

***ARACHIS PINTOI*: ¿UNA ESPECIE ACUMULADORA DE MERCURIO?**

María Luisa Díaz López¹ y Eduardo Ordoñez González^{2*}

¹Universidad Nacional de Loja, Loja, Ecuador. ²Instituto Espacial Ecuatoriano (IEE), Quito, Ecuador

*Autor de correspondencia: eduardo.ordonez@institutoespacial.gob.ec

Recibido: 9 de noviembre de 2017 / Aceptado: 18 de noviembre de 2017

RESUMEN

La importancia de *Arachis pintoi* (maní forrajero) radica en que es una leguminosa forrajera, se adapta a suelos explotados por actividades mineras y sirve de alimento para el ganado, su estudio es relevante desde el punto de vista de remediación de suelos; el objetivo de la investigación fue determinar la capacidad de *Arachis pintoi* como una especie acumuladora de mercurio con potencial para remediar suelos contaminados, la metodología empleada consistió en identificar zonas en donde se ha realizado explotación minera para extraer una muestra de suelo y enviarlo al laboratorio para determinar el grado de contaminación, se realizó la construcción del ensayo y siembra, pasadas 12 semanas de la siembra se recolectó una muestra de suelo y otra muestra de la planta para conocer el grado de absorción del metal; los resultados obtenidos indican que el suelo tiene 174 mg/kg considerándose un suelo contaminado, en cuanto al comportamiento de la planta sembrada en un suelo contaminado se observó que no existió mortalidad y no se vieron afectadas sus características morfológicas, el contenido de mercurio en el suelo luego de realizado el ensayo bajo a 132 mg/kg y el contenido de la planta fue de 75 mg/kg de mercurio, se concluye que *Arachis pintoi* se puede considerar como una especie acumuladora de mercurio y con gran potencial fitorremediador, no se ha determinado qué órgano de la planta es el que absorbe mayor cantidad de este metal y su posible ingreso en la cadena alimenticia ni la técnica de fitorremediación más adecuada.

Palabras clave: *Arachis pintoi*, leguminosa, maní forrajero, mercurio, planta acumuladora

ABSTRACT

The importance of *Arachis pintoi* is that it is a forage legume, it adapts to soils exploited by mining activities and serves as food for cattle, being relevant its study from the point of view of soil remediation; The objective of the investigation was to determine the capacity of *A. pintoi* as a mercury accumulating species with potential to remediate contaminated soils, the methodology used was to identify areas where mining was carried out to extract a soil sample and to send it to the laboratory for To determine the degree of contamination, after construction of the test and planting of *A. pintoi*, after 12 weeks of planting a soil sample and another sample of the plant were taken to know the degree of absorption of the metal; The results obtained show that the soil has 174 mg / kg considering contaminated soil, in terms of the behavior of the plant planted in a contaminated soil, it was observed that there was no mortality and its morphological characteristics were not affected, the mercury content in the soil Soil after the test under 132 mg / kg and the content of the plant was 75 mg / kg of mercury, we conclude that *A. pintoi* can be considered as a mercury accumulator and with great phytoremediation potential, it has not been determined What organ of the plant is the one that absorbs most of this metal and its possible entry in the food chain nor the most suitable phytoremediation technique.

Keywords: *Arachis pintoi*, leguminous, maní forrajero, mercury, accumulator species

INTRODUCCIÓN

El género *Arachis* está restringido naturalmente a Brasil, Paraguay, Argentina y Uruguay, es único entre las leguminosas a causa de la asociación de tres caracteres: frutos subterráneos, distintos tipos de anteras en la misma flor y un delicado tegumento seminal (Valls y Simpson, 1995). La especie *Arachis pintoi*, es una planta herbácea perenne de crecimiento rastrero y estolonífero, tiene raíz pivotante, hojas alternas compuestas y flor de color amarillo (Rincón et al., 1992). El valor nutritivo de *Arachis pintoi* es mayor que el de la mayoría de las leguminosas tropicales de importancia comercial. Las ganancias anuales de peso vivo en las pasturas con *Arachis pintoi* han variado de 160 a 200 kg/UA y de 250 a 600 kg/ha, dependiendo de la especie de la gramínea acompañante y el estrés ocasionado por la época seca de la localidad (Lascano, 1995).

Si su beneficio como forrajera ya es conocido su utilidad como planta acumuladora de mercurio aún no ha sido estudiada, existen algunas investigaciones en las cuales se evidencia la capacidad fitorremediadora de algunas leguminosas por ejemplo *Lupinus albus*, como una planta capaz de remediar mercurio (Zornoza et al., 2010), en otro estudio realizado por Millan et al. (2007) en el distrito minero de Almadén (España) se sembraron algunas leguminosas como garbanzo, lenteja y arveja en suelo que contenía 5,53 mg/kg de mercurio total, los resultados reportaron que en ninguna de estas especies se observaron síntomas visuales de toxicidad. La concentración de mercurio en raíz fue mayor que en parte aérea para todas las especies. Su cultivo, por tanto, sería posible en estas zonas, aunque para su comercialización es necesario evaluar la transferencia de mercurio al órgano consumido en cada caso; en este mismo estudio se describe la capacidad acumuladora de mercurio, que tiene lenteja y veza, la mayor concentración de mercurio se dio en raíz, y la menor en fruto.

Sin embargo son pocos los estudios sobre la capacidad de acumular mercurio de *Arachis pintoi* y solamente se documentan estudios sobre la toxicidad por manganeso (Mn) cuyos síntomas visuales son: los bordes de las hojas completamente expandidas desarrollan parches necróticos, las nervaduras de los folíolos se tornan color café oscuro; en cambio la deficiencia de nitrógeno trae como consecuencia el desarrollo de clorosis en los folíolos más viejos que luego se convierte en clorosis generalizada de toda la planta (Rao and Kerridge, 1995)

En el cantón Zamora existe la Asociación de Pequeños Mineros Autónomos de las Cuencas del Río Nambija y Cambana (APMACN), los cuales han realizado por varios años actividades de explotación aurífera utilizando mercurio lo que ha traído como consecuencia que los suelos se vean afectados por esta actividad, esta investigación nace de la necesidad de los miembros de esta asociación por recuperar los suelos afectados, quienes han solicitado se investigue a la especie *Arachis pintoi*, el interés por esta especie radica que actualmente se regenera de forma natural en estos suelos y al ser una planta forrajera sirve de alimento para el ganado de la zona desconociendo el grado de contenido de mercurio en la planta y su posible introducción en la cadena alimenticia. Esta información permite postular la hipótesis de que *Arachis pintoi*, es una planta acumuladora de mercurio y con potencial fitorremediador para recuperar suelos contaminados por minería aurífera. El objetivo de la investigación fue determinar la capacidad de *Arachis pintoi* como una especie acumuladora de mercurio con potencial para remediar suelos contaminados por este metal.

MATERIALES Y MÉTODOS

La investigación se realizó en el Barrio Puente Azul, Cantón Zamora, provincia de Zamora Chinchipe, en las siguientes coordenadas UTM 741236, 9558213, la zona pertenece a un bosque muy húmedo subtropical con una temperatura media anual que oscila entre los 18 y 22° C, precipitación promedio anual entre 2000 y 3000 mm. (Plan Desarrollo y Ordenamiento, 2015), como parte del trabajo de titulación previa a la obtención del título de Ingeniera en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Carrera de Ingeniería en Manejo y Conservación del Medio Ambiente de la Universidad Nacional de Loja (León, 2016), se contó con el apoyo de los integrantes de la APMACN, inició en diciembre del 2014 y culminó en marzo del 2016.

Obtención del suelo contaminado por Mercurio

El lugar donde se obtuvo el suelo contaminado por mercurio pertenece a la concesión minera de la APMACN, y se seleccionó en base a los siguientes criterios: necesidad de finqueros por recuperar los suelos degradados por consecuencia de la actividad aurífera, áreas que hayan sido intervenidas por minería aurífera, que no han sido recubiertas por la capa arable y se encuentren en las riberas del río Nambija, además se realizó un recorrido con los miembros de la Asociación para identificar las zonas intervenidas por actividades mineras y que cumplan con los criterios de selección establecidos. Para la recolección de suelo se estableció un área de 10X10m², en donde se recolectó 44,4 kg de suelo a una profundidad de 10 a 40cm, se homogenizó la muestra y se obtuvo 1kg para enviar al laboratorio Gruentec acreditado por el Organismo de Acreditación Ecuatoriana, los parámetros analizados fueron: mercurio, textura, materia orgánica, PH y conductividad; y el resto de material se utilizó para la construcción del ensayo.

Construcción del ensayo

El ensayo utilizado para la siembra de *Arachis pintoii*, en suelo contaminado por mercurio consistió en dos recipientes de plástico con las siguientes dimensiones: 0,80 x 0,21 x 0,18 metros, el primero para el testigo y el segundo para la siembra de la especie en estudio, cada uno contenía una cantidad de 21,7 Kg de suelo contaminado.

Obtención y siembra de *Arachis pintoii*

Las plantas se obtuvieron por medio de regeneración natural, se procedió a la siembra de las plántulas a raíz desnuda se ubicó 10 plantas por macetero, la siembra se realizó con una separación de 13,3 cm por hoyo a lo largo del macetero y 7 cm a lo ancho del macetero. El seguimiento de las plantas se realizó cada 15 días durante 12 semanas sobre las características morfológicas como: altura, diámetro, número de hojas, mortalidad y hojas con clorosis. No fue necesario realizar la reposición de plántulas.

Toma de muestra vegetales y de suelo en el ensayo

Una vez cumplidas las 12 semanas del proceso de remediación del suelo se procedió a extraer todas las plantas sembradas; luego en cada tratamiento se tomó muestras de suelo a una profundidad de 10 cm, se realizó la mezcla de este suelo y se obtuvo una muestra compuesta de 1 kg. De las plántulas extraídas se obtuvo una muestra de 100 gr, el parámetro analizado para *Arachis pintoii*, fue mercurio. El análisis de las muestras tomadas se realizó en el laboratorio Gruentec.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El área seleccionada para la recolección de muestras de suelo cumplió con los criterios de selección establecidos. El resultado de laboratorio para la muestra de suelo reportó la siguiente información plasmada en la tabla 1

Tabla 1. Resultado de los análisis físico-químicos y Hg en la muestra de suelo colectada en el barrio Puente Azul 2014-2015 (León, 2016, p. 73)

Resultados de laboratorio			
Parámetro	Unidad	Promedio	Denominación
Potencial de hidrógeno	Ph	5,7	Medianamente ácido
Conductividad	dS/m	0,07	No salino
Textura	-----	Arenoso	86- 100 Arenoso
Materia orgánica	%	0,57	Bajo
Hg	mg/kg	174	Suelo contaminado

Tomando en cuenta los resultados de los análisis de mercurio encontrados en el suelo en el cual se desarrolló la investigación se observa que se trata de un suelo contaminado, el Acuerdo Ministerial 028 del Ministerio del Ambiente del Ecuador (2015, p. 116-119) tabla 1 indica que el “criterio de calidad del suelo para mercurio es 0,1 mg/Kg estos criterios son valores de fondo aproximados o límites analíticos de detección para un contaminante presente en el suelo, estos valores pueden ser el resultado de la evolución natural del área, a partir de sus características geológicas, sin influencia de actividades antropogénicas”. El valor reportado en esta investigación es de 174 mg/kg que sobrepasa el límite máximo permisible de la normativa ambiental ecuatoriana vigente y es el resultado de actividades mineras. Otro estudio realizado en la comunidad Andaluza reporta como valor máximo permitido para suelos agrícolas <1 mg/Kg (Aguilar *et al.*, 1999).

Dentro de las características físico químicas los resultados reportan que se trata de un suelo arenoso, bajo en materia orgánica, no salino y medianamente ácido, en síntesis es un suelo no apto para el desarrollo de especies vegetales por su baja fertilidad, sin embargo durante el trabajo de campo se observó la presencia de *Arachis pintoi*, regenerada naturalmente en los alrededores de la zona de estudio lo que indica que esta especie tolera este tipo de condiciones al respecto Skerman *et tal.* (1991) mencionan que *Arachis pintoi* se adapta bien a un rango de suelos ácidos e infértiles suelos profundos arenosos, da buenos rendimientos en tierras de poca fertilidad. Aunque *Arachis pintoi* presenta buena adaptación a los suelos ácidos, su máximo crecimiento parece limitarse cuando el pH es inferior a 5.4. La adaptación a los suelos de baja fertilidad se relaciona con el mantenimiento de la actividad fotosintética por unidad de área foliar (Rao y Kerridge, 1995)

El nitrógeno del suelo a disposición de la planta aumenta cuanto más fina es la textura (suelos arcillosos), el *Arachis pintoi* por ser una leguminosa es independiente del nitrógeno que le suministra el suelo, debido a que puede desarrollar nódulos radiculares capaces de fijar nitrógeno elemental de la atmósfera (Black, 1975). La acidez del suelo inhibe la fijación del nitrógeno (Pohlman, 1946), una amplia experiencia con leguminosas han demostrado que muchas son sensibles a la acidez; a diferencia de las especies leguminosas de algunas regiones tropicales presentan una tolerancia notable a la acidez del suelo (Black, 1975). El *Arachis pintoi* presenta diferente comportamiento en la relación algunas leguminosas al ser tolerante a

suelos medianamente ácidos. El resultado de un suelo no salino en la investigación se debe a las condiciones de humedad de la zona y su cercanía a las riberas del río Nambija, al respecto Black (1975) menciona que la facilidad con que las sales solubles del suelo se eliminan por el lavado con agua es más frecuente hallar suelos con problemas de salinidad en las regiones áridas que en las húmedas.

En la tabla 2 se presenta la información recopilada sobre las características morfológicas de las plántulas evaluadas en el ensayo, durante 90 días.

Tabla 2. Seguimiento de las características morfológicas de la especie *Arachis pintoii* 2014-2015 (León, 2016, p. 75)

Días	15					30					45					60					75					90				
Características morfológicas	altura cm	diámetro	número de hojas	Mortalidad	n° de hojas con clorosis	altura cm	Diámetro	número de hojas	Mortalidad	n° de hojas con clorosis	altura cm	diámetro	numero de hojas	Mortalidad	n° de hojas con clorosis	altura cm	diámetro	número de hojas	Mortalidad	n° de hojas con clorosis	altura cm	Diámetro	número de hojas	Mortalidad	n° de hojas con clorosis	altura cm	Diámetro	número de hojas	Mortalidad	n° de hojas con clorosis
	8	0,4	18	0	5	12	0,4	23	0	7	13	0,4	32	0	7	15	0,4	35	0	7	16	0,5	39	0	3	19	0,5	40	0	5

De acuerdo al comportamiento de las características morfológicas de las plántulas durante 90 días se observó que en altura existió un incremento de 11 cm, el diámetro se incrementó 0,1 DAP, el número de hojas se incrementó en 21, la mortalidad fue del 0% y el número de hojas con clorosis se mantuvo en 5, la parte más afectada de la planta son las hojas que presentaron un color amarillento (clorosis), cabe destacar que la observación de síntomas visuales tiene varias limitaciones pues puede haber deficiencias múltiples que pueden confundirse con el daño causado por enfermedades e insectos y por estrés fisiológico (Rao y Kerridge, 1995)

Las plantas de este ensayo se establecieron por regeneración natural y se sembraron en sustrato arenoso lo que posiblemente influyó en su desarrollo al respecto Fisher y Cruz (1995), mencionan que las plantas que se establecen de los estolones tienden a desempeñarse mejor en el suelo más arenoso; el crecimiento y clorosis reportadas en esta investigación difiere con Fisher y Cruz (1995), pues estos autores mencionan que cuando se cultiva *Arachis pintoii* en macetas, su crecimiento es generalmente lento y las plantas presentan una clorosis general. Durante el ensayo no se registró plagas y enfermedades al respecto Argel (1995) menciona que son pocas las plagas y enfermedades de importancia económica reportadas para esta especie, no hay registros de plagas y enfermedades graves severas en *Arachis*, tolera plagas y enfermedades que atacan las hojas.

Algunas de las posibles causas para que *Arachis pintoii*, sea una leguminosa que crece en suelo contaminado por mercurio podría atribuirse a sus características únicas como sus frutos subterráneos, al respecto Simpson, Valls y Miles (1995), mencionan que el fruto subterráneo en el género *Arachis* ha evolucionado como un escape del fuego y de otros factores ambientales desfavorables; enraizamiento profundo que es una característica que puede conferir tolerancia a la sequía al permitir el acceso de la planta al agua que se presenta a mayor profundidad en el perfil y su reproducción vegetativa a través de estolones procumbentes ayudan a resistir al pastoreo, y

también le permiten invadir fácilmente cualquier suelo descubierto, los estolones forman raíces libremente, esta especie puede regenerarse libremente de semilla, de fragmentos de raíz y de estolones, lo que contribuye a su capacidad para persistir y resistir los efectos del mal manejo (Fisher y Cruz, 1995)

No existió mortalidad en las plántulas lo cual significa que se adaptaron completamente a las condiciones de suelo contaminado, al respecto Tobar (2013), menciona que las plantas han desarrollado mecanismos altamente específicos para absorber y acumular nutrientes, sin embargo algunos metales y metaloides no esenciales para los vegetales son absorbidos y acumulados en la planta debido a que presentan un comportamiento electroquímico similar a los elementos nutritivos requeridos; se cree que los iones de metales tóxicos ingresan en las células de las plantas según el mismo proceso de incorporación que el de los micronutrientes y que compiten con estos elementos por la absorción (Azevedo y Rodríguez 2012).

En la tabla 3 se exponen los resultados de suelo obtenidos en el laboratorio luego del ensayo con *Arachis pintoi*, durante 90 días.

Tabla 3. Resultados de laboratorio para suelo luego de realizado el ensayo 2014-2015 (León, 2016)

Resultados de laboratorio luego del ensayo				
Parámetro	Unidad	Muestra de suelo	Testigo	Denominación
Potencial de hidrógeno	Ph	6,6	6.3	Prac. Neutro para muestra de suelo y ligeramente ácido para testigo
Conductividad	dS/m	0,08	0.09	No salino
Textura	-----	Arenoso	Arenoso	86- 100 Arenoso
Materia orgánica	%	0,19	0.15	Bajo
Hg	mg/kg	132	198	Suelo contaminado

Al observar los resultados de laboratorio antes y después del ensayo se analiza que el potencial de hidrógeno cambio de medianamente ácido a prácticamente neutro, no existió cambios en la denominación de conductividad, textura y materia orgánica luego del ensayo; para mercurio existió un decremento de 42 mg/Kg, sin embargo bajo la normativa ecuatoriana sigue considerándose un suelo contaminado. En relación al testigo el potencial de hidrógeno pasó de medianamente ácido a ligeramente ácido, para conductividad, textura y materia orgánica tampoco existieron cambios en su denominación y para mercurio existió un incremento de 24 mg/Kg.

Este cambio del potencial de hidrógeno podría atribuirse a dos condiciones, la primera la planta utilizada, sin embargo esta teoría queda descartada por cuanto *Arachis pintoi*, fija niveles apreciables de nitrógeno, se ha registrado una tasa de fijación de nitrógeno superior al 80 %, independientemente de la textura y del nivel de fertilidad del suelo (Thomas, 1995). Pues al tratarse de una leguminosa contribuye a la acidificación del suelo al respecto Campillo y Sadzawka (1999), mencionan que las leguminosas mediante el mecanismo de fijación simbiótica de nitrógeno liberan hidrógeno a la solución del suelo contribuyendo a la acidificación gradual de los suelos. La segunda condición es la disminución de los niveles de mercurio en el suelo pues mientras menor es la concentración de mercurio en el suelo el pH tiende a acercarse a neutro inmovilizando al metal al respecto Felipó (1992), señala que el mercurio es fácilmente móvil

en un suelo ácido (pH menor a 5,5), en este análisis no se tomó en cuenta el valor de mercurio reportado en la muestra inicial de suelo por ser la línea base.

El cambio registrado en los niveles de mercurio en el suelo posiblemente se debe a *Arachis pintoi*, el mecanismo de acumulación de mercurio en los vegetales se conoce a través de dos fuentes: absorbido a partir de la atmósfera, mediante procesos de intercambio gaseoso en la superficie de la hoja; o bien, tomando del suelo el mercurio disponible, en la forma soluble e intercambiable (Hernández *et al.*, 2012), al respecto Hanson *et al.* (1995) mencionan que las plantas asimilan al mercurio orgánico e inorgánico a través de su sistema radicular, que puede transportarse hasta llegar al follaje; la absorción del mercurio también puede realizarse por el follaje, principalmente a través de los estomas y por una mayor superficie de contacto con el mercurio atmosférico además las plantas muestran gran capacidad para acumular mercurio en las partes aéreas, así como para absorber y traslocar el elemento en suelos con altos contenidos de mercurio (Temmerman *et al.*, 2009).

Al analizar el ensayo y el testigo claramente se evidencia que existe una disminución de mercurio al utilizar esta planta, en cambio en el testigo los niveles de mercurio aumentan esto se debe posiblemente a su propiedad a la volatilización a temperatura ambiente, procedente de suelos contaminados (Sánchez, Sierra y Millan, 2013).

Finalmente en la tabla 4 se presenta los resultados del grado de concentración de mercurio para la especie *Arachis pintoi*, luego de 90 días de la siembra en suelo contaminado por mercurio.

Tabla 4. Concentración de mercurio en la especie *Arachis pintoi* 2014-2015 (León, 2016, p. 87)

Parámetro	Unidad	Valor reportado
Mercurio	mg/kg	77

Analizando el contenido de mercurio en la planta se observa que es alto con relación al permitido en productos destinados a la alimentación animal 0,1 mg kg⁻¹ (Directive –European, 2002), la concentración mínima de mercurio en plantas es <0.02 mg kg⁻¹ (Mas y Azcue, 1993). En otros estudios realizados se toma en cuenta los rangos y contenido medio en vegetales de consumo para la leguminosa por ejemplo poroto el rango ug/Kg⁻¹ en peso seco es de 3 – 11 (Kabata, 2000). Magnicol y Beckett (1985) encontraron valores críticos para producir fitotoxicidad valores expresados en mg/kg⁻¹, de peso seco en el tejido de las plantas de 1-6 mercurio

Con este resultado se infiere que *Arachis pintoi* presenta características acumuladoras de mercurio lo que daría a lugar a una especie potencial para ser utilizada en técnicas de fitorremediación al respecto Paise *et al.* (2012) menciona que las especies con mayor potencial para fitorremediar mercurio, serían aquellas que poseen alta capacidad de extraer grandes cantidades del metal y acumularlo en su biomasa. Tobar (2013) señala las plantas capaces de absorber y acumular metales por sobre lo establecido como normal para otras especies en los mismos suelos se llaman hiperacumuladoras, una vez que los metales son absorbidos por las plantas estas ya pueden estar disponibles para los animales ingresando a la cadena alimenticia.

En el presente estudio se realizó el análisis de mercurio a toda la planta sin discriminar raíz, tallo, hojas, no se cuenta con la información de qué órgano es el que acumula más mercurio, lo que daría la pauta para conocer si el riesgo de ingreso a la cadena alimentaria disminuiría si el metal solo se acumula en la raíz, situación que debería estudiarse con más detalle; sin embargo de otros estudios realizados se conoce que la mayor parte del mercurio acumulado en plantas permanece en la raíz, encontrándose aproximadamente el 80% unido a la pared celular, mientras que sólo una pequeña proporción se transloca a los tallos, a través de la transferencia al xilema

(Wang, 2004; Wang y Greger, 2004). La mayoría de las plantas que incorporan mercurio tienden a acumularlo en las raíces (Lenka, Panda y Panda, 1992). Por otra parte, el mercurio también puede ingresar a las hojas a través de los estomas durante el proceso de intercambio de gases (Niu *et al.*, 2011; Rutter *et al.* 2011), y algunas hasta tienen la capacidad de acumular cantidades moderadas en los brotes (Dushenkov *et al.*, 1995; Kumar *et al.*, 1995)

Otros autores consideran que si el suelo tiene elevadas cantidades de metal disponible y permite el desarrollo y cosecha de un cultivo en este caso se debe definir el riesgo alimentario del cultivo en relación al destino que pueda tener, considerando que órgano de la planta será procesado o consumido directamente (Chaney, 1980); por ejemplo la bioacumulación del mercurio en el cultivo de maíz representa su inicio dentro de la cadena alimenticia, en los sistemas terrestres, como resultado del consumo del follaje por el ganado y de los granos por el hombre (Rothenberg *et al.*, 2007)

Finalmente al analizar el contenido de mercurio en la muestra de suelo luego de realizado el experimento se observa que es de 132 mg/kg y en la planta es de 77 mg/kg, infiriendo que la planta tiene concentraciones elevadas de este metal, lo que indica que esta planta tiene un potencial para acumular mercurio, tal como se indica en el análisis estadístico realizado por León (2016) el cual señala que la efectividad del tratamiento del suelo por el proceso de fitorremediación, difiere significativamente entre el uso de la especie vegetal *Medicago Sativa*, *Cecropia Peltata*, *Arachis Pintoi*, siendo la que presenta mejores resultados *Arachis Pintoi*.

CONCLUSIONES

Arachis pintoii, se puede considerar una especie acumuladora de mercurio debido a que se agrupan un serie de características únicas de esta leguminosa tolera suelos medianamente ácidos y con altos contenidos de mercurio, frutos subterráneos, raíces profundas reproducción por estolones.

La morfología de *Arachis pintoii*, no se ve afectada al ser sembrada en un suelo contaminado por mercurio lo que la convierte en una especie con gran potencial fitorremediador

El análisis demostró que *Acharis pintoii*, influye de forma indirecta en el pH del suelo es decir a menor concentración de mercurio, el pH tiende a acercarse a neutro, disminuyendo la disponibilidad del metal.

Aunque se ha determinado que *Arachis pintoii*, es una especie acumuladora de mercurio con potencial fitorremediador, es necesario precisar que para remediar suelos contaminados es necesario la combinación con otras técnicas de remediación.

El presente estudio no determinó qué órgano de la planta es el que absorbe mayor cantidad de mercurio sin embargo al quedar demostrado que si hay acumulación es necesario profundizar investigaciones sobre su posible ingreso en la cadena alimenticia y la técnica de fitorremediación más adecuada para esta especie

La principal limitación metodológica es la escasa información sobre la acumulación de mercurio en *Acharis pintoii*.

La aplicabilidad de la investigación es muy prometedora tomando en cuenta que este estudio nace del interés de la Asociación de Mineros por *Acharis pintoii* por sus características forrajeras y debido a que actualmente en sus terrenos se encuentra regenerada naturalmente.

REFERENCIAS

- Aguilar, J., Dorronsoro, C., Galán, E., y Gómez, J. (1999) Los criterios y estándares para declarar un suelo como contaminado en Andalucía y la metodología y técnica de toma de muestras y análisis para su investigación. In “Investigación y Desarrollo Medioambiental en Andalucía”. España. Universidad de Sevilla, 61-64.
- Argel, P. (1995). Experiencia regional con *Arachis* forrajero en América Central y México. En: Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Kerridge, P. (comp.), Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 144-154.
- Azevedo, R. y Rodríguez, E (2012). Este artículo es una traducción del artículo: Phytotoxicity of Mercury in Plants: publicado en *Journal of Botany*, 2012, Vol. 2012: 6 p.
- Black, C. (1975). Relaciones Suelo-planta. Argentina. Segunda edición. Tomo I. Centro Regional de Ayuda Técnica Agencia para el Desarrollo Internacional. Editorial Hemisferio Sur
- Campillo, R., y Sadzawka, R. (1999). Problemática de la acidez de los suelos de la IX región. Génesis y características del proceso. Carillanca 3-7.
- Chaney, R. (1980) Health risks associated with toxic metal in municipal sludge
Directive the European Parliament and of the Council (2002) on undesirable substances in animal feed”.
Official Journal of the European Communities
- Dushenkov, V., Kumar, P., Motto, H. y I. Raskin, I. (1995). Rhizofiltration: the use of plants to remove heavy metals from aqueous streams. *Environmental Science & Technology*, vol. 29, pp. 1239-1245
- Felipo, M. (1992). Contaminación del suelo e impacto ambiental. Seminario “Contaminación, protección y saneamiento de suelos. UIMP. Valencia
- Fisher, M., y Cruz, P. (1995) En: Biología y agronomía de especies forrajeras de *Arachis*. Kerridge, P. (comp.), Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 56-75
- Gobierno Autónomo Descentralizado Parroquial Rural San Carlos de la Minas (2015) Actualización Plan de Desarrollo y Ordenamiento Territorial. Zamora: p.27
- Hanson, P., Lindberg, S., Tabberer, T., y et al. (1995) Foliar exchange of mercury vapor: evidence for a compensation point. *Water, Air and Soil Pollution* **80**, 373-382
- Hernández, G., García, R., Solís, S., y et al. (2012) Presencia del Hg total en una relación suelo-planta-atmósfera al sur de la Sierra Gorda de Querétaro. México. Revista especializada en ciencias químico-biológicas Vol.15
- Kabata, A. (2000). Trace elements in soils and plants. Third edition. CRC. Press. Boca Raton. USA. 413 p.
- Kumar, P., Dushenkov, V., Motto, H., y Raskin, I. (1995) Phytoextraction: the use of plants to remove heavy metals from soils. *Environmental Science & Technology* , vol. 29, pp. 1232-1238
- Lascano, C. (1995). Valor Nutritivo y Producción Animal de *Arachis* Forrajero. En: Biología y Agronomía de Especies Forrajeras de *Arachis*. Kerridge, P. (comp.), Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 117-130.
- Lenka, M., Panda, K., y Panda, B. (1992) Monitoring and assessment of mercury pollution in the vicinity of a chloralkali plant. Bioconcentration of mercury in situ aquatic and terrestrial plants at Ganjam, India. *Archives of Environmental Contamination and Toxicology*, vol. 22, No. 2, pp. 195-202
- León, I. (2016). Evaluación de la *Medicago sativa* L (alfalfa), *Cecropia peltata* L (guarumo) y *Arachis pintoï* W.C (maní forrajero) como potenciales especies fitorremediadoras para remediación de suelos contaminados por minería aurífera en la riberas del río Nambija, barrio Puente Azul, cantón Zamora. Universidad Nacional de Loja.
- Magnicol, R., y Beckett, P. (1985) Critical tissue concentration of potentially toxic elements. Plant and soil
- Mas y Azcue (1993). Metales en sistemas biológicos. Barcelona. 1ra ed. PPU.S.A. 340 P.
- Millan, R., Carpena, R., Schmid, T., y et al. (2007). Rehabilitación de suelos contaminados con mercurio: estrategias aplicables en el área de Almadén. Revista científica y técnica de ecología y medio ambiente [en línea], (2). Asociación Española de Ecología Terrestre. Disponible en <https://goo.gl/gEXEL6> [consulta: 03 mayo 2017].

- Ministerio del Ambiente del Ecuador, Acuerdo Ministerial N 028 (2015). Sustituyese el libro VI del Texto Unificado de Legislación Secundaria. Edición Especial N° 27. Quito.
- Niu, Z., Zhang, X., y et al. (2011) Field controlled experiments of mercury accumulation in crops from air and soil. *Environ Poll* 159(10):2684 -2689
- Paisio, C., González, P., Talano, M., y et al. (2012). Remediación biológica de Mercurio: Recientes avances. *Rev Latinoam Biotecnol Amb Algal* 3(2). Universidad Nacional de Río Cuarto. Argentina
- Pohlman, G. (1946). Effect of liming different soil layers on yield of alfalfa and on root development and nodulation. *Soil Sci.* 62; 255 -266.
- Rao, I., y Kerridge, P. (1995). Nutrición Mineral de Arachis Forrajero. En: *Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*. Kerridge, P. (comp.), Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 76-89.
- Rincón, C., Cuesta, M., Pérez, B., y et al. (1992). Maní Forrajero Perenne una Alternativa para 22 Ganaderos y Agricultores. Boletín Técnico No. 219. Colombia.
- Rothenberg, S., Du, X., Zhu, Y., y Jay, A. (2007) The impact of sewage irrigation on the uptake of mercury in corn plants (*Zea mays*) from suburban Beijing. *Environmental Pollution* 149, 246-51
- Rutter, A., Schauer, J., Shafer, M., Creswell, J., Olson, M., Robinson, M., Collins, R., Parman, A., Katzman, T., Mallek, J. (2011). Dry deposition of gaseous elemental mercury to plants and soils using mercury stable isotopes in a controlled environment. *Atmospheric Environ*
- Sánchez, L. Sierra, M. y Millan R. (2013) Aplicabilidad de Técnicas de Volatilización Controlada de Mercurio en el Cerco Minero de Almadenejos. Madrid. Editorial CIEMAT. 11-13
- Skerman, P., Cameron, D., y Riveros, F. (1991). Leguminosas Forrajeras Tropicales. Colección FAO: Producción y protección vegetal. Italia.
- Simpson, C., Valls, F., y Miles, J. (1995) En: *Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*. Kerridge, P. (comp.), Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 46-55.
- Temmerman, L., Waegeneers, N., Claeys, N. y Roekens, E. (2009) Comparison of concentrations of mercury in ambient air to its accumulation by leaf vegetables: An important step in terrestrial food chain analysis. *Environmental Pollution* 157, 1337-1341
- Thomas, R. (1995). Requerimientos de Rhizobium, Fijación de Nitrógeno y Reciclaje de Nutrientes en Arachis Forrajero. En: *Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*. Kerridge, P. (comp.), Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 90-101.
- Tobar, A., y Ventura, K., (2013). Determinación de plomo por el método de absorción atómica en cuatro especies vegetales cultivadas en el cantón Sitio del Niño municipio de San Juan Opaco, departamento de La Libertad. Tesis. El Salvador
- Valls, J., y Simpson, C. (1995). Taxonomía, distribución natural y atributos de Arachis. En: *Biología y agronomía de especies forrajeras de Arachis*. Kerridge, P. (comp.), Colombia: Centro Internacional de Agricultura Tropical, 1-20.
- Wang, Y., y Greger, M. (2004) Clonal differences in mercury tolerance, accumulation, and distribution in willow. *J Environ Qual* .
- Wang, Y. (2004) Phytoremediation of mercury by terrestrial plants. PhD. Thesis. Department of Botany, Stockholm University, Sweden
- Zornoza, P., Millán, R., Sierra, M.J., Seco, A., y Esteban, E. (2010). Efficiency of white lupin in the removal of mercury from contaminated soils: soil and hydroponic experiments.