

## PRESENCIA DE CADMIO Y PLOMO EN SUELOS Y SU BIOACUMULACIÓN EN TEJIDOS VEGETALES EN ESPECIES DE *BRACHIARIA* EN EL MAGDALENA MEDIO COLOMBIANO

Manuel José Peláez-Peláez<sup>1</sup>

John Jairo Bustamante Cano<sup>2</sup>

Eyder Daniel Gómez López<sup>3</sup>

Recibido el 28 de enero de 2015, aprobado el 16 de julio de 2015 y actualizado el 18 de mayo de 2016

DOI: 10.17151/luaz.2016.43.5

### RESUMEN

En el Magdalena Medio colombiano confluyen dos actividades económicas: una ganadería intensiva y una consolidada industria petroquímica. Esta última representa un potencial peligro para la Salud Pública, como consecuencia de la emisión de metales tóxicos (plomo y cadmio) que pueden incorporarse a la cadena trófica. Por ello se realizó un inventario de pasturas en esta región en función de la distancia (100, 500, 2500 y 5000 m) al foco emisor contaminante. Así se muestrearon en zonas próximas a la refinería de crudo (Barrancabermeja, Santander), en pozos de extracción (Yondó, Antioquía) y tomando como testigo el Campus académico de la Universidad de la Paz (Barrancabermeja, Santander). Los resultados obtenidos indican una alta frecuencia de representantes de la familia Poaceae y de sus géneros de *Brachiaria* spp., con importantes diferencias. La información se interpretó en los tres primeros componentes, donde las variables con mayor peso fueron la profundidad del suelo a 5 y 30 cm, tipo de pastura con predominio de las especies introducidas y el transecto en relación a la distancia focal de las fuentes de contaminación. Así, en la zona de la refinería solo se han detectado dos especies de *Brachiaria*, mientras que en la zona de los pozos de extracción y en la zona testigo se presenta mayor frecuencia de otras especies de *Brachiaria*. Se concluye que los mayores niveles de bioacumulación de metales en tejidos vegetales presentó el siguiente orden: raíz > tallo > hojas, a su vez la acumulación en suelo mostró ser mayor en la profundidad de 5 cm.

### PALABRAS CLAVE

Estrés abiótico, contaminación antrópica, cadmio y plomo, *Brachiaria* spp.

## PRESENCE OF CADMIUM AND LEAD IN SOIL AND ITS ACCUMULATION IN PLANT TISSUE IN *BRACHIARIA* SPECIES IN THE MIDDLE MAGDALENA COLOMBIAN

### ABSTRACT

In the Middle Magdalena Colombian converge two economic activities: intensive livestock and a consolidated petrochemical industry. The latter represents a potential danger to public health, resulting from the emission of toxic metals (lead and cadmium) that can enter in the food chain. Therefore pasture inventory is performed in this region depending on the distance (100, 500, 2500 and 5000 m) to the emitting source contaminant. So they were sampled near the oil refinery (Barrancabermeja, Santander) in extraction wells (Yondó, Antioquia) and sampling as witness the academic campus of the Universidad de la Paz (Barrancabermeja, Santander) areas. The results indicate a high frequency of representatives of the Poaceae family and its genera *Brachiaria*, with important differences. The information was interpreted in the first three components, where the variables with more weight were soil depth to 5 and 30 centimeters, type of pasture with predominance of introduced species and transect relative to the focal length of the sources of pollution. Then, in the area of the refinery were detected only two species of *Brachiaria*, while in the area of the extraction wells and in the control area it is presented a higher frequency of other species of *Brachiaria*. It's concluded that higher levels of bioaccumulation of metals in plant tissues presented the following order: root > stem > leaves, turn the accumulation in soil was found to be higher in the depth of 5 cm.

### KEY WORDS

Abiotic stress, anthropic contamination, cadmium and lead, *Brachiaria* spp.

---

### INTRODUCCIÓN

La región del Magdalena Medio en Colombia, no solo es reconocida por sus actividades extractivas y de refinamiento de crudo. También es conocida por sus vocaciones ganaderas especialmente bovinas y caprinas, con enlaces comerciales de la cadena de cárnicos en buena parte del país. Los agroecosistemas

predominantes son las pasturas tropicales, que se caracterizan por una alta población de gramíneas, especies que se han adaptado a estos suelos metalíferos con un alto contenido de aluminio (Casierra-Posada, 2001). Sin embargo, no son muchos los trabajos donde se mencionen los niveles de acumulación de metales pesados tóxicos, presentes en estas poblaciones vegetales y su significado ecológico-funcional en el trópico, en la medida que relacione estrés y adaptación, en referencia a niveles de organización, gradientes ambientales, tolerancia y adaptación (Sullivan, 1999).

La contaminación ambiental generada por explotación de un recurso no renovable, como es el petróleo, ocasiona una alta emisión de tóxicos como los metales pesados que con el paso del tiempo afectan la sanidad de diferentes agroecosistemas con repercusiones en toda la red trófica (Sánchez-Cardo *et al.*, 2007; Hernández y Pastor, 2008). Estas industrias extractivas originan persistencia y acumulación de metales pesados como cadmio (Cd), cromo (Cr), plomo (Pb), vanadio (V), zinc (Zn), mercurio (Hg) y molibdeno (Mo), entre otros, en suelos y en poblaciones animales y vegetales.

Pese a señales que nos envían indirectamente investigadores de las ciencias animales como Hernández (1997) y Martínez *et al.* (2013), quienes han proporcionado información que relaciona cambios observados en los sistemas de producción animal de esta región como consecuencia de la acumulación de metales pesados (Cd, Mo, Zn) en órganos y tejidos como hígado, riñón, músculo, piel y sangre, que están por encima de los límites permisibles en la normativa internacional (Alcocer *et al.*, 2007; Madero y Marrugo, 2011).

Las pasturas de *Brachiaria* spp. fueron introducidas, mejoradas y liberadas por los sistemas de disciplinas de mejoramiento genético de centros de investigación tanto nacionales como internacionales, por sus excelentes cualidades forrajeras, como la tolerancia a estreses bióticos como plagas y patógenos infecciosos desencadenantes de enfermedades. Sin embargo, el fitomejoramiento tuvo como blanco adaptar pasturas de trópico a estreses abióticos determinantes de enfermedades fisiológicas; entre los agentes causantes de este tipo de problemas se mencionan: sequías, déficit nutricional por baja fertilidad de los suelos, toxicidad por aluminio, pH de suelos bajos desde ácidos a extremadamente ácidos, y en ocasiones excesos de humedad (Canchila *et al.*, 2010).

Con la presente investigación se pretende, por un lado, estimar la frecuencia de pasturas tropicales como *Brachiaria* en la región, adaptadas a suelos metalíferos, complementada con índices de diversidad biológica en corredores aledaños a

explotaciones y refinerías petrolíferas. De esta manera, se pretende comprobar si existe una relación entre la presencia de metales pesados como cadmio y plomo en la capa superficial del suelo y la respuesta de especies de pasturas. En segundo lugar, teniendo en cuenta las distintas especies de la pastura tropical *Brachiaria* se determinaron los contenidos de cadmio y plomo en diferentes tejidos de estas plantas.

---

## METODOLOGÍA

**Localización.** El estudio se llevó a cabo en los municipios de Yondó y Barrancabermeja en el Magdalena Medio colombiano (fase de campo) y en la Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira, se cumplió la fase de laboratorio (fase analítica).

**Estimación de frecuencias de *Brachiaria* en campo y sus contenidos bioacumulados de cadmio y plomo, en raíz, tallo y hojas de estas plantas.**

**Toma de muestras y procedimiento experimental.** Se tomaron muestras de las plantas y del suelo durante la estación seca (junio de 2013) de tres zonas y a diferentes distancias del punto emisor. Las zonas de muestreo tomaron como punto central la refinería de Ecopetrol, en el Centro (Barrancabermeja, Santander) así como los pozos de extracción de Casabe (Yondó, Antioquia), y como zona testigo (supuestamente exenta de contaminación) los predios de la Universidad de la Paz –Unipaz– (vereda El Zarzal, Barrancabermeja), y a distancias (transectos) de 100, 500, 2500 y 5000 m.

En cada lugar de muestreo se tomó suelo a dos profundidades distintas (5 y 30 cm), siendo cada sitio debidamente georreferenciado.

Para determinar la posible presencia de metales pesados, se realizaron análisis de suelo y de los diferentes tejidos vegetales que componen los pastos (raíz, tallo y hojas) recolectados por triplicado para cada punto del transecto. Se analizaron los diferentes tipos y usos del suelo en la finca y los límites que estos suelos tienen dentro del paisaje para definir las unidades y subunidades de muestreo (pendiente, material parental, uso, manejo) (Rossi *et al.*, 2006). Se buscó siempre que las muestras fueran preferiblemente homogéneas en cada agroecosistema y que estuviera determinado por paisaje de pastura tropical, siguiendo los criterios de Halffter *et al.* (2005). Las muestras de suelo fueron tomadas siguiendo las

recomendaciones de Brady y Wheil (2008), buscando que estas muestras de suelo fueran a su vez un componente de varias submuestras tomadas aleatoriamente en el campo. El tamaño de la muestra ideal en el transecto se estableció con un nivel de seguridad del 95%, con precisión igual al 3%, y un  $p \leq 0,05$ .

La intervención antrópica fue estimada por la presencia de metales contaminantes que se encontraron en los corredores propios de los 12 sitios inventariados, en sus niveles de vegetación y en el uso de suelo agrícola. El cadmio y el plomo se determinaron en las muestras de suelos tomando aproximadamente un kg de tierra con la ayuda de un "corer" metálico, a una profundidad de 5 y 30 cm, para hacerle el análisis químico analítico. La muestra se extrajo de varias partes del suelo donde se había evidenciado la presencia de bovinos pastoreando. El material edáfico se empacó en bolsas plásticas secas, se sellaron y se procesaron en el Laboratorio de Fisiología Vegetal, utilizando un espectrofotómetro de absorción atómica (marca Varian Spectra AA 20FS) utilizado para la determinación de los metales, el cual está equipado con una lámpara de cátodo hueco, apropiada para cada elemento, y una lámpara de deuterio para la corrección de fondo. Las condiciones analíticas para la cuantificación de los metales totales mediante la técnica EAA de llama. La longitud de onda utilizada fue la recomendada para cada elemento, de manera que se obtuvo una mayor sensibilidad, reportando valores expresados en mg/kg (ppm) para cada metal.

Los estudios de diversidad ecológica para medir el impacto de la contaminación metálica se hicieron con base en los indicadores de Simpson y Shannon-Wiener (1949), sugeridos por Magurran (2004), mediante las siguientes expresiones matemáticas:

**ALFA: riqueza específica de una comunidad local.**

**Shannon-Wiener:**

$$H' = - \sum_{i=1}^S p_i \log_2 p_i$$

**Simpson:**

$$D = \frac{\sum_{i=1}^S n_i(n_i - 1)}{N(N - 1)}$$

El estudio exploratorio, que determinó componentes estructurales de la población vegetal de *Brachiaria* que estuviera presente y que suministrara los indicadores de frecuencia absoluta y relativa para cada sitio, se realizó con base en el uso de una escuadra entomológica de 1 m<sup>2</sup> adaptada para este fin de muestreo de pasturas, la cual fue lanzada en 10 sitios. La frecuencia de las especies de *Brachiaria* se determinó mediante método de los cuadrantes anidados, recomendados por Peláez (2013), que consiste en analizar mediante screening sesiones rectangulares al interior de la escuadra, donde se recuenta el número de especies siguiendo un orden de similitud y disimilitud.

### **Análisis de la información**

Para determinar la frecuencia de las 31 especies de *Brachiaria* pertenecientes a siete géneros adaptadas a las zonas de contaminación, se realizaron con base en análisis descriptivos teniendo en cuenta el nivel de bioacumulación en los universos suelo y tejidos vegetales, mediante gráficas apiladas donde en cada área de los rectángulos se representó la proporción en cantidad, haciendo fácilmente la comparación por transectos y zonas para la elaboración de los cuadros clínicos explicativos.

---

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

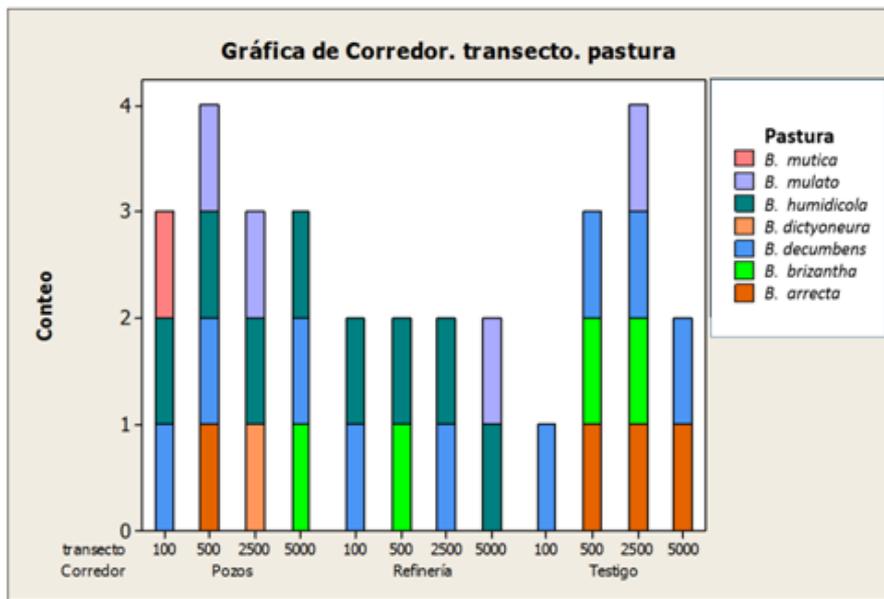
Las zonas motivo del estudio donde se determinó las frecuencias de pasturas tropicales adaptadas a suelos con presencia de los metales pesados cadmio y plomo, en las inmediaciones a la estatal petrolera en el Magdalena Medio colombiano, mostraron en concordancia con “las zonas” que en dichos corredores ecológicos existe una alta inversión en semovientes, tanto en los pozos como en la refinería (Figura 1a y 1b), caracterizados con suelos pobres en nutrientes, con bajos contenidos sobre todo de fósforo, siendo este nutriente muy poco aprovechable por las pasturas establecidas en estos suelos extremadamente ácidos (Canchila *et al.*, 2010), posiblemente por malas prácticas agrícolas, sumados a presencia de suelos con altos contenidos de plomo y cadmio, por encima de los niveles máximos permisibles para suelos agrícolas.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 1.** Bovinos pastoreando en inmediaciones de los focos de contaminación.

En la [Figura 2](#) se presenta la frecuencia de las siete especies del género *Brachiaria* detectadas en los 12 lugares explorados, teniendo en cuenta en primer lugar la zona de estudio (refinería, pozos de extracción y zona testigo), en segundo lugar los transectos o distancias al posible foco de contaminación (100, 500, 2500 y 5000 m) y en tercer lugar las diferentes especies de pasturas, mostrando cómo se agrupan estas especies de acuerdo al grado de contaminación. Es importante destacar que en la zona de la refinería se agrupaban en todos sus transectos solo dos especies, dominadas por *B. decumbens*, alternando esta zona con *B. humidicola* y *B. brizantha*. En la zona de los pozos de extracción y en la zona testigo se presenta mayor frecuencia de otras especies de *Brachiaria*.



Fuente: elaboración propia.

**Figura 2.** Frecuencias de especies de *Brachiaria* por zona y por transecto.

En las *tablas 2, 3 y 4* aparecen los datos totales de metales pesados de los contenidos acumulados en suelo, y de los bioacumulados en tejidos vegetales discriminados por componente, para cada zona o corredor ecológico y por transecto (100, 500, 2500 y 5000 m), asimismo las *tablas* presentan las referencias comparativas de los niveles máximos permisibles y tóxicos para suelos de uso agrícola y para cultivos. Es importante anotar que, en esta investigación, el pasto se tomó como cultivo al no existir en la literatura referencias específicas en pastizales.

Asimismo, se ilustran los valores de Cd y Pb (en mg/kg) encontrados en los suelos muestreados en función de la variable distancia horizontal y distancia vertical tomado como profundidades a 5 y a 30 cm.

En estas zonas de refinería y de pozos de exploración en el Centro (Barrancabermeja) y Casabe (Yondó), una vez que emiten estos metales tóxicos se bioacumulan en estas poáceas y pueden permanecer en el ambiente durante muchos años (Arroyave y Araque, 2010). Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos por otros, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación, como lo reportado en los trabajos de Martínez *et al.* (2013) para esta región.

Este estudio corrobora el dominio de las especies de *Brachiaria* en los tres corredores. Las razones de esta predominancia son su mejor adaptación a condiciones estresantes, como puede ser la sequía para *B. humidicola* (Borgues *et al.*, 2012), suelos inundados para *B. arrecta* (Jiménez *et al.*, 2010), suelos pobres y ácidos para *B. humidicola*, *B. decumbens* y *B. mulato* (Canchila *et al.*, 2010), y por último toleran una alta resistencia a cargas animales: *B. humidicola* y *B. brizantha* (Lascano *et al.*, 2002).

Las fincas que hicieron parte del estudio presentaron una textura franco-arenosa, una acidez entre 4,2 y 4,9; baja fertilidad del suelo, con saturación de aluminio (desde trazas hasta 83%), donde otros pastos no crecen. Además, dichas pasturas son muy tolerantes a suelos húmedos y encharcados, alternados con sequías cortas, frecuentes históricamente para esta región interandina donde las precipitaciones pueden oscilar desde áreas secas hasta húmedas, caracterizadas por alturas entre 0 hasta 800 msnm, con precipitaciones de 1.000 a 4.000 mm anuales.

Las pasturas de trópico bajo, introducidas como *Brachiaria*, han mostrado tolerancia por estos ambientes metalíferos, por consiguiente la frecuencia de este tipo de pastura puede considerarse una amenaza para la biodiversidad, que conlleva a la pérdida de numerosas arvenses nativas que prestan un servicio ambiental, lo cual es evidente en las zonas donde se desarrolló este estudio (Esquivel, 2007). Los índices ecológicos de diversidad presentados en la [Tabla 1](#), ilustran cómo dos componentes (número de especies o riqueza de especie y la abundancia o equilibrio de especie) son impactadas por los efluentes a menor distancia de los focos de contaminación (Baker y Walker, 1990). Algunos autores como McPeck (2007), afirman que hay una relación directa entre diversidad y número de especies, respondiendo a un modelo logarítmico, en el cual, los indicadores de diversidad podrían modificarse en escalas cortas de tiempo con pocas especies.

**Tabla 1.** Diversidad de plantas y especies en las zonas muestreadas

Lugar de muestreo	Refinería corregimiento el Centro (B/bermeja, Santander)				Pozos corregimiento Casabe (Yondó, Antioquia)				Testigo (UNIPAZ, B/bermeja, Santander)			
	Distancia en relación a los focos de contaminación en metros											
Indices biológicos	100	500	2500	5000	100	500	2500	5000	100	500	2500	5000
No. Individuos	1355	1159	985	1623	1407	3218	1994	4665	2475	2039	4758	2928
Riqueza spp.	11	9	10	19	9	15	14	28	19	14	25	19
I. Simpson	0,19	0,16	0,18	0,10	0,14	0,09	0,095	0,044	0,09	0,086	0,006	0,08
I. Shannon-Wiener	1,98	1,97	1,95	2,56	2,05	2,52	2,46	3,19	2,65	2,53	2,98	2,7

Fuente: elaboración propia.

La presente investigación mostró la pobreza de comunidades florísticas como resultado de una fuerte fluctuación en el número de especies, con respecto a la zona testigo que presentó los mayores números de individuos (tanto en número total de plantas, como en número de especies) (Tabla 1).

En el análisis de estas variables de relaciones cualitativas y cuantitativas, de causa-efecto que se dan entre las poblaciones vegetales y su entorno, esto no es un proceso a corto tiempo, ya que es preciso que las plantas condicionen sus estructuras anatómicas y morfológicas a la situación de estrés (Lasat, 2000).

En los campos de la refinería los transectos de 100 y 500 m presentaron el mayor gradiente de contaminación de plomo en las hojas. Para el caso del Cd en los tallos la bioconcentración más alta se presentó tanto en la refinería como en la zona de los pozos (Tabla 2). El metal pesado Cd bioacumulado en las raíces presentó los mayores gradientes en los transectos más distantes en relación a los

otros dos componentes, tallo y hojas, coincidiendo con lo expresado por Lozano-Rodríguez *et al.* (1997).

**Tabla 2.** Niveles de Cd y Pb en los tejidos vegetales investigados y en el suelo, en función del foco emisor, zona de Refinería

Transectos biológicos (distancia hacia los focos de contaminación)										
Corredor			Cadmio (mg/kg)				Plomo (mg/kg)			
			100 m	500 m	2500 m	5000 m	100 m	500 m	2500 m	5000 m
Zona de Refinería el Centro (B/bermeja, Santander)	En Vegetales	Hojas	0,88 (0,55-1,2)	0,61 (0,22-1,13)	0,75 (0,21-1,22)	0,42 (0,16-4,44)	3,34 (1,16-4,44)	2,98 (1,06-4,34)	2,29 (0,48-4,36)	2,04 (0,27-4,42)
		Tallo	1,06 (0,23-1,34)	0,52 (0,25-1,02)	0,47 (0,24-0,66)	0,42 (0,12-1,21)	5,36 (1,65-7,36)	4,73 (2,01-7,79)	3,5 (0,75-6,78)	3,16 (0,67-5,91)
		Raíces	1,4 (0,9-1,72)	0,92 (0,6-1,32)	1,04 (0,75-1,53)	0,54 (0,39-1,21)	7,36 (1,88-11,43)	7,51 (2,98-11,42)	4,45 (1,15-8,02)	4,56 (0,99-10,08)
		Total en la planta	3,35	2,06	2,27	1,39	16,07	15,23	10,25	9,78
	En Suelos	5 cm prof. suelo	20,07	19,66	12,34	7,1	794,04	419,31	280,42	178,45
30 cm prof. suelo		2,2	1,7	1,1	0,97	67,53	58,45	41,58	40,54	
Valor de referencia a nivel internacional, para vegetales en mg/kg		0,1-2,4 (Bowen, 1979; Azcue, 1993); 0,05-0,2 (Kabata y Pendias, 2004). Tolerable para cultivos agrícolas 0,05-0,5 mg/kg (Kabata y Pendias, 2004); excesivo o tóxico 5-30 (Kabata y Pendias, 2004).				0,2-20 (Bowen, 1979; Azcue, 1993); Rango normal 5-10 (Kabata y Pendias, 2004). Tolerable en cultivos agrícolas 0,05-10 (Kabata y Pendias, 2004); tóxico 30-300 (Kabata y Pendias, 2004).				
Valor de referencia a nivel internacional para suelos en mg/kg		<0,01-2, suelos agrícolas, rango para USA (Holmgren et al, 1993); 0,44, suelos cultivados, República Federal Alemana (Crossman y Weustermann, 1992); 0,22, suelos cultivados de Francia (Baize, 1997).				7,6-135, suelos agrícolas, rango para USA (Holmgren et al, 1993); 85, suelos, valor de referencia en Holanda (NMHPPE, 1991); 100-400, suelos, nivel tóxico (Kabata y Pendias, 1984).				

Fuente: Consejería de medio ambiente de la junta de Andalucía (1999), adaptado para Cd y Pb por los autores.

En Casabe se presentaron los mayores bioindicadores de concentración de plomo para todas las especies, en los transectos y corredores presentando gradientes de concentración mayores a distancias cortas en relación a las fuentes de contaminación, siendo estadísticamente significativos los efectos en la bioacumulación de Pb en las hojas, con un 95,0% de nivel de confianza (Tabla 3).

Todo lo anterior nos puede indicar que en estas especies posiblemente la bioacumulación se mantenga en casos de existir fuentes de contaminación, y que preferiblemente se acumulan en las raíces. En el caso de las hojas y de los tallos, presentaron menor bioacumulación en los transectos distantes del foco 2500 m, se puede dar bioacumulación por encima de 0,2 ppm, lo cual podría generar problemas de biomagnificación en las cadenas trópicas (Becerril *et al.*, 2007).

**Tabla 3.** Niveles de Cd y Pb en los tejidos vegetales investigados y en el suelo, en función del foco emisor, zona de Pozos (Casabe)

Transectos biológicos (distancia hacia los focos de contaminación)										
Corredor			Cadmio (mg/kg)				Plomo (mg/kg)			
			100 m	500 m	2500 m	5000 m	100 m	500 m	2500 m	5000 m
Zona pozos Casabe (Yondó, Antioquia)	En Vegetales	Hojas	1,36 (0,36-2,08)	0,62 (0,27-0,92)	0,44 (0,14-0,83)	0,58 (0,19-0,97)	1,88 (1,19-3,84)	1,37 (0,36-2,82)	1,58 (0,17-4,2)	1,91 (0,15-4,37)
		Tallo	1,93 (1,03-3,37)	0,77 (0,27-1,23)	0,54 (0,19-0,90)	0,58 (0,15-1,22)	4,23 (5,77-11,45)	3,66 (0,58-8,24)	3,1 (0,5-5,47)	3,81 (0,34-9,87)
		Raíces	2,83 (1,62-6,18)	1,69 (0,6-1,23)	1,01 (0,56-1,92)	0,95 (0,25-1,86)	6,82 (5,38-20,49)	5,92 (0,99-11,76)	4,97 (1,23-12,3)	6,29 (0,91-19,99)
		Total en la planta	6,13	3,09	1,95	2,09	13,16	10,97	9,66	12,02
	En Suelos	5 cm prof. suelo	18,9	12,13	8,62	7,99	780,67	590,61	267,68	161,01
	30 cm prof. suelo	2,29	1,23	1,03	1,01	24,98	23,55	14,98	12,67	
Valor de referencia a nivel internacional, para vegetales en mg/kg		0,1-2,4 (Bowen, 1979; Azcue, 1993); 0,05-0,2 (Kabata y Pendias, 2004). Tolerable para cultivos agrícolas 0,05-0,5 mg/kg (Kabata y Pendias, 2004); excesivo o tóxico 5-30 (Kabata y Pendias, 2004).				0,2-20 (Bowen, 1979; Azcue, 1993); Rango normal 5-10 (Kabata y Pendias, 2004). Tolerable en cultivos agrícolas 0,05-10 (Kabata y Pendias, 2004); tóxico 30-300 (Kabata y Pendias, 2004).				
Valor de referencia a nivel internacional para suelos en mg/kg		<0,01 – 2), suelos agrícolas, rango para USA (Holmgren et al, 1993); 0,44 suelos cultivados, República Federal Alemana (Crossman y Weustermann, 1992); 0,22, suelos cultivados de Francia (Baize, 1997).				(7,5-135), suelos agrícolas, rango para USA (Holmgren et al, 1993); 85; suelos, valor de referencia en Holanda (NMHPPE, 1991), 100-400; suelos, nivel tóxico (Kabata y Pendias, 1984).				

Fuente: Consejería de medio ambiente de la junta de Andalucía (1999), adaptado para Cd y Pb por los autores.

En el caso del plomo se aprecia cómo este metal se bioacumula preferentemente en las raíces, y después en los tallos, a concentraciones muy altas, lo que coincide con las investigaciones realizadas por Ruiz y Hernández (2012) en maíz, donde concluyen que las altas exposiciones de las plantas de maíz a elementos como Cu y Pb, reducen significativamente su crecimiento y ocasionan una rápida inhibición en el desarrollo de las raíces.

En las hojas esta bioacumulación es menor y solo es considerable en la zona muestreada a 100 m de la refinera (Tabla 2). El efecto disminuye con la distancia, no obstante, para el caso del metal Cd no hay decremento notorio. A su vez, para el caso del Pb en las raíces solo en los transectos por encima de los 2500 m comienza a disminuir el problema. Sin embargo, este metal aunque persiste en los tallos, no alcanza valores de bioacumulación importantes en las hojas; posiblemente esto denota la poca movilidad de este metal, lo cual coincide con lo explicado por Leung *et al.* (2007).

Agroecosistemas estables, no aledaños a industrias pesadas como el corredor control de esta investigación (predios de la Universidad de la Paz) (Tabla 1 y Tabla 4), pueden presentar niveles imperceptibles de contaminación ya que son solamente presionados por las rutinas agrarias como la fertilización y la aplicación de pesticidas, que para el caso de las pasturas en Colombia, se utilizan poco; aunque debería tenerse en cuenta que sí se presentó un importante tráfico de vehículos (en algunos casos hacia las zonas petroleras), por lo que en realidad ésta es una zona de transición. Todo ello quiere decir que los índices no detectan efectos de contaminantes en bajas concentraciones, mientras los valores medios pueden pasar desapercibidos respecto a las variaciones aleatorias de la comunidad y del muestreo (Villanueva *et al.*, 2008).

Esto coincide con lo hallado por Carrillo-González (2005) y Carrillo-González y González-Chávez (2006), quienes detectaron niveles relativamente bajos de metales pesados en las zonas de transición en agroecosistemas cercanos a explotaciones mineras en México. Solo cuando las variables ambientales son grandes los índices sí están en capacidad de reconocer las alteraciones sobre la comunidad como se observó en el corregimiento del Centro (llamado aquí refinería). En el caso de Yondó (pozos) (Tabla 3), sus valores medios no permitieron reconocer la fase inicial del deterioro del ecosistema natural y la contribución del agroecosistema pastoril por sí mismo (Nedelkoska y Doran, 2000), donde estos géneros han sido exitosos ante las situaciones de presión ambiental que les ha rodeado (Boularbah *et al.*, 2006).

**Tabla 4.** Niveles de Cd y Pb en los tejidos vegetales investigados y en el suelo, en función del foco emisor, zona Testigo

Transectos biológicos (distancia hacia los focos de contaminación)										
Corredor			Cadmio (mg/kg)				Plomo (mg/kg)			
			100 m	500 m	2500 m	5000 m	100 m	500 m	2500 m	5000 m
Testigo, UNIPAZ (B/bermeja, Santander)	En Vegetales	Hojas	0,01 (0,003- 0,013)	0,014 (0,005- 0,018)	0,024 (0,02- 0,38)	0,02 (0,012- 0,083)	1,01 (0,64- 1,45)	1,12 (0,76- 1,48)	1,32 (0,66- 1,65)	1,02 (0,52- 1,44)
		Tallo	0,015 (0,008- 0,012)	0,022 (0,002- 0,032)	0,028 (0,01- 0,042)	0,032 (0,012- 0,098)	1,34 (0,78- 1,78)	1,84 (0,78- 1,78)	1,64 (0,88- 1,76)	1,42 (0,98- 1,78)
		Raíces	0,02 (0,006- 0,028)	0,028 (0,016- 0,044)	0,03 (0,026- 0,039)	0,034 (0,024- 0,086)	1,72 (0,96- 2,14)	1,92 (0,96- 2,14)	1,82 (0,99- 2,02)	1,9 (0,96- 2,04)
		Total en la planta	0,045 (0,017- 0,053)	0,064 (0,023- 0,94)	0,082 (0,056- 0,10)	0,086 (0,048- 0,99)	4,07 (2,38- 5,37)	4,88 (2,5- 5,4)	4,78 (2,53- 5,27)	4,34 (4,46- 5,16)
	En Suelos	5 cm prof. suelo	1,11	0,93	0,78	0,21	21,99	23,43	20,78	19,99
		30 cm prof. suelo	0,11	0,1	0,11	0,12	16,87	14,07	14,8	12,90
	Valor de referencia a nivel internacional, para vegetales en mg/kg		(0,05-0,2) (Kabata y Pendias, 2004). Tolerable para cultivos agrícolas 0,05-0,5 mg/kg (Kabata y Pendias, 2004); excesivo o tóxico 5-30 (Kabata y Pendias, 2004).				Rango normal 5-10 (Kabata y Pendias, 2004). Tolerable en cultivos agrícolas 0,05-10 (Kabata y Pendias, 2004); tóxico 30-300 (Kabata y Pendias, 2004).			
Valor de referencia a nivel internacional para suelos en mg/kg		<0,01-2, suelos agrícolas, rango para USA (Holmgren et al, 1993); 0,44 suelos cultivados, República Federal Alemana (Crossman y Weustermann, 1992); 0,22, suelos cultivados de Francia (Baize, 1997).				(7,5-135); suelos agrícolas, rango para USA (Holmgren et al, 1993); 85: suelos, valor de referencia en Holanda (NMHPPE, 1991); 100-400; suelos, nivel tóxico (Kabata y Pendias, 1984).				

Fuente: Consejería de medio ambiente de la junta de Andalucía (1999), adaptado para Cd y Pb por los autores.

Como consecuencia de estos resultados, podemos señalar que se expone un potencial problema ambiental con repercusiones en la Salud Pública de vegetales, animales y de humanos (Peláez-Peláez, 2013). En estas zonas de refinera y de pozos de exploración en el Centro (Barrancabermeja) y en Casabe (Yondó), una vez que se emiten estos metales tóxicos al medio, se bioacumulan en estas poáceas y pueden permanecer en el ambiente durante muchos años (Arroyave y Araque, 2010). Además, su concentración en los seres vivos aumenta a medida que son ingeridos, por lo que la ingesta de plantas o animales contaminados puede provocar síntomas de intoxicación, aunque es mucho más importante su acumulación en vísceras y músculo y su incorporación a la cadena trófica, tal como ha sido reportado por Martínez *et al.* (2013) en esta región.

## CONCLUSIONES

En el Magdalena Medio colombiano confluyen actividades industriales y agropecuarias, que arrojan al ambiente metales tóxicos como plomo y cadmio, que contaminan los suelos y agroecosistemas de pastura tropical con dominancia de las especies *Brachiaria*, especialmente *humidicola* y *decumbens*, las cuales se muestran como tolerantes a estos ambientes metalíferos, presentando altos contenidos de estos metales en sus estructuras vegetales, principalmente en las raíces.

Quedó demostrada la adaptación de las pasturas *Brachiaria* a estos suelos con persistencia alta de metales pesados en sus primeros 5 cm. Por consiguiente, estas plantas presentan bioacumulación de Cd y Pb sobre todo en sus sistemas radicales.

---

## AGRADECIMIENTOS

Se agradece al Laboratorio de Fisiología Vegetal de la Universidad Nacional de Colombia - sede Palmira, y al Laboratorio de Control de Calidad de la Universidad de Pamplona (Norte de Santander, Colombia).

---

## POTENCIAL CONFLICTO DE INTERESES

No hay ningún tipo de conflicto de intereses respecto a la publicación de este artículo, el cual es elaborado a partir de la tesis de Doctorado del autor, Manuel José Peláez Peláez, con la dirección del Ph.D. Eyder Gómez López y del Ph.D. Fánor Casierra Posada.

---

## FUENTES DE FINANCIACIÓN

La presente investigación se realizó bajo el auspicio del proyecto de investigación: "Determinación de residuos de metales pesados en el suelo, plantas, agua y

tejidos de bovinos expuestos en áreas de alto grado de contaminación y detección de puntos críticos para su control”, ejecutado por los grupos de investigación Agricultura y Ganadería Sostenibles (GIAS) y Ciencias Animales (GICA), de la Universidad de Pamplona (Norte de Santander, Colombia), cofinanciado por Colciencias.

---

## REFERENCIAS

- Alcocer Vidal, V.M., Castellanos Ruelas, A.F., Herrera Chalé, F., Chel Guerrero, L.A. y Betancur Ancona, D.A. (2007). Detección de metales pesados y dicloro difenil triclora etano (DDT) en músculos y órganos de bovinos en Yucatán. *Técnica Pecuaria en México*, 45(2), 237-247.
- Arroyave Q.C. y Araque M. P. (2010). Evaluación de la bioacumulación y toxicidad de cadmio y mercurio en pasto llanero (*Brachiaria dictyoneura*). *Vitae*, 17(1), 45-49.
- Baker, A.J. y Walker, P.L. (1990). Ecophysiology of metal uptake by tolerant plants. En Shaw, A.J. (Ed.), *Heavy metal tolerance in plants: evolutionary aspects* (pp. 155-165). Boca Raton, USA: Crc Press Inc.
- Becerril, J.M., Barrutia, O., Plazaola, J.G., Hernández, A., Olano, J.M. y Garbisu, C. (2007). Especies nativas de suelos contaminados por metales: aspectos ecofisiológicos y su uso en fitorremediación. *Revista Ecosistemas*, 16(2), 50-55.
- Borgues, J., Barrios, M., Sandoval, E., Millán, K., Sánchez, D., Bastardo, Y. y Márquez, O. (2012). Aspectos agronómicos y productivos de *Brachiaria humidicola* (Rendle), en el estado Yaracuy. *Mundo Pecuario*, 8(2), 132-138.
- Boularbah, A., Schwartz, C., Bitton, G., Abouddrar, W., Ouhammou, A. y Morel, J.L. (2006). Heavy metal contamination from mining sites in South Morocco: 2. Assessment of metal accumulation and toxicity in plants. *Chemosphere*, 63(5), 811-817.

- Brady, C. y Weil R., R. (2008). *The nature and properties of soil*. Prentice Hall.
- Canchila, E.R., Soca, M., Ojeda, F., Machado, R. y Canchila, N. (2010). Dinámica de crecimiento de 24 accesiones de *Brachiaria* spp. *Pastos y Forrajes*, 33(4), 1-9.
- Carrillo-González, R. (2005). Niveles de contaminación de los suelos y las plantas. En González-Chávez, M.C., Pérez-Moreno, J. y Carrillo-González, R. (Eds.), *El sistema planta-micro-organismo-suelo en áreas contaminadas con residuos de minas* (pp. 34-60). Montecillo, México: Colegio de Postgraduados.
- Carrillo-González, R. y González-Chávez, M.C.A. (2006). Metal accumulation in wild plants surrounding mining wastes. *Environmental Pollution*, 144(1), 84-92.
- Casierra-Posada, F. (2001). Fundamentos fisiológicos, bioquímicos y anatómicos del estrés por aluminio en vegetales. *Revista Comalfi*, 28(2), 8-19.
- Consejería de medio ambiente de la junta de andalucía (1999). Los criterios y estándares para declarar un suelo contaminado en Andalucía y la metodología y técnicas de toma de muestra y análisis para su investigación. (Disponible en internet, diciembre de 2013). <http://www.ugr.es/~fjmartin/criterios%20y%20estandares.pdf>
- Esquivel, H. (2007). *Tree resources in traditional silvopastoral systems and their impact on productivity and nutritive value of pastures in the dry tropics of Costa Rica*. Doctoral dissertation, Ph.D., Thesis. CATIE, Turrialba, Costa Rica.
- Halffter, G., Soberón, J. Koleff, P y Melic, A (Eds.) (2005). Sobre diversidad biológica: el significado de las diversidades alfa, beta y gamma. Monografías Tercer Milenio, Sociedad Entomológica Aragonesa, Zaragoza.
- Hernández, A.J. y Pastor Piñeiro, J. (2008). Validated approaches to restoring the health of ecosystems affected by soil pollution. En Domínguez, J.B. y

Columbus, F. (Eds.), Chapter 2: **Soil Contamination Research Trends** (pp. 51-72). Hauppauge, USA: Nova Science Publishers, Inc.

- Hernández, W. (1997). Aspectos clínico-patológicos en bovinos que pastorean en zonas con altos índices de molibdeno en el Magdalena Medio Colombiano. **Revista Colombiana de Ciencias Pecuarias**, 10 (Fasc), 87.
- Jiménez, O.M.M., L. Granados, J. Oliva, J. Quiroz Y M. Barrón. (2010). Calidad nutritiva de **Brachiaria humidicola** con fertilización orgánica e inorgánica en suelos ácidos. Arch. Zootec. 59(228): 561-570.
- Kabata Pendías A., Pendías H. (2001). Trace elements in soils and plants. CRC PRESS. Inc. Boca Ratón. Fl 365.
- Lasat, M.M. (2000). Phytoextraction of metals from contaminated soil: a review of plant/soil/metal interaction and assessment of pertinent agronomic issues. **Journal of Hazardous Substance Research**, 2(5), 1-25.
- Lascano, C.E., Pérez, R., Plazas, B., Camilo, H., Medrano, J., Argel, M. y Pedro, J. (2002). **Pasto Toledo (Brachiaria brizantha CIAT 26110). Gramínea de crecimiento vigoroso para intensificar la ganadería colombiana**. Cali: CIAT.
- Leung, H.M., Ye, Z.H. y Wong, M.H. (2007). Survival strategies of plants associated with arbuscular mycorrhizal fungi on toxic mine tailings. **Chemosphere**, 66(5), 905-915.
- Lozano-Rodríguez, E., Hernández, L. E., Bonay, P. y Carpena-Ruiz, R.O. (1997). Distribution of cadmium in shoot and root tissues of maize and pea plants: physiological disturbances. **Journal of Experimental Botany**, 48(1), 123-128.
- Madero, A. y Marrugo, J. (2011). Detección de metales pesados en bovinos, en los valles de los ríos Sinú y San Jorge, departamento de Córdoba, Colombia. **Revista MVZ Córdoba**, 16(1), 2391-2401.
- Magurran, A.E. (2004). **Measuring Biological Diversity**. Blackwell.

- Martínez V., C., Rodríguez L., P. y Torres C., H. (2013). **Determinación de metales pesados en diferentes órganos de bovinos en pastoreo en dos localidades del Magdalena Medio colombiano**. Tesis Médico Veterinario. Universidad de la Paz.
- McPeck, M.A. (2007). The macroevolutionary consequences of ecological differences among species. *Palaeontology*, 50(1), 111-129.
- Nedelkoska, T.V. y Doran, P.M. (2000). Characteristics of heavy metal uptake by plant species with potential for phytoremediation and phytomining. *Minerals engineering*, 13(5), 549-561.
- Peláez-Peláez, M.J. (2013). **Evaluación del estrés abiótico en *Brachiaria spp.* inducido por bioacumulación de cadmio y plomo, en una zona aledaña al corredor petrolífero de Barrancabermeja (Colombia)**. Tesis Doctoral. Universidad Nacional de Colombia.
- Rossi, C., Cuesta-Marcos, A., Vales, I., Gómez-Pando, L., Orjeda, G., Wise, R. y Hayes, P. (2006). Mapping multiple disease resistance genes using a barley mapping population evaluated in Peru, Mexico, and the USA. *Molecular Breeding*, 18(4), 355-366.
- Ruiz Huerta, E.A. y Armienta Hernández, M.A. (2012). Acumulación de arsénico y metales pesados en maíz en suelos cercanos a jales o residuos mineros. *Revista Internacional de Contaminación Ambiental*, 28(2), 103-117.
- Sánchez-Cardo, A., López-Fuster, M.J. y Nadal, J. (2007). Bioaccumulation of lead, mercury, and cadmium in the greater white-toothed shrew, *Crocidura russula*, from the Ebro Delta (NE Spain): sex-and age-dependent variation. *Environmental Pollution*, 145(1), 7-14.
- Sullivan M. (1999). Evaluación de impacto ambiental. En Kiely, G. *Ingeniería Ambiental*(pp. 1117-1150). España: Ed. McGraw-Hill.
- Villanueva, C., Ibrahim, M., Ríos, J. y Suárez, J.C. (2008). Disponibilidad de *Brachiariabrizantha* en potreros con diferentes niveles de cobertura arbórea en el trópico subhúmedo de Costa Rica. *Zootecnia Tropical*, 26(3), 293-296.

---

1. Ingeniero Agrónomo. Magister en Fitopatología. Doctor en Ciencias Agrarias, énfasis protección de cultivos. Docente Investigador, Universidad Nacional de Colombia – Sede Palmira. [mjpelaezp@unal.edu.co](mailto:mjpelaezp@unal.edu.co). ORCID: 0000-0003-1024-6410

2. Médico Veterinario. Esp. Docencia Universitaria. Doctor en Medicina y Cirugía Animal. Docente Asociado Universidad de Pamplona. Grupo de Investigación en Ciencias Animales. [jhonjabu@unipamplona.edu.co](mailto:jhonjabu@unipamplona.edu.co). ORCID: 0000-0003-3960-5659

3. Ingeniero Agrónomo. Magister en Suelos. Doctor en Biotecnología. Docente Investigador, facultad de ciencias agropecuarias, Universidad Nacional de Colombia, sede Palmira. [edgomezlo@unal.edu.co](mailto:edgomezlo@unal.edu.co). ORCID: 0000-0002-5892-5722

**Para citar este artículo:** Peláez-Peláez, M.J., Bustamante 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, 82-101. Recuperado de [http://200.21.104.25/lunazul/index.php?option=com\\_content&view=article&id=194](http://200.21.104.25/lunazul/index.php?option=com_content&view=article&id=194)

---

Esta obra está bajo una [Licencia de Creative Commons Reconocimiento CC BY](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)

