

Bioacumulación de cobre, plomo, hierro y zinc en *Lactuca sativa* “lechuga”, *Brassica oleracea* “repollo”, *Daucus carota* “zanahoria” y *Raphanus sativus* “rabanito”

Bioaccumulation of copper, lead, iron and zinc in *Lactuca sativa* "lettuce", *Brassica oleracea* "cabbage", *Daucus carota* "carrot" and *Raphanus sativus* "radish"

Mirtha M. Casana Ackerley¹, Raúl A. Beltrán Orbegoso²

Resumen

Se determinó la concentración de los metales cobre, plomo, hierro y zinc en la parte comestible de las *Lactuca sativa* “lechuga”, *Brassica oleracea* “repollo”, *Daucus carota* “zanahoria” y *Raphanus sativus* “rabanito”, mediante un diseño experimental cuadrado latino 4x4. Se halló que *L. sativa*, *D. carota* y *B. oleracea* presentan una alta concentración de zinc en las raíces (44 ppm, 61 ppm y 48 ppm, respectivamente); la raíz de *R. sativus* acumula predominantemente el hierro (68 ppm). Asimismo, *B. oleracea*, *L. sativa*, *D. carota* y *R. sativus* acumulan en los tallos en mayor proporción el cobre, hierro, plomo y zinc, con 38,7 ppm, 39,5 ppm, 28,8 ppm y 23,5 ppm, respectivamente. *D. carota* y *R. sativus* son las que presentan una mayor capacidad de absorción del metal pesado plomo, esta propiedad podría usarse en términos benéficos para procesos de bio-remediación como “limpiadores” de metales pesados de suelos. *R. sativus* es una hortaliza altamente susceptible a los metales pesados presentes en las agua de riego y en un factor de primer orden en la probable causa de enfermedades en la población.

Palabras clave: bioacumulación, metales, *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea*, *Daucus carota*, *Raphanus sativus*

Abstract

The concentration of the metal copper, lead, iron and zinc in the comestible part of *Lactuca sativa* “lettuce”, *Brassica oleracea* “white cabbage”, *Daucus carota* “carrot” y *Raphanus sativus* “small radish” it was determined distribution in experimental design latin square 4x4. The results provide that *L. sativa*, *D. carota* y *B. oleracea* have a high concentration of zinc in the roots (44 ppm, 61 ppm and 48 ppm, respectively); the root of *R. sativus* predominantly accumulates iron (68 ppm). Also, *B. oleracea*, *L. sativa*, *D. carota* y *R. sativus* accumulate in stems in higher copper, iron, lead and zinc, with 38.7 ppm, 39.5 ppm, 28.8 ppm and 23.5 ppm, respectively. *D. carota* and *R. sativus* are those who have a greater capacity for absorption of the heavy metal lead, this property could be used in beneficial terms for processes such as “cleaners” bio-remediation of heavy metals from soils. *R. sativus* is a vegetable highly susceptible to heavy metals present in the water of irrigation and a factor of first order in the probable cause of diseases in the population.

Keywords: bioaccumulation, metals, *Lactuca sativa*, *Brassica oleracea*, *Daucus carota*, *Raphanus sativus*

Introducción

La contaminación de los recursos naturales por elementos químicos entre los que se incluyen los metales pesados provenientes de las actividades mineras y similares, constituye uno de los problemas ambientales de importancia en el mundo, por su carácter tóxico e incluso letal para los seres vivos; la expansión y desarrollo tecnológico de dichas actividades ocasiona una eficiente extracción y depuración de los minerales en términos económicos, pero con un drástico y dramático efecto sobre el suelo, agua y aire del entorno, con el colapso de las plantas y animales y severos efectos tóxicos sobre el hombre por ser parte de la cadena alimenticia (Duffus, 1983; Manam, 1993).

¹ UGEL-3, Trujillo, Unidad Ejecutora 310-IEPM GMRC, mabelc16@hotmail.com

² Universidad Nacional de Trujillo

La problemática ambiental de los recursos naturales se ha agudizado en los últimos años, particularmente en Latinoamérica. En Perú, un país con tradición minera, el problema de la contaminación por metales pesados provenientes de los centros mineros ha ocasionado diversos efectos sobre los ecosistemas a lo largo de las cuencas de los ríos, ocasionando la alteración de los cuerpos de agua y en algunos casos provocando el colapso de la flora y fauna como en el río Mantaro (Osasa, 1984), el río Santa (Corzo, 1986; Ministerio de Energía y Minas, 1993), el deterioro de los recursos naturales y suelo de la región del Cusco (Ferreiros y Salazar, 2000).

En la región La Libertad, es conocido el dramático ejemplo de la desaparición de vegetales, crustáceos, peces y aves del río Moche, debido a que ha soportado desde la década de 1950 el continuo arrojado de desechos mineros procedentes de las empresas establecidas en su cuenca alta y media, convirtiéndose en el recurso hídrico más contaminado de la zona; debido a que el 80% de su volumen de agua se usa para la actividad minera (CESEN, 1997; Dirección General de Agua y Suelos, 1999), por lo tanto su cauce presenta altos valores de algunos metales pesados como arsénico (entre 200 a 251 ppm), aluminio (26 ppm), plomo (83 ppm), hierro (13,2 ppm) y selenio (37 ppm), valores que sobrepasan a los límites máximos permisibles establecidos por la Organización Mundial de la Salud y por los Ministerios de Salud y Ministerio de Agricultura de nuestro país (CESEN, 1997; Cisneros, 1996; León en Hurtado, 2003).

Así mismo, los metales cobre, hierro, plomo y zinc son los más frecuentemente generados por las actividades mineras de la zona alto andina de nuestro departamento (Cisneros, 1996), habiéndose reportado el efecto de algunos de ellos en peces y moluscos (Gazmury y col., 1995; Huaranga y Padilla, 1992). Del mismo modo, investigaciones recientes reportan que los metales pesados no sólo están presentes en las aguas del río Moche, sino también en los suelos de cultivo: Fe: 0,7 mg/L; Pb: 0,07 mg/L; As: 0,02 mg/L; Cd: 0,01 mg/L; así como en *Manihot sculents* L. “yuca”: 1 ppm de cadmio; 9,0 ppm de hierro; 0,435 ppm de manganeso; 12,2 ppm de plomo en la raíz y 1 ppm de cadmio; 10,7 ppm de hierro; 0,203 ppm de manganeso; 9,3 ppm de plomo en el tallo; y en la infrutescencia de *Annonas comosus* L. “piña”: 1 ppm de cadmio; 3,9 ppm de hierro; 1,052 ppm de manganeso; 1,3 ppm de plomo (Sotelo y Palomino en CESEN, 1997; Soplopucó, 1999). Este hecho evidencia que al ser regados los suelos de cultivos con aguas contaminadas por metales pesados, estos no sólo se acumulan en el suelo sino que son absorbidos por el tejido radicular de los vegetales y luego trasladados al tejido de reserva, las que al ser consumidas por el hombre, inducirían probables alteraciones cromosómicas y genéticas (Duffus, 1983).

A pesar de esta preocupante realidad se desconoce en nuestro medio y en el país la proporción en que los metales pesados se incorporan a las partes comestibles de los vegetales que son sometidos al riego con dichas aguas contaminadas con metales pesados; por lo cual se formuló el siguiente problema ¿Cuál es la concentración de los metales de cobre, hierro, plomo y zinc en la parte comestible de *Lactuca sativa* “lechuga”, *Daucus carota* “zanahoria”, *Brassica oleráceo* “repollo” y *Raphanus sativus* “rabanito”?; planteándose como hipótesis de que “los metales cobre, hierro, plomo y zinc, se localizan en altas concentraciones en la parte comestible más que en otras partes de la planta”. El objetivo del trabajo fue, determinar la concentración de los metales, cobre, plomo, hierro y zinc en la parte comestible de las hortalizas ya mencionadas con la finalidad no sólo de encontrar metales pesados sino de sugerir alternativas de manejo a los agricultores.

Material y métodos

Universo muestral. Semillas de *Lactuca sativa* “lechuga”, *Daucus carota* “zanahoria”, *Brassica oleráceo* “repollo” y *Rapliaitus sativus* “rabanito”, en condiciones mejoradas y genéticamente homocigotas, adquiridas en centros agrícolas de Trujillo y cultivadas en campo abierto a fin de obtener semillas por autofecundación, así como también suelo homogéneo obtenido del área cultivada en la Universidad Nacional de Trujillo.

Reactivos. Los metales pesados son Cobre (Cu), Zinc (Zn), Plomo (Pb) y Fierro (Fe) en forma de sal de $\text{CuSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{ZnSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$; $\text{FeSO}_4 \cdot 7\text{H}_2\text{O}$ y $\text{Pb}(\text{NO}_3)_2$ Merck que sirvieron para preparar soluciones a 10% en agua destilada y agregados con el agua de riego durante la experiencia, preparando soluciones en partes por millón, (ppm) de 1%.

Campo experimental. El campo es de 100 m^2 , se construyeron 16 pozas de 0.30 m de profundidad, 2 m por lado y 0,5 m de separación, impermeabilizadas con polietileno, para evitar la difusión del agua y los químicos. Las pozas se llenaron con suelo homogeneizado franco-arenoso sin los elementos cobre, zinc, plomo y hierro.

Muestra. Constituida por 64 semillas de cada especie vegetal sembradas y obtenidas por autofecundación, fueron elegidas al azar para distribuir las en un diseño de cuadrado latino 4x4 (anexo 1) en presencia de un testigo y a 0,02 m de profundidad.

Diseño de Contrastación. Diseño experimental del tipo de bloques al azar en un cuadrado latino recomendado por Rodríguez (1984); se trabajaron cuatro tratamientos cobre, zinc, plomo, hierro; con cuatro repeticiones y un testigo, según el diseño:

Cu	Zn	Pb	Fe	T
Zn	Pb	Fe	Cu	T
Pb	Fe	Cu	Zn	T
Fe	Cu	Zn	Pb	T

Riego de las unidades experimentales. Las unidades experimentales fueron regadas con una solución de Fe, Cu, Pb. y Zn diluidas al 1% con frecuencia de 8 días a razón de 5 litros por cuadrado en cada riego.

Recolección de muestras. Las muestras de suelo para los análisis físico-químicos fueron tomadas antes de iniciar el proceso experimental y al final. Las muestras de los vegetales fueron las partes comestibles de la raíz y aérea.

Determinaciones físicas y químicas. Las físicas fueron determinación de la textura del suelo, conductividad eléctrica, pH. Las químicas se determinaron en las raíces y partes aéreas de las plantas, para suelo se usó espectrofotometría de absorción atómica.

Análisis Estadístico. Las semillas fueron sembradas en cada poza totalmente al azar (Sokal y Rohlf, 1980), para evitar los efectos de interacción experimental durante el procesamiento de los datos se usó la prueba paramétrica del análisis de varianza de Little (1976) con un modelo estadístico $Y_{ijk} = \mu + p_i + \alpha_j + \beta_k + \epsilon_{ijk}$

Resultados

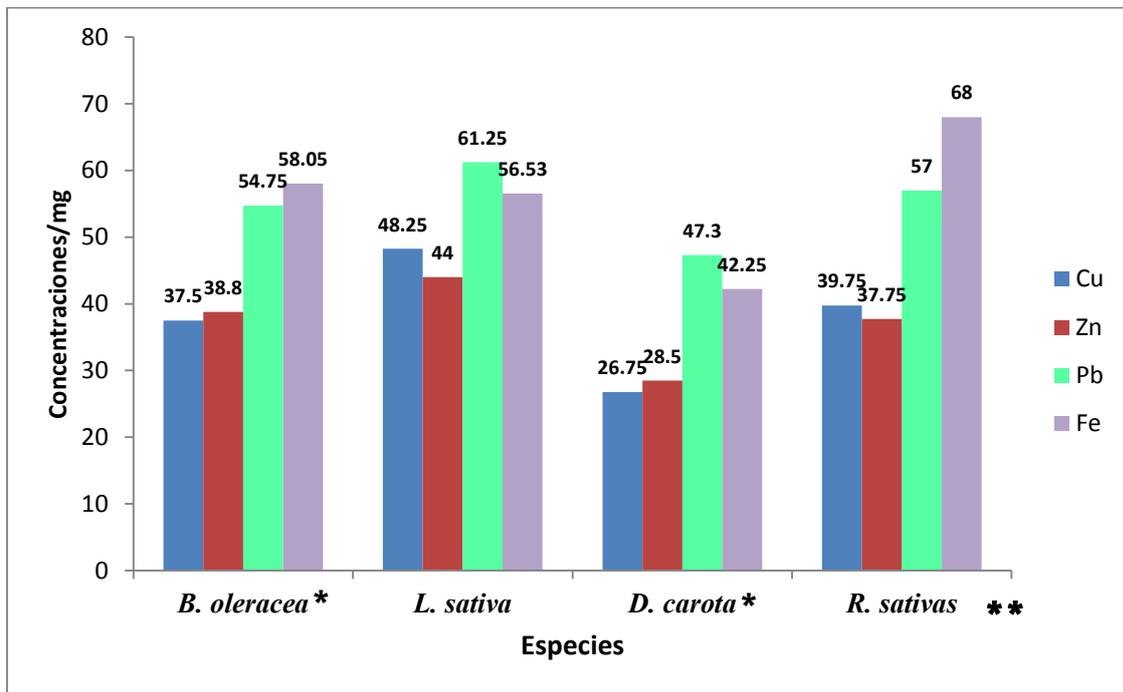


Figura 1. Concentraciones (ppm) de Cu, Zn, Pb y Fe en la raíz de *L. sativa*, *D. carota*, *B. oleracea* y *R. sativas* (*significativo, <0,05; **altamente significativo, >0,01)

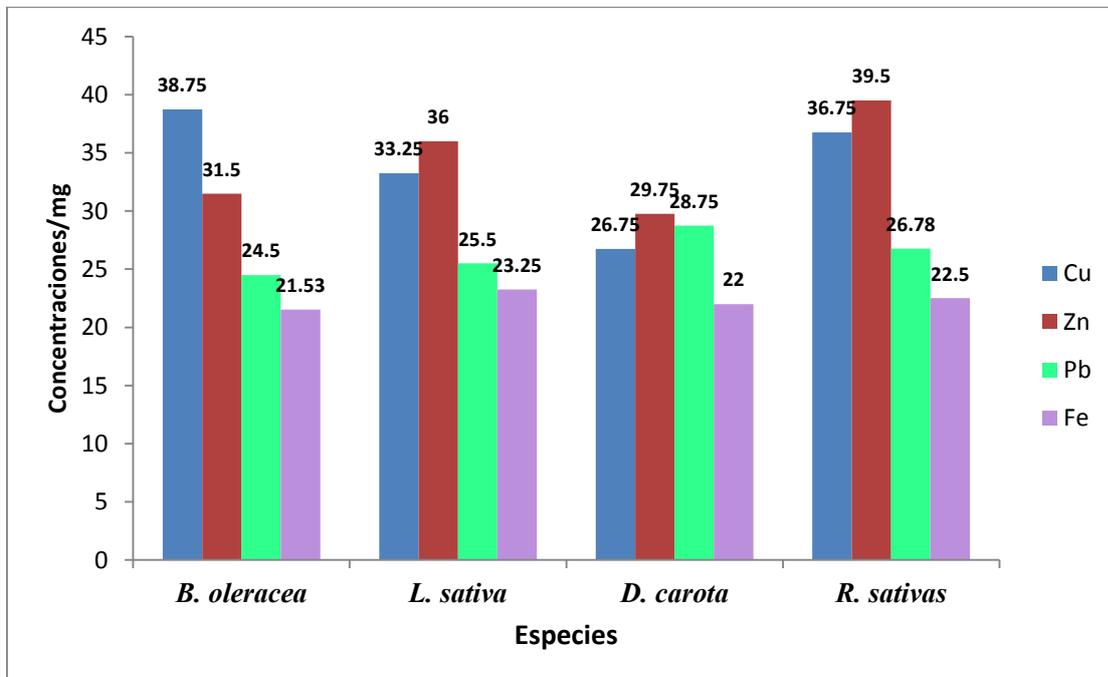


Figura 2. Comparación (ppm) de Cu, Zn, Pb y Fe en la parte aérea de *L. sativa*, *D. carota*, *B. oleracea* y *R. sativas*

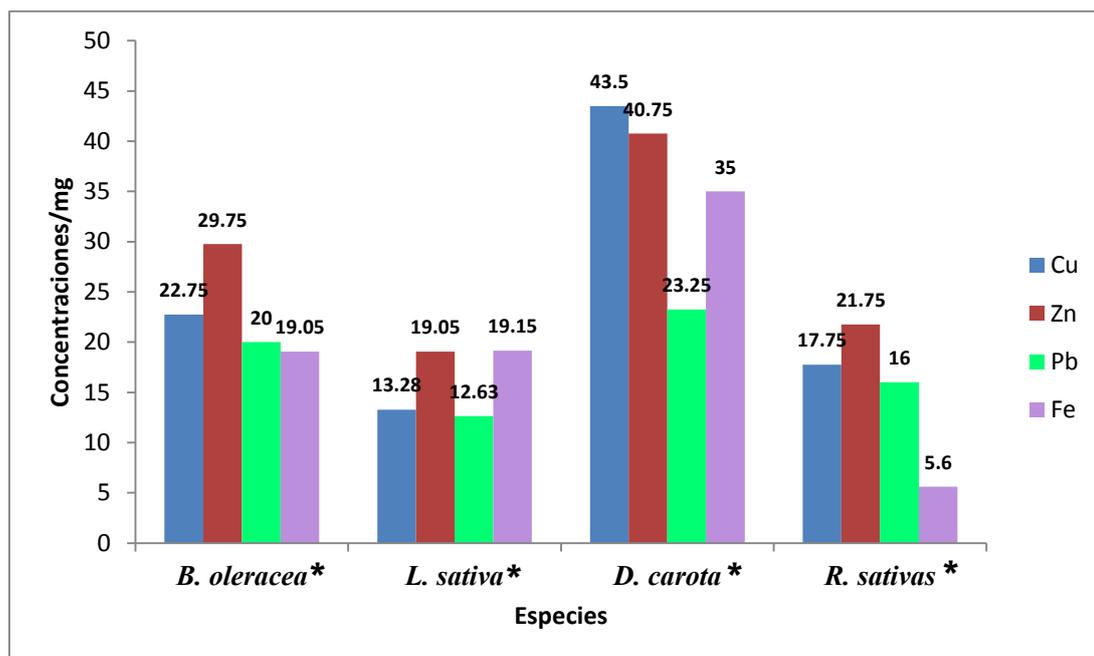


Figura 3. Comparación (ppm) de Cu, Zn, Pb y Fe en el suelo donde fueron cultivados *L. saliva*, *D. carota*, *B. oleracea* y *R. sativus sativus* (*significativo, <0,05)

Discusión

Al realizar un análisis de las concentraciones absolutas promedio de cada metal halladas en las raíces de las plantas (figura 1), vemos que *L. sativa* “lechuga”, *D. carota* “zanahoria” y *B. oleracea* “repollo” se presenta en alta concentración el zinc con 44 ppm, 61 ppm y 48 ppm, respectivamente; mientras que en la raíz de *R. sativus* “rabanito” el metal predominante es el hierro con 68 ppm. Por el contrario, el metal con baja concentración en *L. sativa* “lechuga”, y *B. oleracea* “repollo” y *R. sativus* “rabanito” es el plomo con 28 ppm, 26 ppm y 42,3 ppm, respectivamente; mientras que en raíz de *D. carota* “zanahoria” el metal con menor concentración es el cobre con 54 ppm lo que nos permite suponer que la raíz tuberosa de *R. sativus* tienen afinidad por el hierro asociado al tejido y moléculas predominantes (Wiley y Sons, 1960).

Las altas concentraciones de zinc hallados en las raíces de las plantas sugieren que el mismo metal debería hallarse en bajas cantidades en el suelo; en efecto, como puede verse en la figura 3, las proporciones de zinc determinadas en el sustrato fueron disminuidas con lo que se demuestra la coherencia de los resultados absolutos en términos de presencia del indicado metal hallados tanto en la parte comestible de las raíces y en el suelo.

Al someter los resultados de las concentraciones de Cu, Pb, Fe y Zn hallados en las raíces de *L. sativa* “lechuga”, *D. carota* “zanahoria”, *B. oleracea* “repollo” y *R. sativus* “rabanito” a la prueba paramétrica del análisis de varianza no existe una diferencia significativa a nivel de las fuentes de variación de filas y columnas; sin embargo, en la fuente de variación de los tratamientos se evidencia significación. En *B. oleracea* “repollo” y *D. carota* “zanahoria” se obtienen resultados significativos ($P < 0,05$) mientras que en *R. sativus* “rabanito” el resultado es altamente significativo (**) ($P < 0,01$)- Esto significa que los diversos tratamientos de cobre, plomo, hierro y zinc,

realizados en el presente trabajo sí influyeron en la acumulación de los metales en las raíces de *B. oleracea* “repollo”, *D. carota* “zanahoria” y *R. Sativus* “rabanito”. Este resultado, considerado importante desde el punto de vista de la salud humana, evidencia que *R. Sativus* “rabanito”, en donde precisamente se halló el valor PP más significativo, se convierte en una hortaliza altamente susceptible a los metales pesados presentes en las agua de riego y en un factor de primer orden en la probable causa de enfermedades en las personas que tienden a usarlo en la alimentación directa.

En cuanto a las concentraciones absolutas promedio de cada metal determinados en los tallos (figura2), vemos que en *B. oleracea* “repollo”, *L. saliva* “lechuga”, *D. carota* “zanahoria” y *R. sativus* “rabanito” se presentan en mayor proporción el cobre, hierro, plomo y zinc, con 38,7 ppm, 39,5 ppm, 28.8 ppm y 23,5 ppm, respectivamente. Con simple inspección, se puede observar que las plantas de tallo y hojas exuberantes como *B. oleracea* “repollo” y *L. sativa* “lechuga” concentran las mayores proporciones de metal mientras que las plantas con tallos menos extensos, delgados y pubescentes como *D. carota* “zanahoria” y *R. sativus* “rabanito” (Vera, 1996) lo presentan en menor cantidad.

La incorporación del metal en la parte aérea de la planta, está asociada a su estructura tisular y morfológica; tal es así, que el tejido xilemático o leño encargado del transporte de agua y de minerales disueltos desde la raíz hacia las diferentes partes de la planta donde el agua y sales se desplazan ascendentemente desde el suelo a través de la epidermis, la corteza y la endodermis, situados en los tejidos vasculares de la raíz y sube a través de los elementos del xilema que está formado por células alargadas, vasculares y lignificadas (Salisbury y Ros,1992). Las plantas investigadas son herbáceas por presentar un tallo y ramas de corteza generalmente verde con gran cantidad de parénquima clorofiliano y con escaso tejido protector de allí, la razón porque mueren después de algunos meses de vegetación.

Sin embargo, al someter los resultados de las concentraciones de cobre, plomo, hierro y zinc, hallados en los tallos y hojas de *L. sativa* “lechuga”, *D. carota* “zanahoria”, *B. oleracea* “repollo” y *R. sativus* “rabanito” a la prueba paramétrica del análisis de varianza no se encuentra una diferencia significativa en ninguna de las fuentes de variación sea a nivel de filas, columnas y tratamientos; pues los valores son $P > 0,05$. Esto significa que los metales cobre, plomo, hierro y zinc, se acumulan indistintamente en los tallos de las plantas no teniendo ninguna implicancia el que sean frondosos como *B. oleracea* “repollo” y *L. sativa* “lechuga” o poco exuberantes como *D. carota* “zanahoria” y *R. sativus* “rabanito”.

En cuanto al análisis de las concentraciones absolutas promedio de cada metal hallados en el suelo en donde se desarrollaron *L. sativa* “lechuga”, *D. carota* “zanahoria”, *B. oleracea* “repollo” y *R. sativus* “rabanito” vemos que el plomo se encuentra en mayor proporción en todos los suelos. Al observar las proporciones de plomo en los suelos en donde se cultivan *B. oleracea* “repollo” y *L. sativa* “lechuga” vemos que están presentes en cantidades de 43,5 ppm y 40,8 ppm, respectivamente, cifras superiores a las cantidades de plomo determinadas en los suelos en donde se cultivan *D. carota* “zanahoria” y *R. sativus* “rabanito” con 23,3 ppm y 35 ppm, respectivamente. De aquí se podría deducir que las hortalizas de tallo carnoso como *D. carota* “zanahoria” y *R. sativus* “rabanito” son las que presentan una mayor capacidad de absorción del metal pesado plomo, debido a su notable acumulación de sustancias de reserva básicamente pigmentario en sus raíces. Las concentraciones de plomo hallados

en la parte aérea de estos vegetales (tabla 1) permiten apreciar en qué parte de la planta es mayoritariamente acumulado el plomo. Esta propiedad de ambas especies podrían usarse en términos benéficos para procesos de bioremediación como “limpiadores” de metales pesados de suelos (Duffus, 1983; Miller, 1994), sobre todo si se considera que el plomo es uno de los metales más tóxicos para los seres vivos por su naturaleza acumulativa: ya que su ingesta produce dolor abdominal, vómito y diarrea (OMS, 1974) así como anemia y alteraciones nerviosas (Manan, 1993); mientras que en el medio ambiente provoca desequilibrios bioenergéticos en los diversos sustratos al cual se incorpora (Badillo, 1998).

Al someter los resultados de las concentraciones de cobre, plomo, hierro y zinc, hallados en los suelos de *B. oleracea* “repollo”, *L. sativa* “lechuga”, *D. carota* “zanahoria” y *R. sativus* “rabanito” a la prueba paramétrica del análisis de varianza, observamos que no existe una diferencia significativa a nivel de las fuentes de variación de filas y columnas; sin embargo, en la fuente de variación de los tratamientos si se evidencia significación ($P < 0,05$). Listo significa que los diversos tratamientos de cobre, plomo, hierro y zinc aplicados al suelo influyen en la acumulación de los metales en los distintos vegetales. Esta significación es importante desde el punto de vista ambiental porque refiere que los diferentes metales presentan diversas dinámicas de procesamiento no solo de acuerdo al tipo de suelo al cual se incorporan sino también al vegetal existente en el medio.

Conclusiones

L. sativa, *D. carota* y *B. oleracea* presentan una alta concentración de zinc en las raíces (44 ppm, 61 ppm y 48 ppm, respectivamente); la raíz de *R. sativus* acumula predominantemente el hierro (68 ppm).

B. oleracea, *L. sativa*, *D. carota* y *R. sativus* acumulan en los tallos en mayor proporción el cobre, hierro, plomo y zinc, con 38,7 ppm, 39,5 ppm, 28,8 ppm y 23,5 ppm, respectivamente.

D. carota y *R. sativus* son las que presentan una mayor capacidad de absorción del metal pesado plomo, esta propiedad podría usarse en términos benéficos para procesos de biorremediación como “limpiadores” de metales pesados de suelos.

R. sativus es la hortaliza altamente susceptible a los metales pesados presentes en las agua de riego y en un factor de primer orden en la probable causa de enfermedades en las personas que tienden a usarlo en la alimentación directa.

Referencias bibliográficas

- Badillo, F. (1998). *Toxicología ambiental*. Centro panamericano de ecología humana y salud.
- CESEN. (1997). *Ecología y medio ambiente regional*. Trujillo, Perú.
- Cisneros. (1996). *Contaminación de metales pesados procedentes de los relaves mineros en la fauna íctica del distrito de Samne (Otuzco)*. Tesis para optar el título de Biólogo Pesquero. Univ. Nac. de Trujillo.

- Corzo, R. (1986). *El problema de los residuos mineros en el Perú*. Encuentro latinoamericano sobre residuos mineros. Lima, Perú. pp. 15.
- Dirección General de Agua y Suelos. (1999). *Delimitación de franja marginal del río Moche*: Resumen ejecutivo. Lima.
- Duffus, J. (1983). *Toxicología ambiental*. Universidad de Heriot-Watt, Barcelona: Omega SA.
- Ferreyros, A. y Salazar, C. (2000). *Problemas ambientales de la región de Cusco* <http://www.conam.uoh.pe/cap21/car%20cusco.html> 23 de noviembre del 2010.
- Gazmury, M. S.; Kawada, M. E. y Santos, M. J. (1995). Evaluación de la toxicidad genética por cobre en *Perumytilus purpuratus* "chorito". Libro de resúmenes. XXXIX reunión anual de la sociedad biología de Chile.
- Huaranga, M. y Padilla, E. (1992). *Toxicidad agua del cobre, zinc y fierro en "gupy" (Poecilia reticulata)*. Primeras jornadas de investigación en ciencias biológicas, Univ. Nac. de Trujillo.
- Hurtado, M. (2003). Evaluación de la contaminación ambiental por metales pesados (plomo, mercurio y cromo) y sustancias orgánicas en playas de Salaverry en 2001. Tesis de Maestría en Gestión Ambiental. Univ. Nac. de Trujillo.
- Manam, S. (1993). *Fundamentals of environmental chemistry*. Lewis publishers.
- Miller, C.T. (1994). *Ecología y medio ambiente*. México D.F.: Iberoamericana.
- Ministerio de Energía y Minas. (1993). *Minería y medio ambiente: un enfoque técnico legal de la minería en el Perú*. Lima, Perú.
- OMS. (1974). *Contaminación química*. México DF: Panamericana.
- Osasa, G. (1984). *Estudio de la contaminación y prevención del río Moche*. Dirección general del medio ambiente. Ministerio de Salud. Lima, Perú.
- Salisbury, F. y Ross, W. (1992). *Fisiología de las plantas*. España: Thompson.
- Salud ambiental. (1997). Aportes al manejo del ambiente para una salud de calidad en el Perú. Lima. MINSAs.
- Soplopucó, C. (1999). Contaminación por relaves sobre agua, suelos y cultivos en la cuenca baja del río Moche, enero-diciembre, 1998. Tesis para optar el grado de Maestro en Ciencias mención Gestión Ambiental. Univ. Nac. de Trujillo.
- Vera, B. (1996). Coalición de la cuenca del río Bravo/río grande" <http://www.vrioweb.org/z/datosdclacuena.html> 8 de diciembre del 2010.
- Wiley, J. & Sons, I. (1960). *Experimental biochemistry*. New York: Litwack.