$
Réplica 2	$(2,03 \pm 0,02)$	$(4,04 \pm 0,06)$	$(6,06 \pm 0,06)$
Réplica 3	$(2,02 \pm 0,01)$	$(4,02 \pm 0,06)$	$(6,02 \pm 0,05)$
Promedio	$(2,02 \pm 0,01)$	$(4,03 \pm 0,04)$	$(6,04 \pm 0,05)$
% RDS	1	1	1

\*  $n = 3$ , ( $\bar{X} \pm DS$ )

Además, se realizó sobre tres muestras de planta de una muestra certificada Standard Reference Material 1575 PINE NEEDLES a tres distintas concentraciones 2, 4 y 6  $\mu\text{g/l}$ , con la metodología anteriormente descrita durante 10 días para un total de 30 réplicas. Allí la desviación estándar relativa se encuentra entre 1 - 2 % esto se observa a continuación la tabla 4.

**Tabla 4.** Valores de concentraciones de mercurio en 10 réplicas durante 10 días para 2, 4 y 6 µg/L.

Values of mercury concentrations in 10 replicates over 10 days for 2, 4 and 6 µg/L.

Parámetro	Concentración (µg/L)		
	2*	4*	6*
Réplica 1	(2,02 ± 0,02)	(4,04 ± 0,05)	(6,07 ± 0,05)
Réplica 2	(2,04 ± 0,02)	(4,04 ± 0,05)	(6,08 ± 0,06)
Réplica 3	(2,02 ± 0,04)	(3,89 ± 0,04)	(6,08 ± 0,04)
Réplica 4	(2,05 ± 0,02)	(4,07 ± 0,04)	(6,07 ± 0,05)
Réplica 5	(2,04 ± 0,03)	(4,02 ± 0,03)	(6,10 ± 0,05)
Réplica 6	(2,03 ± 0,01)	(4,06 ± 0,02)	(6,08 ± 0,05)
Réplica 7	(2,05 ± 0,02)	(4,04 ± 0,03)	(6,08 ± 0,04)
Réplica 8	(2,03 ± 0,02)	(4,06 ± 0,03)	(6,02 ± 0,06)
Réplica 9	(2,06 ± 0,01)	(4,06 ± 0,04)	(6,05 ± 0,07)
Réplica 10	(2,06 ± 0,02)	(3,89 ± 0,04)	(6,10 ± 0,06)
Promedio	(2,04 ± 0,01)	(4,02 ± 0,06)	(6,07 ± 0,02)
% RDS	1	2	1

\*  $n = 10$ , ( $\bar{X} \pm DS$ )

En cuanto a los estudios de exactitud se procedió a realizar el cálculo de los porcentajes de recuperación a tres muestras de planta certificada Standard Reference Material 1575 PINE NEEDLES como se observa en la tabla 5. Allí el error porcentual relativo se encuentra entre 3 y 4 %, además se observa los porcentajes de recuperación los cuales se encuentran entre 99 y 102 % con respecto a la muestra real.

**Tabla 5.** Valores de Porcentajes de recuperación de muestra certificada. Percentage recovery values of certified sample.

Parámetro	Concentración (µg/L)		
	2	4	6
Réplica 1	(100 ± 1)	(100 ± 1)	(102 ± 2)
Réplica 2	(101 ± 1)	(99 ± 1)	(102 ± 1)
Réplica 3	(102 ± 1)	(100 ± 1)	(101 ± 1)
Promedio	(101 ± 1)	(100 ± 1)	(102 ± 2)
Error porcentual relativo	3	4	3

\*  $n = 3$ , (% de Recuperación ± DS)

Ahora, abordando el análisis de las muestras de plantas se presenta en la tabla 6 los resultados de las determinaciones de mercurio en las muestras de la Mina inactiva El Arenal, así como de la Mina Puente Roto.

**Tabla 6.** Resultados obtenidos de la presencia de mercurio en muestras de planta tomados en la mina inactiva El Arenal y en la mina inactiva Puente Roto, a diferentes distancias tomando como referencia la laguna.

Results obtained for the presence of mercury in plant samples taken at the inactive El Arenal mine and at the inactive Puente Roto mine, at different distances using the lagoon as a reference.

Distancia de la Laguna	El Arenal	Puente Roto
	Concentración (µg/kg)*	Concentración (µg/kg)*
0-10 mts	(866 ± 10)	(1542 ± 18)
10-20 mts	(694 ± 14)	(1068 ± 6)
20-30 mts	(440 ± 14)	(660 ± 10)

\*  $n = 5$ , ( $\bar{X} \pm DS$ )

Realizando una diferenciación por especies, en la siguiente tabla se encuentran los resultados de las determinaciones de mercurio en las muestras de planta por especies de las minas inactivas El Arenal y Puente Roto.

Con los datos presentados previamente, se evaluó una meto-

dología para la determinación de mercurio en plantas utilizando una muestra certificada Standard Reference Material 1575 PINE NEEDLES, cuya exactitud arroja porcentajes de recuperación promedio del mercurio en plantas entre el 99 % y 102 %.

**Tabla 7.** Resultados obtenidos de la presencia de mercurio en muestras de planta diferenciadas por especie.

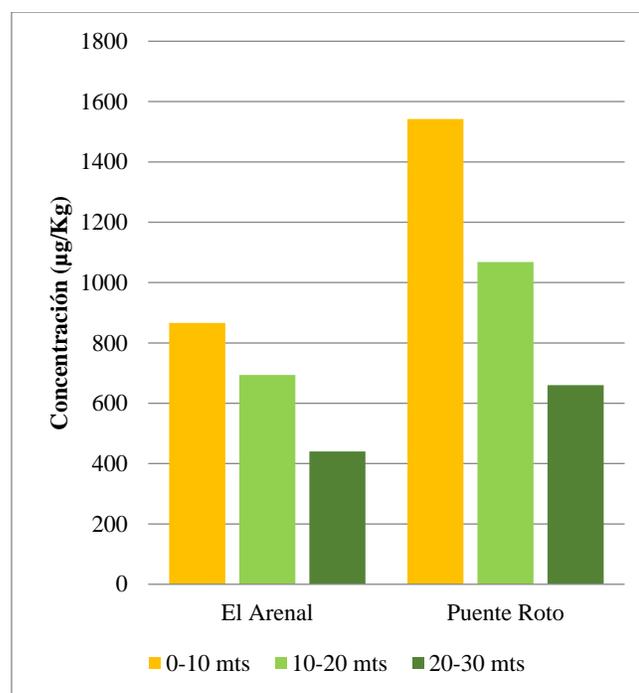
Results obtained for the presence of mercury in plant samples by species.

Especie	El Arenal			Puente Roto		
	Hoja Con- cen- tra- ción ( $\mu\text{g}/\text{k}\text{g}$ *)	Tallo Con- cen- tra- ción ( $\mu\text{g}/\text{k}\text{g}$ *)	Raíz Con- cen- tra- ción ( $\mu\text{g}/\text{k}\text{g}$ *)	Hoja Con- cen- tra- ción ( $\mu\text{g}/\text{k}\text{g}$ *)	Tallo Con- cen- tra- ción ( $\mu\text{g}/\text{k}\text{g}$ *)	Raíz Con- cen- tra- ción ( $\mu\text{g}/\text{k}\text{g}$ *)
<i>Clavel Astera- ceae</i> sp.	(562 $\pm$ 10)	(516 $\pm$ 16)	(832 $\pm$ 20)	(570 $\pm$ 16)	(694 $\pm$ 14)	(1240 $\pm$ 10)
<i>Huevo de Gato Solanum</i> sp.	(708 $\pm$ 14)	(744 $\pm$ 22)	(698 $\pm$ 20)	(924 $\pm$ 10)	(1000 $\pm$ 12)	(1042 $\pm$ 10)
<i>San José Jacaranda</i> sp.	(438 $\pm$ 26)	(758 $\pm$ 24)	(3320 $\pm$ 98)	(606 $\pm$ 18)	(789 $\pm$ 10)	(2702 $\pm$ 52)
<i>Yagrumo Cecropia peltata</i> L.	(1300 $\pm$ 11)	(772 $\pm$ 12)	(876 $\pm$ 14)	(1512 $\pm$ 10)	(1310 $\pm$ 15)	(1061 $\pm$ 20)
<i>Tabaquillo Solanum</i> sp.	(1260 $\pm$ 18)	(712 $\pm$ 20)	(596 $\pm$ 15)	(1476 $\pm$ 20)	(988 $\pm$ 10)	(870 $\pm$ 8)
<i>Clavel de Pozo Ludwigia</i> L.	(840 $\pm$ 15)	(836 $\pm$ 11)	(1236 $\pm$ 20)	(1034 $\pm$ 12)	(1156 $\pm$ 14)	(1584 $\pm$ 12)
<i>Lacre Hoja Grande Vismia</i> sp.	(670 $\pm$ 12)	(850 $\pm$ 10)	(1550 $\pm$ 16)	(870 $\pm$ 14)	(1094 $\pm$ 10)	(1698 $\pm$ 16)

\*  $n = 5$ , ( $\bar{X} \pm DS$ )

Hecho esto, se estudió la relación existente entre la concentración de mercurio presente en las plantas y su cercanía con la laguna perteneciente a las minas inactivas de El Arenal y Puente Roto, pues este corresponde a un indicador claro de la dispersión existente de mercurio en la zona.

Como resultado, se obtuvo que a medida que aumentaba la distancia respecto a la laguna, disminuía la concentración de mercurio presente en las muestras de plantas para ambas minas, como puede ser apreciado en la figura 3, esto debido a que la zona donde fue intervenida por la minería ilegal fue probablemente la laguna ya que allí es donde se realizaban los lavados con mercurio para recolectar oro. Además de ello, es notorio como la concentración de mercurio en las plantas tomadas de la mina inactiva Puente Roto, tienen una concentración mayor que las de la mina inactiva El Arenal probablemente esto sea debido a que la mina inactiva El Arenal posee mayor tiempo de inactividad que la mina inactiva Puente Roto.

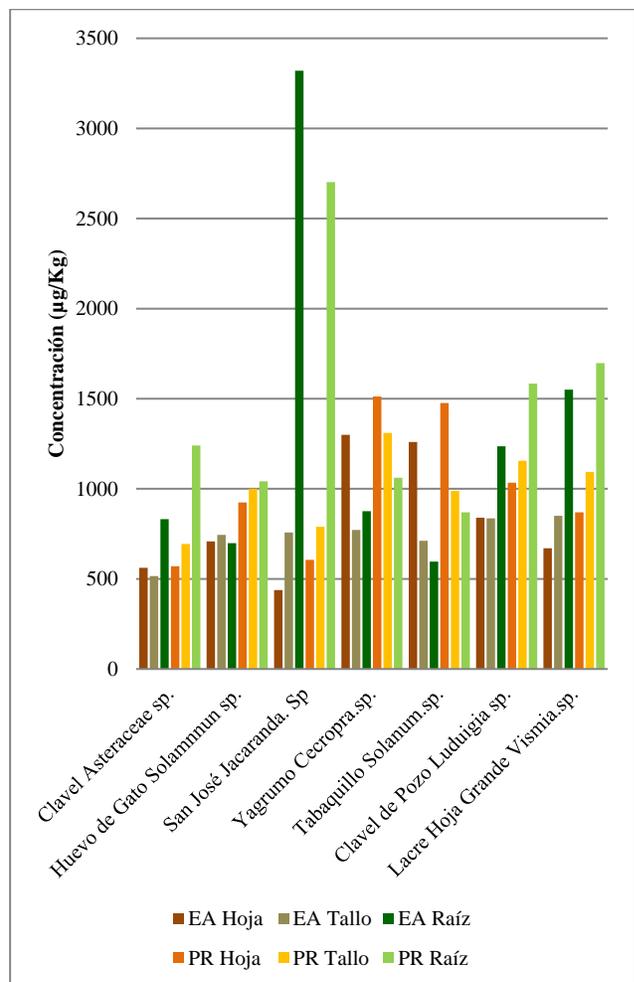


**Fig 3.** Relación entre la distancia a la laguna y la concentración de mercurio en plantas.

Relationship between distance to the lagoon and mercury concentration in plants.

Cambiando el enfoque, hacia cuantificar la cantidad de mercurio presente en las hojas, el tallo y la raíz de diferentes plantas presentes en el área de las minas inactivas El Arenal y Puente Roto, ya que nos permite determinar las partes de la planta donde más recolecta mercurio y así poder obtener la especie idónea para algún proceso de fitoremediación, es por ello que se emplearon siete especies diferentes en ambas minas, de forma que al graficar el contenido de mercurio en cada especie diferenciando su mina de origen se obtiene la

figura 4. En esta figura es rápidamente apreciable como de forma general, existe una mayor concentración de mercurio en las plantas provenientes de la mina inactiva Puente Roto, al igual que se observó en la figura 3.



**Fig 4.** Cantidad de mercurio presente en las hojas, tallo y raíz de las diferentes especies en las minas inactivas El Arenal (EA) y Puente Roto (PR). Amount of mercury present in the leaves, stem and root of the different species in the inactive mines El Arenal (EA) and Puente Roto (PR).

Al analizar el gráfico de columnas generado con esta información, es notable como la especie de planta “*San José Jacaranda sp*” tiene una gran capacidad de absorción del mercurio en sus raíces, alcanzando valores superiores a los 3320 µg/kg, en las determinaciones lo que corresponde a más del doble con respecto al resto de especies en cualquiera de sus partes.

Para las especies “*Clavel Asteraceae sp*”, “*Huevo de Gato Solanum sp.*”, “*San José Jacaranda sp.*”, “*Clavel de Pozo Ludwigia L.*” y “*Lacre Hoja Grande Vismia sp.*” se nota como la concentración de mercurio es superior en las raíces respecto a las hojas y el tallo, esto probablemente es debido

a que las raíces están en contacto directo con el suelo, donde el mercurio puede estar presente en forma de compuestos solubles. Esto facilita la absorción del mercurio a través de los tejidos radiculares. Además de que las raíces tienen mecanismos específicos para la absorción de nutrientes y minerales del suelo. Estos mecanismos pueden también facilitar la absorción de metales pesados como el mercurio.

Por otra parte, para las especies “*Yagrumo Cecropia peltata L.*” y “*Tabaquillo Solanum sp.*” la concentración más alta de mercurio se encontró presente en las hojas respecto a las otras dos partes, esto probablemente a la absorción de mercurio que pudiera encontrarse en el ambiente.

#### 4 Conclusiones

Considerando que no existen precedentes sobre las especies de plantas analizadas que contienen concentraciones significativas de mercurio, es crucial reconocer su potencial. Estas especies podrían desempeñar un papel fundamental en futuras metodologías de fitoremediación, contribuyendo a la descontaminación de suelos y aguas afectadas por mercurio. La identificación y estudio de estas plantas no solo amplía nuestro conocimiento científico, sino que también abre nuevas oportunidades para desarrollar técnicas más eficientes y sostenibles en la remediación ambiental.

Todas las especies analizadas presentaron absorción del metal pesado de interés, por lo que, es posible emplear esta información para la elaboración de planes de fitorremediación en el área, en la que el ciclo biogeoquímico del mercurio está ocurriendo y puede llegar a comprometer el equilibrio del ecosistema local.

#### Referencias

- Cano, S. (2012). Mercury contamination due to mining activities. *Biomédica*, 32(3), 309-11.
- Crespo, F. (2017). Métodos estadísticos: Ejercicios Resueltos y teoría. Editorial Universitat Politècnica de Valencia.
- Delgadillo, A., González, C., Prieto, F., Villagómez, J., Acevedo, O. (2011). Fitorremediación: una alternativa para eliminar la contaminación. *Tropical and subtropical agroecosystems*, 14(2), 597-612.
- González, M., Bodas, A., Rubio, M., Martell, N., Trasobares, E., Ordóñez, J., Calle, A. (2014). Efectos sobre la salud del metilmercurio en niños y adultos: estudios nacionales e internacionales. *Nutrición Hospitalaria*, 30(5), 989-1007.
- Herrmann, C., Zappettini, E. (2014). Recursos minerales, minería y medio ambiente. Publicaciones N° 173. Instituto de Geología y Recursos Minerales, SEGEMAR.
- Miller, J., Miller, J., (2002). Estadística y quimiometría

- para química analítica. Prentice Hall, Ciudad de México.
- Molero, A. (2023). Revisión crítica de la fitorremediación como una biotecnología de descontaminación de suelo y agua, su potencial aplicación en la región Arequipa. Repositorio de Tesis de la Universidad Católica de Santa María.
- Romero, N. (2017). La Fitorremediación en Aguas; Una Alternativa de Educación Ambiental para el Sector rural, en Fusagasugá Cundinamarca. Repositorio de Tesis de la Universidad de los Llanos.
- Salvador, A., Alcaide, A., Sánchez, C., Salvador, L., (2005). Evaluación de impacto ambiental (pp. 55-65). Pearson Educación.
- Vielma, A., Carrero, P., Rondón, C., Medina, M. (2007). Comparación del contenido de minerales y elementos trazas en la harina de lombriz de tierra (*Eisenia foetida*) utilizando dos métodos de secado. Revista Multidisciplinaria del Consejo de Investigación de la Universidad de Oriente, 19(1), 83-89.
- Luisana Miliani**, Lic. en Química. Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes, Venezuela. Correo electrónico: luisanamf11@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0007-3335-0321>.
- Mariana Salcedo**, Lic. en Química. Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes, Venezuela. Correo electrónico: mgusalcedo@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0009-8962-0591>.
- Juan Ruiz**, Estudiante de la Lic. en Química. Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes, Venezuela. Correo electrónico: juandruiz99@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0001-3318-6062>.
- Ana Yaguare**, Estudiante de la Lic. en Química. Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes, Venezuela. Correo electrónico: anakarinayaguare28@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0007-2478-7601>.

**Recibido:** 18 de noviembre de 2024

**Aceptado:** 06 de febrero de 2025

**Fernando Méndez**, Lic. en Química: estudiante de Doctorado en Química Analítica. Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes, Venezuela.  
 <https://orcid.org/0009-0004-5427-6384>.

**Carlos Rondón**, Doctor en Química Analítica. Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes, Venezuela. Correo electrónico: 19enricar59@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0006-8737-3572>.

**Carlos Ayala**, Doctor en Química Analítica. Laboratorio de Espectroscopia Molecular (LEM). Universidad de Los Andes, Venezuela. Correo electrónico: carlosayala@ula.ve  
 <https://orcid.org/0000-0002-7264-5208>.

**Wilmer Díaz**, MSc. en Ciencias Ambientales mención: Ecología Aplicada. Universidad Nacional Experimental de Guayana, Venezuela. Correo electrónico: wilmerdiazpez61@gmail.com  
 <https://orcid.org/0000-0001-9863-4746>.

**Frank Silva**, Doctor en Ecología del Desarrollo Humano. Departamento de Análisis y Control Cátedra de Análisis Farmacéutico. Universidad de Los Andes, Venezuela. Correo electrónico: fmocizo@gmail.com  
 <https://orcid.org/0009-0003-0684-8707>.