



ARTÍCULO DE INVESTIGACIÓN

# Fitotecnología para la recuperación de agroecosistemas contaminados con metales pesados por desechos industriales

## Phytotechnology for the recovery of agroecosystems contaminated with metals heavy for industrial waste

Ambar Rosa Guzmán Morales<sup>1</sup> , Pavel Oriol Vázquez<sup>2</sup> , Orestes Cruz La Paz<sup>1</sup> ,  
Ramiro Valdés Carmentate<sup>3</sup> , Pedro Antonio Valdés Hernández<sup>4</sup> 

<sup>1</sup> Departamento de Producción Agrícola, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", San José de las Lajas, Provincia de Mayabeque, Cuba

<sup>2</sup> Departamento de Biología y Sanidad, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", San José de las Lajas, Provincia de Mayabeque, Cuba

<sup>3</sup> Departamento de Química, Facultad de Agronomía, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", San José de las Lajas, Provincia de Mayabeque, Cuba

<sup>4</sup> Departamento de ingeniería, Facultad de Ciencias Técnicas, Universidad Agraria de La Habana "Fructuoso Rodríguez Pérez", San José de las Lajas, Provincia de Mayabeque, Cuba

### INFORMACIÓN DEL ARTÍCULO

Recibido: 04/03/2020  
Aceptado: 31/05/2021

### CONFLICTOS DE INTERESES

Los autores declaran no existir conflictos de intereses.

### CORRESPONDENCIA

Yunel Pérez Hernández  
ambar@unah.edu.cu



### RESUMEN

La contaminación industrial de los suelos, con metales pesados afecta la inocuidad alimentaria, ambiental y por ende la salud humana, pues es una de las causas de cáncer. Sin embargo, existe un inventario florístico que reúne especies capaces de acumular en sus tejidos elevadas concentraciones de estos elementos sin mostrar signos de toxicidad, por lo tanto, pueden emplearse para mitigar este tipo de contaminación. El objetivo de este trabajo es proponer especies de plantas ruderales con fines fitorremediadores para mitigar la contaminación presente en un agroecosistema donde vierte desechos la Empresa de Cerámica Blanca "Adalberto Vidal", en el municipio San José de las Lajas, Mayabeque. Se clasificó el suelo según las condicionales de contaminación existentes, se inventarió y clasificó la flora presente. El suelo estuvo Contaminado en Cu, Co, Zn y Pb. Se obtuvieron 79 especies botánicas, correspondientes a 34 familias reconocidas en la literatura como acumuladoras de metales pesados. Predomina *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyrst (Poaceae) "Pasto estrella". Además, en cantidad de especies predominaron las Gramíneas, Leguminosas y Asteráceas, lo que coincide a lo descrito en la

literatura para las Formaciones Vegetales de Sabanas Antrópicas.

**Palabras clave:** fitorremediación, plantas acumuladoras, seguridad alimentaria

#### ABSTRACT

Industrial contamination of soils with heavy metals affects food safety, the environment and therefore human health, as it is one of the causes of cancer. However, there is a floristic inventory that gathers species capable of accumulating high concentrations of these elements in their tissues without showing signs of toxicity, therefore they can be used to mitigate this type of contamination. The objective of this work is to propose ruderal plant species for phytoremediation purposes to mitigate the contamination present in an agroecosystem where the White Ceramic Company "Adalberto Vidal", in the municipality of San José de las Lajas, Mayabeque. The soil was classified according to the existing pollution conditions, existing flora was inventoried and classified. The soil was classified as Contaminated in Cu, Co, Zn and Pb and in need of urgent remediation due to the concentrations of Ni and Cu; 79 botanical species were obtained, corresponding to 34 families recognized in the literature as accumulators of heavy metals. *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyrst (Poaceae) "Star grass" predominates. In addition, in number of species, Gramineae, Legumes and Asteraceae predominated, which coincides with what is described in literature for the Vegetal Formations of Anthropic Savannas.

**Keywords:** phytoremediation, accumulator plants, food security

## INTRODUCCIÓN

La falta de implementación de buenas prácticas en diferentes procesos industriales, que incluye el descontrol de sus residuales, ha desembocado en la contaminación de suelos y aguas con metales como, cobre, plomo y cinc, entre otros (Tello *et al.*, 2015), llegando a constituir fuentes de contaminación ambiental.

Esta acumulación de contaminantes ha superado los mecanismos naturales de reciclaje y autodepuración de los sistemas receptores; por lo que las industrias y la política de los países desarrollados se han orientado para disminuir los niveles de emisión de sustancias.

De forma general, la presencia de contaminantes en el suelo se refleja de forma directa sobre la vegetación, la más frecuentemente: la acumulación de contaminantes en las plantas, sin generar daños notables en estas, coincidiendo con lo que plantean algunos autores como Silva *et al.* (2018).

Estas muestras evidentes de deterioro medioambiental, el efecto sobre la salud humana y la creciente presión social han ido creando conciencia en el hombre de la necesidad de su rehabilitación y motivando la búsqueda de soluciones para la eliminación de los

contaminantes del suelo convirtiéndose en un objetivo prioritario en la mayor parte de los países industrializados.

Situación ante la cual surge como una alternativa ecológica, económica y "ambientalmente aceptable" la fitorremediación, la cual es una tecnología moderna que utiliza plantas para detoxificar ambientes contaminados con sustancias orgánicas o inorgánicas presentes en el suelo o agua y a la vez recuperar la cubierta vegetal de los suelos contaminados. En esta acción, especies con características particulares son cultivadas en el área afectada para acelerar su restauración (Al Chami *et al.*, 2015).

Estas plantas tienen la habilidad de soportar mayores concentraciones de contaminantes orgánicos e inorgánicos como los metales pesados, tomándolos rápidamente y convirtiéndolos en metabolitos menos tóxicos (Lama-Segura, 2018).

La fitorremediación constituye un método competitivo y sencillo de limpiar las áreas contaminadas en todo el mundo. La identificación de plantas que germinan en ambientes muy contaminados presenta, frente a otros sistemas complejos de limpieza, un gran interés en la recuperación de suelos y/o aguas



de alta resolución de Si (Li) y una fuente radioisotópica de  $^{238}\text{Pu}$  de fotones de baja energía. Se utilizó una cámara de excitación de aluminio con un colimador para la radiación característica de 10 mm de diámetro y altura de porta-muestra ajustable. La mínima distancia fuente-detector es de 18 mm.

Para las determinaciones se utilizaron los siguientes materiales de referencia certificados (MRC): IAEA Soil-5 "SoilSample", IAEA Soil-7 "SoilSample" (suministrados por la OIEA).

Se empleó un diseño de naturaleza factorial 2x2 totalmente aleatorizado, donde los factores fueron la distancia (nivel 1: 50 m, nivel 2: 100 m y nivel 3: 200 m) y la profundidad (nivel 1: 35 cm, nivel 2: 70 cm y nivel 3: 100 cm), así como su interacción y las variables respuestas las concentraciones de los metales. Para el análisis de los datos experimentales se empleó el programa estadístico STATGRAPHICS Plus para *Windows* 5.1, y se utilizó la prueba de ANOVA para lo cual se estableció un nivel de significación de 0,05 para un 95 % de intervalo de confianza. Se realizaron las dósimas de comparación por Duncan para determinar entre cuáles niveles se estableció la diferencia significativa, y para aquellos valores medios que presentaron diferencias significativas, les fueron asignadas letras distintas, las medias, además, fueron comparadas con las Normas internacionales.

### Identificación y caracterización de las especies botánicas que se desarrollan en el área en estudio

Se establecieron tres muestreos en los años de estudio, para realizar los levantamientos florísticos, utilizando el Método aleatorio de Reconocimiento y Selección de Especies según Quevedo (2006).

Además, se estimó la abundancia relativa de las especies a través del método visual.

Se seleccionó una planta de cada especie en óptimo estado fisiológico y con estructuras reproductoras, espigas en este caso, bien desarrolladas.

Se tomaron muestras vegetales a lo largo de tres líneas imaginarias paralelas a la carretera, ubicadas a los 30, 35 y 40 m de distancia, que es el punto de vertimiento de los residuales

líquidos contaminados. Se seleccionaron las áreas que presentaban menor perturbación, es el lugar donde poseen suficiente madurez las espigas de las gramíneas y poder obtener una correcta identificación. En cada línea se tomaron siete muestras, separadas entre sí por 0,5 m. Esta cantidad de réplicas es el esfuerzo mínimo suficiente para lograr la máxima sensibilidad estadística, por obtenerse con esto un Grado de Libertad del Error superior a 10, considerando en este caso las restantes Fuentes de Variación como tres tratamientos y siete réplicas.

La identificación de las especies tuvo lugar en el Departamento de Botánica de la Universidad Agraria de la Habana. Se consultó a Expertos y se compararon las muestras con ejemplares de Herbario. En los casos necesarios, se detallaron caracteres con Estereoscopio y Microscopio Óptico "N-180 M", ambos de fabricación china. Los manuales utilizados para la identificación fueron: Diccionario Botánico de Nombres Vulgares (Roig, 1992). Para la caracterización de las especies identificadas e inventariadas se utilizó: Tratado de Botánica (Bresinsky *et al.*, 2013).

Para la Nomenclatura actualizada de las especies y su ubicación taxonómica en familias se utilizó: Palmarola *et al.* (2016). Las especies se clasificaron según la literatura en acumuladoras, hiperacumuladoras y metal-tolerantes estableciendo el porcentaje de cada clasificación de acuerdo a Bazan y Galizia (2018).

Se determinaron estadígrafos de razón (porcentajes) a los datos obtenidos en los muestreos realizados, que se analizaron mediante la comparación de proporciones múltiples por el método Wald y se utilizó el programa CompaProp versión 2.0 (Castillo y Miranda, 2014).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Caracterización del área

El área tiene una pendiente de entre 1-1,5 % donde diariamente son vertidos directamente los desechos de la producción de dicha Fábrica. Es un área que según estudios anteriores se considera representativa para establecer un estudio de este tipo, con una vegetación



característica.

Después de una inspección visual pudo observarse que este sedimento posee una coloración gris plateado; relacionado con la fuente contaminadora, pues en la materia prima de la industria cerámica de consistencia arcillosa se encuentran metales pesados como Al, Cd, Cr, Mn, entre otros.

Según el mapa cartográfico 1:25000 (Hernández *et al.*, 2015), el suelo correspondiente al área en estudio es clasificado como Ferralítico Amarillento lixiviado sobre caliza dura, saturado, profundo, muy humificado, con poca pérdida del horizonte. Sin embargo, el mismo posee evidentes modificaciones físicas (color y textura) en la capa superficial, más intensas en las proximidades de la fuente contaminante. Por lo que las muestras recogidas no son realmente de suelo sino sedimentos con una profundidad de 2 m, sobre el cual se desarrollan las plantas con buenas características físicas en cuanto a vigor y color.

La Tabla 1 presentan los resultados de los indicadores físicos y químicos evaluados en el suelo.

Los resultados de pH pueden justificarse al analizar el elevado contenido de calcio (Ca) encontrado en las muestras, lo cual puede afectar la biodisponibilidad de algunos metales en el suelo. Autores como Alonso-Bravo *et al.* (2018) concuerdan con que la biodisponibilidad

de los elementos químicos en el suelo está, además, en función del pH, de la capacidad de cambio de bases, y la presencia de agentes acomplejantes.

Al valorar los contenidos de magnesio (Mg) en profundidad se detectó que hay una tendencia a la disminución, esto puede deberse a que en la mayor profundidad aparece el perfil pedogenético del suelo actuando el horizonte A como un filtro. El comportamiento del sodio (Na) y el potasio (K) es bajo y casi uniforme en todo el perfil lo que puede ser debido a la solubilidad que poseen estos cationes y del movimiento que puedan tener tanto vertical como lateralmente (Aminiyan *et al.*, 2018).

La Tabla 2 presenta el contenido de metales pesados seudototales en el suelo (Mn, Co, Pb, Zn, Cu, Fe y Ni). Los resultados de los análisis estadísticos muestran diferencias estadísticamente significativas para cada elemento estudiado entre sus factores, profundidad y distancia, mostrándose que a medida que se aleja de la Empresa el contenido de elementos Mn, Fe y Ni aumentan, siendo este aspecto más relevante en el caso del Fe; ocurriendo el efecto contrario para Co, Pb, Zn y Cu, superando los valores permisibles según Silva *et al.* (2018), los elementos Co, Pb, Zn y Cu a lo largo de todo el perfil y para Mn, Fe y Ni a mayor distancia de la fuente de contaminación corresponden los valores que superan los límites

**Tabla 1.** Propiedades físicas y químicas de los suelos en estudio

Profundidad (cm)	textura (%)	M.O. (%)	pH		Ca <sup>2+</sup> CCB	Mg <sup>2+</sup> cmolckg <sup>-1</sup> de suelo	Na <sup>+</sup>	K <sup>+</sup>	CCB	Ca/Mg
			H <sub>2</sub> O	KCl						
Suelo en estudio										
0 - 35	Arena 41,32	3,07	7,3	6,4	29,00	6,50	0,14	0,09	35,73	4,46
35 - 70	Limo 11,5 Arcilla	2,7	7,7	6,5	28,50	0,60	0,18	0,12	29,40	47,50
70 - 100	47,18	6,6	7,7	6,8	55,50	2,70	0,15	0,12	58,47	20,55
Suelo patrón										
0 - 35	Arena 30,82	3,9	7,1	6,2	23,5	8,5	0,21	0,94	32,94	2,76
35 - 70	Limo 4	2,2	7,1	5,9	16,0	11,5	0,21	0,56	28,27	1,39
70 - 100	Arcilla 65,18	0,6	6,9	5,4	27,5	3,0	0,21	0,43	31,14	9,16

**Tabla 2.** Concentración de metales pesados seudototales en el suelo que recibe los residuales industriales

Ubicación	Profundidad (cm)	Mn <sup>2+</sup>	Co <sup>2+</sup>	Pb <sup>2+</sup>	Zn <sup>2+</sup>	Cu <sup>2+</sup>	Fe <sup>3+</sup>	Ni <sup>2+</sup>
		mg kg <sup>-1</sup> de suelo						
A 50 m de la fuente emisora	0 - 35	50c	76,5ab	42 100a	9 630a	406a	3 220c	34b
	35 - 70	166b	606a	62 800a	15 400a	406a	6 627b	34b
	70 -100	291a	50b	14 200b	4 550b	676a	24 027a	85b
A 100 m de la fuente emisora	0 - 35	254c	382ab	48 700a	14 200a	448a	8 180c	39b
	35 - 70	1 460b	39,5a	2 800a	1 310a	615a	26 912b	83b
	70 -100	2 930a	66,4b	1 930b	1 160b	145a	59 510a	184a
200 m Zona de cultivos	0 - 35	1 255c	21,7ab	297a	692a	109b	40 353c	85b
	35 - 70	2 157b	33,8a	219a	377a	101b	49 231b	135ab

Letras desiguales difieren significativamente, según Duncan para valores con un 95 % de confianza  
Color rojo: Valores superiores a los límites permisibles según NC 27 (1999), UE (2016)

permisibles, tanto según Silva *et al.* (2018) como Kabata- Pendias (2010).

Coincidiendo con Aminiyán *et al.* (2018), se presenta una contaminación dinámica, porque al moverse los contaminantes en el terreno a través de las capas más permeables se facilita su dispersión y esto hace que aumente el área afectada, lo que además de otros factores pudiera estar justificando el hecho de que los elementos químicos que se analizan se encuentren en mayor cuantía hasta en las áreas de producción.

#### Identificación y clasificación de las especies colectadas en el área de estudio

Se obtuvo un inventario botánico compuesto por 79 especies de plantas pertenecientes a 34 familias, mostrando una prevalencia en las familias Poaceae, Asteraceae, Mimosaceae y Solanaceae.

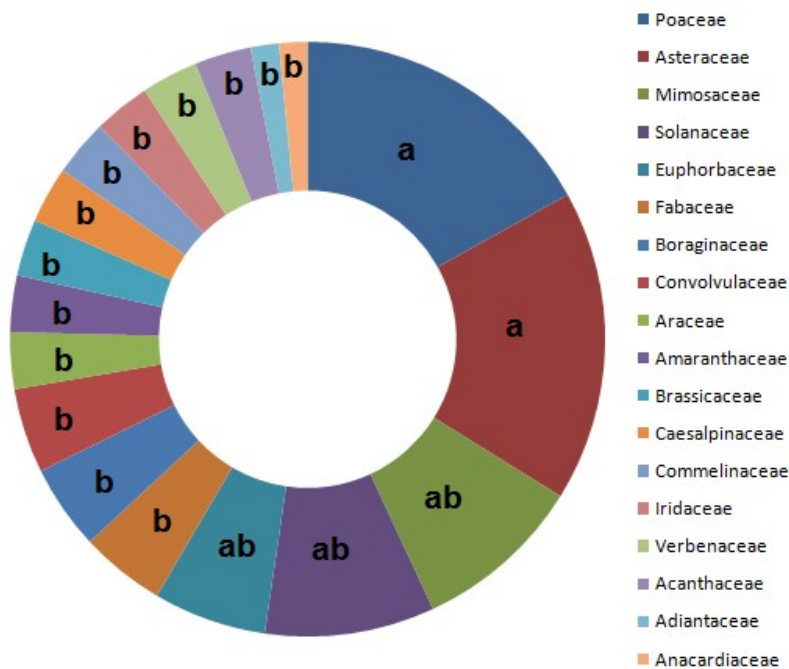
En la figura 2 se puede observar la distribución de las especies por familias, más representativas, en la que se muestra una desigualdad estadísticamente significativa entre las familias Asteraceae (12 especies) y Poaceae (11 especies) respecto al resto, mostrando su prevalencia sin diferencias significativas con las familias, Mimosaceae (6 especies), Solanaceae (6 especies) y Euphorbaceae (6 especies), lo que se

encuentra acorde con Berazaín *et al.* (2002) que de forma natural las formaciones vegetales cubanas, muestran predominio de gramíneas y leguminosas en el estrato herbáceo. Estas familias demuestran una alta capacidad de crecer y reproducirse en condiciones de estrés metálico, salino, hídrico y térmico (Regalado-Rodríguez *et al.*, 2014).

Todas estas especies comunes en Cuba son recomendadas en otros estudios para fitorremediar suelos (Peláez *et al.*, 2016), por lo que cada vez será más factible llevar a la práctica la remediación de suelos empleando especies de plantas establecidas en las condiciones edafoclimáticas cubanas.

La Figura 3 presenta la clasificación de las especies según lo relacionado con la información que se brinda en la literatura consultada (Apuan *et al.*, 2016; y de ellas se reportan 12 especies acumuladoras, de las cuales tres se reclasifican como hiperacumuladoras: Helecho macho (*Pteris vittata* L.), Hierba mora (*Solanum americanum* M.) y Romerillo (*Bidens pilosa* L. var. *pilosa*). La hierba mora y el romerillo son ampliamente conocidas en Cuba como plantas medicinales (Roig, 1992).

Estas plantas de amplio arraigo popular, representan amenazas para la salud, por cuanto hiperacumulan elementos, que en pequeñas



**Figura 2.** Cantidad de especies por familias botánicas más representativas presentes en el área de estudio

Letras desiguales difieren significativamente, según Duncan para valores con un 95% de confianza

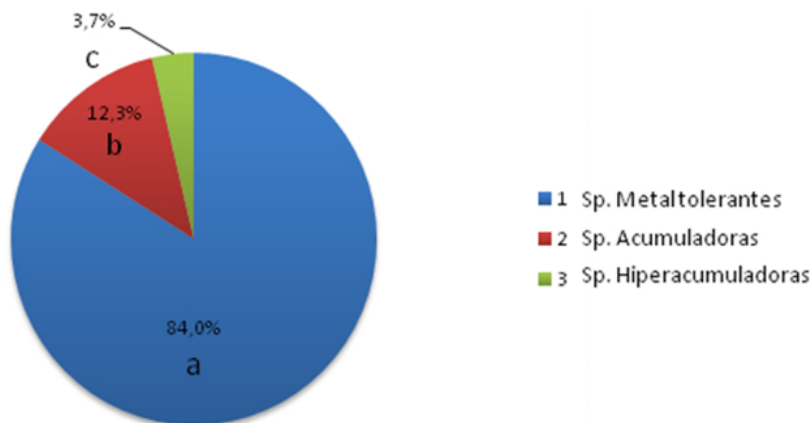
concentraciones son imprescindibles para el desarrollo de las especies, pero en concentraciones elevadas se consideran tóxicos alimentarios y son consumidas de forma directa por la población.

En la tabla 3 se presenta la clasificación de las especies predominantes en el área.

En el caso, de *P. vittata*, conocida como “Helecho de freno chino” y “Helecho Macho” es una especie perenne perteneciente a la familia Pteridaceae, presente en todas las regiones tropicales de Eurasia, África y América. Se ha

demonstrado que esta especie hiperacumula un metaloide carcinógeno, el Arsénico (As), por lo que en la actualidad se han desarrollado protocolos para su propagación por esporas con vistas a la fitorremediación (Apuan *et al.*, 2016).

De las especies identificadas 3 están reportadas en la literatura que poseen características de acumulación elevada, cercana a la hiperacumulación, y estas son: *Typha dominguensis* (Pers) Kunth., *Cynodon dactylon* L. y *Mirabilis jalapa* L.



**Figura 3.** Análisis de cantidad de especies acumuladoras y las hiperacumuladoras de metales pesados en la Flora estudiada en el área de estudio

**Tabla 3.** Especies acumuladoras identificadas en el área

Especie	Familia	N. Común	Metal que acumula	Hiperacumuladora	Acumuladora
<i>Amaranthus blitum</i> L.	Amaranthaceae	Bledo	Cd	0	x
<i>Bidens pilosa</i> L.	Asteraceae	Romerillo	Cd	x	x
<i>Heliotropium indicum</i> L.	Boraginaceae	Alacrancillo	Fe	0	x
<i>Lepidium virginicum</i> L.	Brassicaceae	Mastuerzo	Pt	0	x
<i>Ricinus communis</i> L.	Euphorbiaceae	Higuereta	Cd, As	0	x
<i>Euphorbia ophthalmica</i> Pers.	Euphorbiaceae	Golondrina	Pb, Zn	0	x
<i>Euphorbia heterophylla</i> L.	Euphorbiaceae	Hierba lechosa	Pb, Zn	0	x
<i>Mirabilis jalapa</i> L.	Nyctaginaceae	Maravilla	Cd	0	x
<i>Sorghum halepense</i> Pers.	Poaceae	Don Carlos	Pb, Zn, Cu	0	x
<i>Pteris vittata</i> L.	Pteridaceae	Helecho macho	Sb	x	0
<i>Solanum americanum</i> Mill.	Solanaceae	Yerba Mora	Cd	x	0
<i>Typha domingensis</i> (Pers.) Kunth.	Typhaceae	Macío	Cd, Pb	0	x

Según reporta Vera *et al.* (2016), *T. domingensis* se utiliza en la remediación de aguas y suelos contaminados y presenta una tendencia a desarrollarse en sustratos con una elevada carga contaminante. A lo que se agrega que es capaz de extraer metales pesados tales como Manganeso (Mn), Cobre (Cu), Selenio (Se) y Cadmio (Cd).

Lo mismo ocurre con *C. dactylon* del cual se ha planteado que posee un nivel elevado de tolerancia a metales pesados, especialmente a Arsénico (As). Existiendo antecedentes de presentar, en algunas zonas contaminadas, niveles muy elevados de metales que podrían ser tóxicos para herbívoros.

*M. jalapa* puede ser considerada una especie con alta capacidad de hiperacumulación de Plomo (Pb).

Toda esta variedad de especies presentes en el área permite seleccionar las que tiene posibilidades de fitorremediar el área de estudio (que coincide con Apuan *et al.*, 2016) son: Hiperacumuladoras, romerillo (*B. pilosa* var. *pilosa*), Yerba mora (*S. americanum*), Helecho macho (*P. vittata*). Acumuladoras: Bledo (*A. blitum*); Alacrancillo (*H. indicum*); Mastuerzo (*L. virginicum*); Higuereta (*R. communis*); Golondrina (*E. ophthalmica*); Hierba lechosa (*E.*

*heterophylla*); Maravilla (*M. jalapa*); Don Carlos (*S. halepense*); Macío (*T. domingensis*) y Grama (*C. dactylon*).

## CONCLUSIONES

Se encontró en el área estudiada que el suelo está contaminado por Co, Zn, Cu, y Pb y sobre el mismo se desarrollan un grupo de 79 especies de plantas agrupadas en 34 familias, que no muestran evidencias de toxicidad ante la presencia de metales pesados, las cuales pudieron clasificarse en tres grupos: 84 % metal-tolerantes, 12,3 % acumuladoras y 3,7 % hiperacumuladoras por lo que se definen acciones para minimizar y/o erradicar el aumento de la contaminación del agroecosistema evaluado con el establecimiento de una política encaminada a implementar una estrategia de Fitorremediación (fitoextracción), manteniendo el suelo y/o sustrato con cobertura vegetal, favoreciendo la contención química; recomendando especies espontáneas en la zona, como Hiperacumuladoras: romerillo (*B. pilosa* var. *pilosa*), Yerba mora (*S. americanum*) y Helecho macho (*P. vittata*). Como especies Acumuladoras: Bledo (*A. blitum*); Alacrancillo (*H. indicum*); Mastuerzo (*L. virginicum*); Higuereta (*R. communis*); Golondrina (*E.*



*ophthalmica*); Hierba lechosa (*E. heterophylla*); Maravilla (*M. jalapa*) y Don Carlos (*S. halepense*) y otras también estudiadas como: *Verbesina alata* L. (Botoncillo), *C. dactylon* (Bermuda), *T. dominguisis* (Macío) y *L. virginicum* (Mastuerzo) que son especies endémicas de las zonas vulnerables a la contaminación.

## CONTRIBUCIÓN DE CADA AUTOR

**Ambar Rosa Guzmán Morales:** Concibió la idea inicial del artículo y formuló los objetivos generales de la investigación. Interpretó los resultados del análisis estadístico y redactó el borrador del manuscrito.

**Pavel Oriol Vázquez:** Responsable de la recopilación de los datos y procesamiento de algunos resultados.

**Orestes Cruz La Paz:** Contribuyó a resumir la información brindada en el artículo y redactó el resumen inicial. Hizo la revisión crítica del borrador.

**Ramiro Valdés Carmenate:** Responsable de la adquisición de fondos necesarios para la ejecución del proyecto que condujo a esta publicación, es el responsable del proyecto y coordinador del grupo científico que ejecuta las investigaciones, Contribuyó con la fase experimental y colaboró con la revisión final del artículo.

**Pedro Antonio Valdés Hernández:** Contribuyó con la fase experimental y colaboró con la revisión final del artículo.

## BIBLIOGRAFÍA

AL CHAMI, Z., AMER, N., AL BITAR, L., CAVOSKI, I. 2015. Potential use of *Sorghum bicolor* and *Carthamus tinctorius* in phytoremediation of nickel, lead and zinc. *Int. J. Environ. Sci. Technol.*, 12(12): 3957-3970.

ALONSO-BRAVO, J. N., MONTAÑO-ARIAS, N. M., SANTOYO-PIZANO, G., *et al.* 2018. Biorecuperación y fitorremediación de suelo impactado por aceite residual automotriz. *Journal of the Selva Andina Research Society*,

9(1), 45-51.

AMINIYAN, M. M., BAALOUSHA, M., MOUSAVI, R., *et al.* 2018. The ecological risk, source identification, and pollution assessment of heavy metals in road dust: a case study in Rafsanjan, SE Iran. *Environmental Science and Pollution Research*, 25(14), 13382-13395.

APUAN, D. A., APUAN, M. J. B., PÉREZ, T. R., *et al.* 2016. Propagation protocol of *Pteris vittata* L. using spores for phytoremediation. *Int. J. Biosci.*, 8: 14-21.

BAZAN, G., and GALIZIA, G. 2018. Geographical and ecological outline of metal (loid) accumulating plants in Italian vascular flora. *Ecocycles*, 4(1), 47-64.

BERAZAÍN, R. 2002. Notas sobre las plantas tropicales americanas acumuladoras de níquel. Jardín Botánico Nacional. *Revista del Jardín Botánico Nacional*, 23(1): 67-74.

BRESINSKY, A., KÖRNER, C., KADEREIT, J. W., *et al.* 2013. Strasburger's plant sciences: including prokaryotes and fungi (Vol. 1). Berlin, Germany, Springer, 1309 pp.

CASTILLO, Y. y MIRANDA, I. 2014. COMPAPROP: Sistema para comparación de proporciones múltiples. *Revista de Protección Vegetal*, 29 (3): 231-234.

HERNÁNDEZ, J. A., PÉREZ, J.J.M., BOSCHI, D., CASTROS, N. 2015. Clasificación de los suelos de Cuba. Ed. Ediciones INCA, Mayabeque, Cuba, 93 p.

KABATA-PENDIAS, A. 2010. Trace Elements in Soils and Plants. 4ta ed., edit. CRC Press, 407 p., ISBN 978-1-4200-9368-1, DOI <http://dx.doi.org/10.1201/b10158>.

LAMA-SEGURA, E. R. 2018. Fitoextracción de plomo en suelos de tres parques por el girasol (*Helianthus annuus*) inoculado con el hongo micorrízico *Glomus intraradices*. Disponible en: <http://repositorio.lamolina.edu.pe/handle/>

UNALM/3499.

- MARTÍNEZ, C. 2012. Estadística y Muestreo. 13ra Edición. Bogotá, D. C., ECOE. ISBN: 978-958-648-702-3.
- PALMAROLA, A., GONZÁLEZ-TORRES, L. R., GONZÁLEZ-OLIVA, L., *et al.* (Eds.) 2016. Lista Roja de la Flora de Cuba. *Bissea*, 10 (número especial 1): 1-352.
- PELÁEZ, M. J., BUSTAMANTE-CANO, J. J., y GÓMEZ-LÓPEZ, E. D. 2016. Presencia de Cadmio y Plomo en suelos y su bioacumulación en tejidos vegetales en especies de *Brachiaria* en el Magdalena medio colombiano. *Revista Luna Azul*, (43).
- QUEVEDO, N. 2006. Identificación de especies botánicas que se desarrollan en un agroecosistema contaminado con elementos metálicos y sus potencialidades en la fitorremediación. Tesis de Maestría, La Habana, Universidad Agraria de la Habana, 80 pp.
- REGALADO-RODRÍGUEZ, I., LEISECA-PÉREZ, A., CABRERA-VÁZQUEZ, Y., *et al.* 2014. Cambios anatómicos en la especie *Cynodon nlemfuensis* Vanderhyst en suelos contaminados por metales pesados. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*, 23(4), 37-42.
- ROIG, J.T. 1992. Diccionario Botánico de nombres vulgares cubanos. La Habana, Cuba, 897 pp.
- SILVA, J. P., MÉNDEZ, G. L., MARRUGO, D. G., *et al.* 2018. Determination of heavy metals in metal fumes present in informal work environments dedicated to welding. *Revista Colombiana de Ciencias Químico-Farmacéuticas*, 47(1), 14-25.
- TELLO, W., SALVATIERRA, L., PÉREZ, L. 2015. Evaluación de los mecanismos de eliminación de  $Pb^{2+}$  en sistemas de fitorremediación en lotes operados con *Salvinia biloba* raddi (acordeón de agua). *Energeia*, 13(13): 10-17.
- VERA, A., RAMOS, K., CAMARGO, E., *et al.* 2016. Fitorremediación de aguas residuales con alto contenido de plomo utilizando *Typha dominguensis* y *Canna generalis*. *Revista Técnica de la Facultad de Ingeniería Universidad de Zulia*, 39(2), 88-95.



Artículo de libre acceso bajo los términos de una *Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial-SinDerivar 4.0 Internacional*. Se permite, sin restricciones, el uso, distribución, traducción y reproducción del documento, siempre que la obra sea debidamente citada.