

Trabajo Original

Ecotoxicología

Un estudio de contaminación del suelo con plomo en los márgenes del Río Albarregas (Mérida, Venezuela) usando diente de león (*Taraxacum officinale*) como bioindicador.

José Rafael Luna^{1✉}, Lisbeth Ramírez², Mauro Linares², Juan Carlos Molina³, José Fernando Ovalles⁴, Jesús Peña⁵, Hermes Yonel Peñaloza⁵

1. ✉. Dr. en Bioanálisis. Grupo de Investigación en Toxicología Analítica y Estudios Farmacológicos (GITAEF). Facultad de Farmacia y Bioanálisis. Urbanización Campo de Oro, Calle Principal, Edificio Carlos Edmundo Sala. Universidad de Los Andes. Mérida-Venezuela. Apartado postal 5101. mail: lunajr@ula.ve.
2. Licenciado en Bioanálisis. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
3. Farmacéutico. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
4. Dr. en Química Analítica. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.
5. Licenciado en Educación Mención Matemática. Universidad de Los Andes, Mérida-Venezuela.

Resumen

Las concentraciones de metales pesados en el ambiente pueden deberse básicamente a causas naturales y antropogénicas que generan bioacumulación en un organismo biológico. Estudios realizados en diversos países muestran la presencia de Plomo (Pb) en algunas especies de plantas como consecuencia de la recaptación del medio ambiente, por lo que se han propuesto tanto como biomonitores de contaminación y como bioseñaladores de riesgo ambiental, siendo la especie *Taraxacum officinale* (diente de león) una candidata atractiva para el monitoreo biológico de metales pesados. Por esta razón se investigó la presencia de Pb en plantas de *Taraxacum officinale* recolectadas en suelos al margen del Río Albarregas, Mérida, Venezuela. Los resultados obtenidos indican que el Pb contenido en las plantas colectadas en esos suelos es significativamente diferente a las plantas que crecen en suelos no expuestos a la contaminación. Los resultados también evidenciaron concentraciones de plomo más elevadas que el límite máximo recomendado por la OMS y el límite considerado background, lo que permite inferir que la presencia del Pb en la planta proviene del proceso de recaptación desde el suelo por lo que no es recomendable su uso como planta medicinal.

Palabras clave: *Taraxacum officinale*, diente de león, plomo, bioacumulación, plantas bioindicadoras.

Abstract

A study of soil pollution by lead in the margins of Albarregas river (Mérida, Venezuela) using dandelion (*Taraxacum officinale*) as a bioindicator

Concentrations of heavy metals in the environment may be due primarily to natural and anthropogenic causes, which could generate bioaccumulation in a biological organism. Since scientific studies made in several countries have shown the presence of lead (Pb) in plants as a result of environmental reuptake, they have been proposed as both biomonitors of pollution and bioindicators of environmental risk. In this regard, the species *Taraxacum officinale* (dandelion) is an attractive candidate for biological monitoring of heavy metals. For this reason, the presence of Pb in *Taraxacum officinale* plants recollected on the banks of the Albarregas River, Mérida, Venezuela was investigated. The obtained results indicate that the Pb content in plants collected in these soils is significantly different from that obtained from plants growing in soils not exposed to contamination. There was also evidence that Pb concentrations were higher than the maximum level recommended by the WHO and that considered background level, which allows us to infer that the presence of Pb in this herb comes from the soil uptake process, so this should not be recommended as a medicinal plant.

Keywords: *Taraxacum officinale*, dandelion, lead, bioaccumulation, bioindicator plants.

Introducción

El origen de las concentraciones anómalas de metales pesados, en plantas, peces, mariscos y en el ser humano, tienen su origen básicamente por causas naturales y actividades del hombre. Las actividades del hombre, fuentes antropogénicas, conllevan a la acumulación de metales pesados en la naturaleza y pueden originar bioacumulación, definida como el aumento de la concentración de un producto químico en un organismo biológico en un cierto plazo, de forma que llega a ser superior a la concentración en el ambiente (1).

Como metal pesado el plomo (Pb) es un elemento metálico sin función conocida en el organismo humano, y su presencia puede originar daños a la salud como en los casos de intoxicación aguda o de intoxicación crónica (2-3). La contaminación de Pb en el aire es mucho más grande en comunidades urbanas motorizadas, que en áreas rurales (4-5); proporciona el 90% del Pb contenido en los alimentos que se cosechan al aire libre y en los alimentos consumidos por los animales, aún cuando se desarrollen en áreas rurales (4). Parte del Pb que cae desde la atmósfera se incorpora en los cultivos vegetales, en el agua de lluvia, en las hierbas y pastos y algunos vegetales tienen la propiedad de bioacumularlo, metabolizarlo y hacerlo más tóxico para el hombre o los animales que lo consumen (2,6). Hoy en día, se pueden encontrar metales pesados en las aguas residuales, siendo su procedencia muy variada, asociándose las fuentes de contaminación a pequeñas industrias establecidas en zonas urbanas o en polígonos industriales carentes de plantas de tratamiento, a talleres de automóviles, al pequeño y mediano comercio, a grandes áreas comerciales, la limpieza de las calles o de tipo doméstico, así como el vertido ilegal a la red de alcantarillado de aceites lubricantes, pinturas, baterías alcalinas además de aguas pluviales (7).

El Pb es un contaminante ambiental extensamente distribuido, capaz de inducir toxicidad en organismos vivos, incluyendo plantas superiores. Este compuesto no posee función biológica conocida en las plantas y sus concentraciones en estos tejidos se incrementan con la edad. Es un elemento no esencial para el crecimiento de las plantas,

aunque su acumulación es pasiva se puede encontrar incorporado en cantidades significativas (1,8).

Gran parte de las plantas son colectoras de contaminantes ambientales, por lo que su composición química puede ser un buen indicador de áreas contaminadas. Algunas plantas terrestres y acuáticas se han utilizado para estudios geoquímicos y ambientales en el monitoreo de trazas de metales por bioacumularlos (8-13). Por otra parte, la extensa distribución de *Taraxacum officinale* (Diente de León), hace de esta especie una candidata atractiva, debido a su amplitud ecológica y fácil identificación, para el monitoreo biológico de metales pesados a nivel global, y se destaca el hecho que tiene como característica un alto factor de acumulación de contaminantes tanto en la raíz como en las hojas, propiedad esta que posibilita distinguir entre contaminantes del suelo y atmosférico debido a que muestra una correlación entre el nivel de contaminación atmosférica y la concentración del contaminante en los tejidos de la planta (9,14). Hoy día, se ha investigado la conveniencia de utilizar estas especies en el monitoreo de contaminación por metales en Europa y Canadá, los resultados de estas investigaciones hacen pensar que estas especies son una herramienta útil para el monitoreo de contaminación cerca de las fuentes locales que están emitiendo niveles relativamente altos de metales pesados en la atmosfera (15-17).

En Polonia, se determinaron concentraciones de Pb en especies de *Taraxacum officinale*, ubicadas en ambientes contaminados (Ruda Slaska y Byton, área de Silesia superior) y ambientes no contaminados (Biala Podlaska, área de Polonia oriental), encontrándose valores significativos en estos últimos (14). En otro estudio realizado en Varsovia, se determinaron niveles de Pb en *Taraxacum officinale*, provenientes de parques y céspedes del área metropolitana, concluyéndose que las especies de *Taraxacum officinale* deben verse como buenos indicadores de contaminación ambiental de las áreas urbanas (18). En Venezuela, en la ciudad de Mérida en un trabajo realizado utilizando productos naturales con fines terapéuticos se reportaron niveles de Pb en *Taraxacum officinale* que no sobrepasan los niveles permitidos según la OMS en plantas para fines terapéuticos (19).

El Río Albarregas, ubicado al poniente de Venezuela, en Los Andes centrales venezolanos, forma parte del Estado Mérida, específicamente del Municipio Libertador. Está integrado por varios cursos de aguas, siendo el más importante el río que contiene su mismo nombre, el cual mantiene un caudal permanente durante todo el año en el recorrido desde su nacimiento, en la laguna Albarregas hasta su confluencia con el río Chama. Hoy en día el Río Albarregas constituye un importante patrimonio recreativo, turístico y ambiental para la ciudad de Mérida (Venezuela), sin embargo, la inadecuada política de manejo de aguas residuales en la ciudad a llevado a que este río se encuentre en condiciones que no permiten desarrollar al máximo sus potencialidades (20), razón por la cual se propone, mediante estudio piloto, determinar la presencia de Pb en plantas de *Taraxacum officinale* ubicadas al margen del río, con el objeto de monitorear la recaptación de este metal a partir de los suelos que rodean el lecho del río.

Materiales y Métodos

Material Biológico

Se utilizó en el estudio la planta *Taraxacum officinale* (Diente de León). Como grupos control, se utilizaron los siguientes: materia prima usada para la elaboración de formulaciones comerciales donada por un conocido laboratorio de productos naturales con fines medicinales (grupo 1) y se colectaron muestras del Jardín de Plantas Medicinales de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis "Dr. Luis Ruiz Terán", Mérida, Venezuela (grupo 2). Como muestras se utilizaron plantas provenientes de dos terrenos, a 30 m (grupo 3) y 10 m (grupo 4), ubicados al Margen del río Albarregas, Mérida, Venezuela. Las plantas colectadas se trasladaron al Jardín de Plantas Medicinales de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis "Dr. Luis Ruiz Terán", las cuales quedaron identificadas y registradas en el Herbario (MERF) de la Facultad de Farmacia y Bioanálisis, Universidad de Los Andes, Mérida, Venezuela.

Reactivos

Agua redestilada y desionizada con resistividad $\geq 18 \text{ M}\Omega\cdot\text{cm}$. (milli Q). Ácido nítrico 65%, ultrapuro, Riedel-de Haën, Germany. Peroxido de hidrogeno 35%, ultrapuro, Riedel-de Haën, Germany.

Equipos

Horno de Microondas domestico modificado, para digestión de materia orgánica. Espectrofotómetro de absorción atómica con atomización electrotérmica. Marca: Perkin Elmer. Corrector de fondo ZEEMAN, modelo 2200. (Germany), para la detección y cuantificación de Pb.

Preparación de las Muestras

Una vez colectadas las plantas fueron codificadas y posteriormente remojadas en agua destilada por 24 horas, para eliminar residuos contaminantes externos, seguidamente se enjuagaron tres veces con agua destilada, y se llevaron a secar en la estufa a $50 \text{ }^\circ\text{C}$ durante 72 horas e inmediatamente fueron pulverizadas (21), para luego aplicar el método de digestión para la liberalización y mineralización del elemento metálico (22). El análisis de los datos se realizo mediante el uso del Software SPSS versión 15.

Resultados y Discusión

Una vez optimizado el método de digestión, se digestaron las muestras de los cuatro grupos experimentales descritos anteriormente y se procedió a cuantificar las concentraciones de Pb, los resultados se expresan en mg Kg^{-1} de peso en seco de las plantas y se muestran estadísticamente en las Tablas I, II y III.

En la Tabla I, se presenta la aplicación de la prueba no paramétrica conocida como, Análisis de Varianza Unifactorial por Rangos de Kruskal-Wallis (KW)(23), que permite tomar la decisión si k muestras independientes provienen de la misma población

o de poblaciones idénticas con la misma mediana. Este método estadístico no paramétrico, es una alternativa a la prueba F del análisis de varianza para diseños de clasificación simple o diseños que poseen sólo una variable independiente, en cuyos casos el estadístico de prueba es la media aritmética. Su uso es conveniente en los casos cuando no se cumplen los supuestos estadísticos de los métodos paramétricos, normalidad e igualdad de varianzas, o cuando los datos están medidos en escala ordinal.

En base a lo anterior, se proponen las siguientes hipótesis estadísticas: Hipótesis nula (H_0): No existen diferencias en la concentración mediana de Pb en cada uno de los cuatro grupos experimentales. Hipótesis alternativa (H_A): La concentración mediana de Pb es diferente en al menos dos de los grupos experimentales. En base a un nivel de significación del 5% ($\alpha = 0,05$) se toma el siguiente criterio de decisión: Si p (del estadístico KW) es menor que α ($p < 0,05$) se rechaza la hipótesis nula, en caso contrario, los datos no muestran evidencias suficientes como para el rechazo de la hipótesis nula.

De la aplicación del método estadístico no paramétrico (KW), se tiene que: En la Tabla I, el valor de $p = 0,0001$ es menor a $0,05$ rechazándose la hipótesis nula y por lo tanto se infiere que la mediana difiere en al menos dos de los grupos estudiados, lo que revela que existen diferencias significativas en las concentraciones de Pb entre los grupos de la especie Diente de León estudiada. Por otra parte, para determinar cuáles pares de grupos tienen mediana diferente se aplica la prueba de la diferencia mínima significativa para lo cual se obtiene el valor crítico de $16,82$ (Tabla II); se considera que existen diferencias estadísticamente significativas entre dos grupos experimentales cuando la diferencia absoluta de la media de sus rangos supera el valor de $16,82$ (Tabla III).

Con el Valor Crítico calculado, y tomando en cuenta los resultados mostrados en la Tabla III, se observa que existen diferencias significativas entre las medianas de Pb en los grupos experimentales 1 y 4, 1 y 3, 2 y 4, 2 y 3; casos en los cuales la diferencia supera el valor crítico de $16,82$. Por otra parte, no existen diferencias significativas entre las medianas de los grupos 1 y 2, 3 y 4, respectivamente.

Estos resultados son de interés por cuanto se puede inferir que entre las muestras del grupo 1 y grupo 2 no existen diferencias significativas en la concentración mediana de Pb, lo que pudiera explicarse por cuanto son plantas cultivadas bajo las mismas condiciones especiales, evitando la exposición a suelos contaminados y a pesticidas y por lo tanto se evita un incremento en la recaptación del Pb; dichos valores están por debajo de los considerados como rango de background, es decir de 1,6-6,5 en hojas y de 0,2-5,8 en raíz en mg de Pb Kg⁻¹ de peso en materia seca respectivamente (14). De igual manera, no se aprecian diferencias significativas entre las medianas de los grupos 3 y 4 de las muestras colectadas a las márgenes de Rio Albarregas, es decir a 10 metros y a 30 metros de su cauce, lo que permite presumir en este estudio que la variable en cuanto a distancia de crecimiento y desarrollo de la planta a la margen del rio y su implicación en la recaptación del Pb no es significativa.

Por otra parte, entre las muestras colectadas a las márgenes del rio, los grupos 3 y 4, y las muestras control de los grupos 1 y 2, se observan diferencias significativas respecto a sus medianas, y además las concentraciones de Pb en plantas provenientes de las márgenes del Rio Albarregas (grupos 3 y 4) son muy superiores a las concentraciones de plantas cultivadas bajo condiciones controladas (grupos 1 y 2); esta diferencia podría ser explicada por el hecho de que las aguas del rio poseen afluentes de aguas servidas que contaminan e incrementan las concentraciones de Pb en sus aguas y lodos y por lo tanto en las plantas crecidas en los suelos adyacentes como consecuencia del mecanismo de recaptación. Resultados similares en cuanto a la exposición de las plantas al Pb en áreas industrializadas fueron encontrados por Kabata A., 1991 (9), y Diatta J., 2003 (24), quien concluye que el uso de Diente de León como test para evaluar concentraciones de Pb es un método alternativo y confiable. Por otra parte, Wilkomirski B., 2011 (25), también encontró incrementos significativos en las concentraciones de metales pesados, dentro de los cuales estaba el Pb, al determinar la concentración en plantas Diente de León sembradas en el mismo lugar pero con trece años de diferencia. Así mismo, Krolak E., 2003 (14), establece que cuando las concentraciones de Pb en suelo se incrementan, se incrementa significativamente en la planta Diente de León por

encima de los valores de background; y, Czarnowska K., 2000 (26), concluye que la acumulación de Pb en las plantas Diente de León por él estudiadas, es consecuencia del impacto de la contaminación originado por el tráfico vehicular.

Conclusión

Este trabajo puede ser considerado como un estudio piloto en el monitoreo de Pb por contaminación ambiental en suelos adyacentes al río Albarregas, Mérida, Venezuela, por cuanto los resultados muestran que la concentración de Pb contenida en *Taraxacum officinale* colectadas en suelos expuestos a la contaminación es significativamente diferente a las plantas de suelos no expuestos a la contaminación, además excede los niveles considerados background, lo que permite inferir que la presencia del Pb en la misma proviene del proceso de recaptación del suelo, agua o aire, siendo recaptado por la planta de acuerdo a las pautas de movilidad explicadas por Navarro, A., 2007 (1).

Por último, debemos dejar claro que en este estudio no se midió la concentración del Pb en las aguas del río ni en los suelos de donde fue colectada la planta, por lo que sugerimos realizarlo en estudios posteriores con la finalidad de estudiar la movilidad del Pb hacia la especie *Taraxacum officinale*, debido que el Pb es absorbido del suelo por el sistema radicular y transportado a las hojas, lo que podría proveer un buen biomonitor de la contaminación medioambiental de dicho caudal.

Tabla I. Prueba de Kruskal Wallis.

Grupo experimental <i>Taraxacum officinale</i>	N	Medias	DE	Medianas	gL	K-W	p-valor
Grupo 1	15	1,85	0,14	1,9	3	51,45	0,0001
Grupo 2	15	2,73	2,61	2,61			
Grupo 3	15	555,00	165,67	578,37			
Grupo 4	15	378,17	147,45	371,08			

Tabla II. Valor Crítico en la Prueba de diferencia mínima significativa

Grupo experimental <i>Taraxacum officinale</i>	Rango	Valor de Crítico
Grupo 1	8,0	16,82
Grupo 2	23,0	16,82
Grupo 3	41,4	16,82
Grupo 4	49,6	16,82

Tabla III. Prueba de la diferencia mínima significativa

Grupo experimental <i>Taraxacum officinale</i>	Diferencia	Decisión	
Grupo 1	Grupo 2	15	NS
Grupo 1	Grupo 4	41,6	S
Grupo 1	Grupo 3	33,4	S
Grupo 2	Grupo 4	26,6	S
Grupo 2	Grupo 3	18,4	S
Grupo 4	Grupo 3	8,2	NS

Bibliografía

1. Navarro J P, Aguilar I, Lúpez-Moya J R. Aspectos bioquímicos y genéticos de la tolerancia y acumulación de metales pesados en plantas. *Ecosistema*. 2007; 16(2):1-17.
2. Córdoba D, Cuesta F. *Toxicología*. 4ta Edición. Caracas, Venezuela: El Manual Moderno; 2004. p. 276-90.
3. Ladrón de Guevara J, Moya Pueyo V. Plomo y sus compuestos. *Toxicología Médica*. 5ta Edición. Madrid, España: Interamericana Mc Graw Hill; 1995. p.231-248.
4. Web de Ecosistemas de la Habana. Efectos ambientales del Plomo. Universidad de la Habana (citado agosto de 2012). Disponible en http://www.fq.uh.cu/webeco/efectos_ambientales.htm#plomo
5. Arevalo E., Burguera J., Burguera M., Palacios E. El Plomo en el organismo de mamíferos. *Revista de la Sociedad Venezolana de Química*. 1992; 15(1): 3-10.
6. Harrison R., Rapsomanikis S. *Environmental analysis using chromatography interfaced with atomic spectroscopy*. New York : John Wiley and Sons; 1989.
7. Chicón L. Especiación de metales pesados en lodos de aguas residuales de origen urbano y aplicación de lodos digeridos como mejoradores de suelos (citado agosto de 2012). Disponible en: http://www.avizora.com/publicaciones/ecologia/textos/0019_metales_pesados_lodos_agua.htm
8. Rodríguez JC, Rodríguez H, Lira G, Martínez J, Lara JL. Capacidad de seis especies vegetales para acumular Pb en suelos contaminados. *Revista Fitotecnia Mexicana*. 2006; 29(3): 239-45.
9. Kabata A., Dudka S. Trace metal contents of *Taraxacum officinale* (dandelion) as a convenient environmental indicator. *Environmental Geochemistry and Health*. 1991; 13(2):108-13.

- 10.**Mulgrew A., Williams P. Biomonitoring of air quality using plants. WHO Collaborating Centre for Air Quality Management and Air Pollution Control at the Federal Environmental Agency Germany, Report 10. February, 2000.
- 11.**Gothberg A, Greger M, Holm K, Bengtsson B. Influence of nutrient levels of Mercury, Cadmium, and lead in Water Spinach. *Journal of Environmental Quality*. 2004; 33(4): 1247-45.
- 12.**Madejón P. Elementos traza y nutrientes en plantas y suelos afectados por el vertido minero de Aznalcóllar. *Ecosistemas*. 2004; 13(2): 1-6.
- 13.**Posada M, Arroyave M. Efectos del mercurio sobre algunas plantas acuáticas tropicales. *Revista EIA*. 2006; (6): 57-67.
- 14.**Krolak E. Accumulation of Zn, Cu, Pb and Cd by Dandelion (*Taraxacum officinale* Web) in Environments with various degrees of Metallic Contamination. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2003; 12(6):713-21.
- 15.**Kabata A., Krakowiak A. Useful phytoindicator (dandelion) for trace metals pollution. 5 th Intern. Conf. Proc. Transport, Fate and Effects of Silver in the Environ. Red.: A.W. Andren, T.W. Bober, Madison, Wisc. 1997: 145-9.
- 16.**Keane B, Collier MH, Shann JR, Rogstad SH. Metal content of dandelion (*Taraxacum officinale*) leaves in relation to soil contamination and airborne particulate matter. *The Science of the Total Environment*. 2001; 281: 63-78.
- 17.**Djingova R, Kuleff L. Bromine, Copper, Manganese, and Lead content of the leaves of *Taraxacum officinale* (dandelion). *Sci Total Environ*. 1986; 50: 197-208.
- 18.**Czarnowska K, Milewska A. The Content of Heavy Metals in an Indicator Plant (*Taraxacum officinale*) in Warsaw. *Polish Journal of Environmental Studies*. 2000; 9 (2): 125-8.
- 19.**Luna JR, Di Bernardo ML, Álvarez A, et al. Determinación de metales pesados en productos naturales que se expenden en la ciudad de Mérida. *Revista de Toxicología en Línea*. 2008; 15: 35-46.
- 20.**Rivas A, Ramoni J. Valoración contingente aplicada al caso del Río Albarregas Mérida-Venezuela. *Revista Venezolana de Soc y Ant*. 2007; 17 (49): 478-502.

21. Preer J, Stephens B, Bland C. Simple preparation in determination of lead in garden vegetables by flame atomic absorption spectrophotometry. JAOAC. 1982; (65):1010-5.
22. Luna JR, Di Bernardo ML, Valdivieso A, Quintero T, Hamdan M, Ovalles J. Digestión de productos fitoterapéuticos, asistido por microondas, para el análisis espectrofotométrico de Plomo. Revista de Toxicología en línea . 2010; 32: 20-32.
23. Siegel S., Castellan J. Estadística no paramétrica: aplicada a las ciencias de la conducta. 4ta Edición. México: Trillas; 1995. Pp. 223-59.
24. Diatta J., Grzebisz W., Apolinarska K. A study of soil pollution by heavy metals in the city of Poznan (Poland) using dandelion (*Taraxacum officinale* Web) as a bioindicator. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 2003; 6(2). Available online <http://www.ejpau.media.pl>
25. Wilkomirski B., Sudnik B., Galera H., Wierzbicka M., Malawska M. Railway transportation as a serious source of organic and inorganic pollution. Water Air Soil Pollut. 2011; 218: 333-45.
26. Czarnowska K., Milewska A. The content of heavy metals in an indicator plant (*Taraxacum officinale*) in Warsaw. Polish Journal of Environmental Studies. 2000; 9(2): 125-128.

Recibido: 08/03/13

Aceptado: 15/03/13