

BIOCONCENTRACIÓN DE ELEMENTOS MINERALES EN *Amaranthus dubius* (bledo, pira), CRECIENDO SILVESTRE EN CULTIVOS DEL ESTADO MIRANDA, VENEZUELA, Y UTILIZADO EN ALIMENTACIÓN

ELIZABETH OLIVARES y EDER PEÑA

RESUMEN

El objetivo de este trabajo fue evaluar en la especie *Amaranthus dubius* el factor de bioconcentración (FB) de nutrientes minerales y metales no esenciales, dada por el cociente entre su concentración en los órganos aéreos y la de los respectivos suelos, en muestras colectadas en tres sitios del Estado Miranda, Venezuela: El Jarillo, la Escuela Técnica Agropecuaria Carrizal y La Maitana. También se comparó el FB con el de otras seis especies, entre ellas *A. hybridus*. Se encontró que en las dos especies de amaranto el FB de K fue mayor y se observó bioconcentración de N, P, K, Mg, Ca y Cd en sus hojas; sin embargo, para Al, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Co, Cr y Pb se obtuvo un $FB < 1$. En Carrizal se hizo un segundo muestreo, colectando las raíces,

comparándose *A. dubius* con tallos verdes o rojizos, y no se encontraron diferencias en la composición elemental en plantas de diferente coloración. Las hojas presentaron mayor concentración que las raíces para N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn (factor de transferencia, $FT > 1$). *A. dubius* resultó muy rico en N, P, K, Ca, Mg, Fe y Zn, elementos que interesan en la dieta animal, obteniéndose valores mayores en las hojas en comparación con las inflorescencias; sin embargo, se alerta sobre la necesidad de un control de los elementos no esenciales que pueden presentarse en concentraciones no recomendadas para el consumo, tal como ocurrió con Cd, Al, Cr y Pb en las muestras colectadas.



Existen aproximadamente 70 especies del género cosmopolita amaranto, de las cuales 40 son nativas de América y 12 están presentes en Venezuela, entre ellas *Amaranthus dubius*, la cual se encuentra en ambientes secundarios y tiene uso alimenticio, como forraje y medicinal (Carmona Pinto, 2007). *A. caudatus* ('kiwicha') fue cultivado por los incas y otras civilizaciones precolombinas (NRC, 1989) y *A. cruentus* ('huautli') fue cultivado por los aztecas (AMA, 2003). Las especies de amaranto más conocidas en el mundo son *A. hypochondriacus*, *A. cruentus* y *A. caudatus*, cultivadas en Europa para producir harinas desde 1970, por su alto valor nutricional (Bavec y Mlakar, 2002).

En este trabajo nos referimos a *A. dubius*, que se ha reportado no para obtener grano sino como vegetal de hoja (Arellano *et al.*, 2004, Odhav *et al.*, 2007). En Argentina se realizó un estudio nutricional de *A. dubius* en un cultivo experimental utilizando hojas y tallos tiernos con escasa inflorescencia y se reportó un alto valor nutracéutico por el contenido en fibra insoluble y proteína de la especie (Arellano *et al.*, 2004). *A. dubius* ha sido considerada en Venezuela como una especie silvestre potencialmente cultivable (Blanco-Espinoza, 1999) al estudiar su eficiencia del uso del fósforo, acumulación de azúcares y fotosíntesis. También se ha estudiado en el país la distribución del nitrógeno foliar en respuesta a la iluminación (Anten y Werger, 1996) y la distribu-

ción espacial de la enzima carboxilante RuBISCO en los cloroplastos del mesófilo y de la vaina vascular, considerándose que posee una ruta fotosintética C4 (Castrillo *et al.*, 1997). La Fundación para la Investigación Agrícola reporta *A. dubius* como maleza (DANAC, s/a) y se ha estudiado su germinación (Wulff, 1988) y su arquitectura foliar (Ferrarotto, 1998). Esta especie es reservorio de nemátodos y hospedero de plagas, tales como la larva de *Spodoptera eridania* (Gueneé), Lepidoptera, Noctuidae, conocida como el gusano pirero (PAV, s/a). Existen otras especies de amaranto también consideradas como malezas, entre ellas *A. albus*, *A. blitoides*, *A. hybridus*, *A. retroflexus*, *A. rudis*, *A. palmeri* y *A. powelii* (Ortiz-Ribbing y Williams, 2006).

PALABRAS CLAVE / Amaranto / Bledo / Nutrientes / Pira /

Recibido: 01/12/2008. Modificado: 21/08/2009. Aceptado: 25/08/2009.

Elizabeth Olivares. Licenciada en Biología, Universidad Central de Venezuela (UCV). Doctora en Ecología, Instituto Venezolano de Investigaciones Científicas (IVIC), Venezuela. Investigadora, IVIC, Venezuela. Dirección: Centro de Ecología, IVIC, Carretera Panamericana Km 11, Sector Altos de Pipe, Estado Miranda, ZP. 1204, Venezuela. e-mail: eolivare@ivic.ve

Eder Peña. Licenciado en Biología, UCV. Profesional Asociado, IVIC, Venezuela.

El interés en *A. dubius* se ha justificado por su valor nutricional, ya que puede producir 27ton·ha⁻¹ de materia verde vs 6.5ton·ha⁻¹ en el caso de *A. hypocondriacus*, lo cual corresponde a 4191 vs 682kg·ha⁻¹ de materia seca o 929 vs 154kg·ha⁻¹ de proteína (Arellano *et al.*, 2004).

En KwaZulu-Natal (Sur África) se estudió el valor nutricional de *A. dubius* ('Imbuya' en lengua Zulu), donde regularmente se consume como vegetal de hoja y se reportó la concentración foliar de N, P, Ca, Mg, Zn, Mn, Fe y Na (Odhav *et al.*, 2007). En el presente trabajo se estudió además la concentración de K, Al, Cu, Ni, Cr y Co, y se analizaron también otros órganos de la planta, lo cual permite calcular el factor de transferencia, FT (concentración en la hoja/concentración en la raíz). También fueron analizados los suelos, lo cual permite calcular el factor de bioconcentración, FB (concentración en el órgano aéreo, hojas o inflorescencias/concentración en el suelo). Por otra parte Nabulo *et al.* (2006) estudiaron la concentración de Pb, Cd y Zn en *A. dubius* en Kampala, Uganda, así como en los suelos. En el Estado Miranda, Venezuela, se manufacturan artesanalmente productos alimenticios, tales como galletas y tortas, a partir de los órganos aéreos (hojas, tallos e inflorescencias) de *A. dubius* que crecen silvestres, por lo cual es de interés evaluar la concentración de elementos minerales en esta especie.

Aunque *A. dubius* es generalmente de color verde, se puede observar en algunas plantas una coloración roja en los tallos y raíces. Este color se debe a la amarantina (betacianina, un tipo de betalaína) en *A. tricolor* (Piatelli *et al.*, 1969) y *A. caudatus* (Bianco-Colomas, 1980). Las betalainas contienen N, a diferencia de las antocianinas, y no se conoce por qué la presencia de ambos tipos de pigmento es mutuamente excluyente en angiospermas (Tanaka *et al.*, 2008), siendo su presencia un criterio importante para la clasificación del orden Caryophyllales. Solo ocurren en 10 familias de dicho orden, entre ellas las Amaranthaceae. De acuerdo a Cai *et al.* (2005), debido a que los amarantos tienen una producción de biomasa alta, han atraído interés como una alternativa potencial a las conocidas betalainas de las remolachas para ser usados como colorantes naturales, dada la tendencia en aumento a reemplazar los colorantes sintéticos por pigmentos naturales más saludables: Aunque éstos son menos estables y más costosos que los sintéticos, se están uti-

lizando en la industria alimenticia. Por otra parte, las betalainas han sido clasificadas como antioxidantes y su color no depende del pH, siendo más estables que las antocianinas (Tanaka *et al.*, 2008). Las betalainas contienen N, como se mencionó antes, por lo cual es de interés conocer si existe relación entre el contenido de elementos minerales y las dos coloraciones que se pueden observar en *A. dubius*.

En base a lo expuesto, los objetivos del presente trabajo son: 1) Calcular la bioconcentración de nutrientes y metales en plantas de *A. dubius* cosechadas en el Estado Miranda para la fabricación de alimentos y comparar con la bioconcentración de los mismos en otras plantas, entre ellas *A. hybridus*. 2) Calcular los factores de transferencia de metales desde las raíces a las hojas. 3) Investigar si las concentraciones de los elementos minerales son diferentes en plantas con diferente coloración.

Materiales y Métodos

Sitios de estudio y colección de muestras

Se colectaron hojas e inflorescencias de plantas adultas de *Amaranthus dubius* Mart. Ex Thell. (Amaranthaceae) el 8/02/2007 en El Jarillo (10°21'N, 67°10'O, 1488msnm), la Escuela Técnica Agropecuaria Carrizal (10°21'N, 66°58'O, 1321msnm) y La Maitana (10°20'N, 66°56'O, 1228msnm). Se colectaron además hojas de *Amaranthus hybridus* L. en Fila de Márquez (10°18'N, 67°11'O, 1399msnm), especie que no estaba presente en los sitios donde se halló *A. dubius*. El pH del suelo es neutro: 7,30 ±0,07 en El Jarillo; 7,44 ±0,24 en Carrizal; 7,18 ±0,03 en La Maitana; y 6,97 ±0,05 en Fila de Márquez. Las plantas se encontraban creciendo silvestres adyacentes a cultivos, por lo cual no recibían tratamientos agrícolas (fertilización, pesticidas, riego) directamente.

Se tomaron muestras de los suelos en los sitios mencionados para calcular el factor de bioconcentración (FB) antes definido, utilizando un barreno de Forestry Suppliers, Inc., EEUU, a 0-20cm de profundidad y las muestras se secaron al aire.

El 31/07/2007 (época de lluvias) se colectaron plantas completas de *A. dubius* en la Escuela Técnica Agropecuaria Carrizal, se separaron las plantas en hojas, inflorescencias, tallos y raíces con la finalidad de calcular el factor de transferencia (FT) definido anteriormente. Se encontraron plantas con

tallos verdes y rojizos, por lo que se separaron las plantas por color para comparar la composición elemental en plantas de diferente coloración.

Análisis de nutrientes y metales en plantas y suelos

Se lavaron las plantas con agua corriente, se secó el material vegetal a peso constante en una estufa a 70°C y se molió en un molino Wiley Mill 3383-L10 (Thomas Scientific, EEUU). Se determinaron las concentraciones de K, Mg, Ca, Al, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Co, Cr, Cd y Pb mediante espectrometría de absorción atómica de llama con un equipo Varian Spectra AA55B (Victoria, Australia) en digeridos hechos en una mezcla de ácido nítrico y perclórico (Miller, 1998), utilizando 500mg de material seco. En el muestreo de julio se analizó también Na. Se determinó P en los digeridos según Murphy y Riley (1962) y N por el método de Kjeldahl en digeridos con ácido sulfúrico. La concentración de elementos minerales corresponde al interior de la célula y a las paredes celulares. Se utilizó un estándar certificado de hojas de durazno (1547, NIST, Gaithersburg, EEUU) y la recuperación fue >96% para los elementos investigados. Los suelos se secaron al aire y se tamizaron a <2mm; se utilizó el mismo procedimiento utilizado con las plantas para digerir y determinar los elementos minerales y se midió el pH en agua (Jones, 2001).

Análisis estadísticos

Se realizaron pruebas t con el paquete estadístico SigmaStat 3.1 (2004) para comparar los resultados de plantas de diferente coloración o colectadas en dos oportunidades.

Resultados y Discusión

Macronutrientes y Cd en suelos, inflorescencias y hojas

En los suelos se observaron diferencias contrastantes en las concentraciones de P (0,36-3,85g·kg⁻¹), siendo mayor en La Maitana que en El Jarillo y Carrizal (Figura 1), con un índice de variación (valor mayor-valor menor)/valor mayor, de 0,91. El Ca también presentó concentraciones contrastantes en el suelo en los tres sitios (3-25g·kg⁻¹) por lo que es interesante la respuesta en la concentración foliar, que resultó siempre alta (32-37g·kg⁻¹). El índice de variación del Ca en el sue-

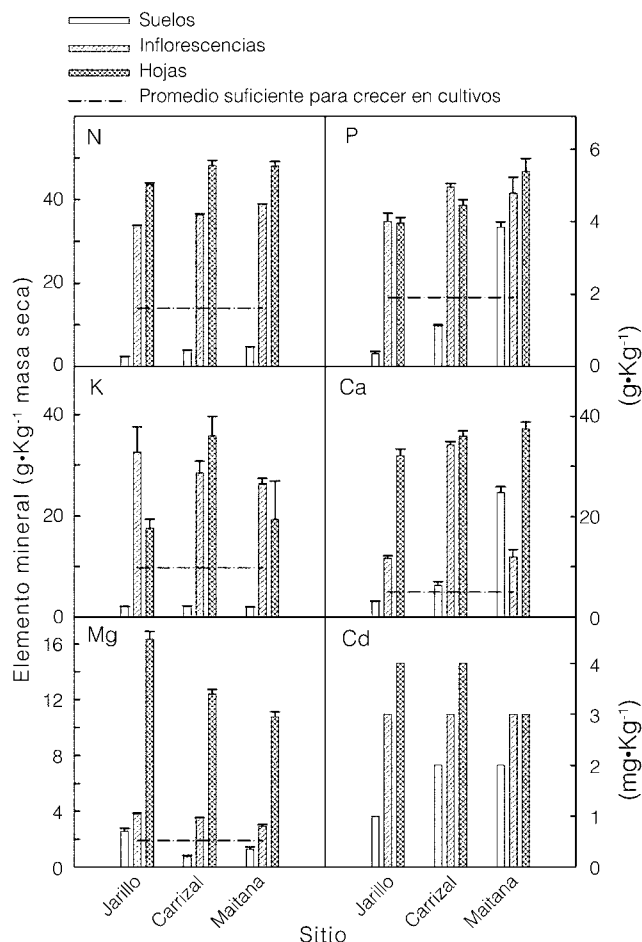


Figura 1. Concentración de macronutrientes y Cd en suelos, inflorescencias y hojas de *A. dubius* en tres sitios del Estado Miranda, Venezuela. Barras: promedio y error estándar. La línea interrumpida indica las concentraciones adecuadas de los nutrientes en tejidos vegetales según Epstein y Bloom (2005).

lo fue de 0,88 mientras que el elemento que presentó menor índice de variación en el suelo fue el K (0,07). Si se comparan las concentraciones de Cd de los suelos representados en la Figura 1 con los valores promedios para suelos en el mundo ($0,06\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) referidos por He *et al.* (2005) se concluye que los suelos estudiados presentaron niveles mayores, pero dentro del nivel considerado tolerable ($4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$). El índice de variación del Cd en el suelo fue de 0,50 y los valores más bajos se encontraron en El Jarillo.

Las concentraciones de N y P en hojas e inflorescencias fueron superiores a lo que normalmente es adecuado en tejidos vegetales de acuerdo a Epstein y Bloom (2005) y están dentro del rango que señalan Wright *et al.* (2004), de $2-64\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ para N y de $0,08-6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ para P. Con los valores de proteína que reporta Odhav *et al.* (2007) en hojas de *A. dubius* en Sur África se puede calcular una concentra-

ción de N de $43\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$; las plantas presentaron una concentración de P de $4,87\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, lo que da un cociente N/P de $19,36\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$. En el caso presente el N/P foliar es de 11,05-10,83 y 8,92 en las plantas colectadas en El Jarillo, Carrizal y La Maitana, respectivamente, lo cual podría indicar limitaciones por N, ya que según Güsewell (2004) pudiese existir limitación de N con un N/P foliar $<22\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$ y de P si es $>44\text{mol}\cdot\text{mol}^{-1}$.

Las concentraciones foliares de Ca fueron altas, comparadas con el rango reportado en plantas, que es de $1-50\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ de masa seca (Marschner, 1995). Broadley *et al.* (2003) reportaron en *A. hypochondriacus* una concentración de Ca de $18,8 \pm 5,9\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. Cuando compararon las concentraciones de Ca en angiospermas, las plantas pertenecientes al orden Caryophyllales, que incluye a la familia Amaranthaceae, presenta-

ron valores de Ca de $11,3\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ y los órdenes con los valores más altos fueron Cucurbitales (pepinos) con $32,9\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, Brassicales (repollos) con $28,0\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ y Malpighiales (Clusiaceae, Euphorbiaceae, Flacourtiaceae, Violaceae) con $26,4\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$. En el presente caso se determinó Ca total y no se conoce si se encuentra asociado a oxalato, tal como ocurre en *A. lividus* (Kinzel y Lechner, 1992).

Se ha encontrado una relación lineal entre el Mg y el Ca, siendo las monocotiledóneas más pobres en estos elementos minerales que las dicotiledóneas (White y Broadley, 2003). Las Caryophyllales se salen de esta relación por presentar valores muy altos de Mg ($7,6\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) y particularmente en *A. hypochondriacus*, donde Broadley *et al.* (2004) reportaron $9,5\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$, siendo el valor más alto entre 117 especies que representaban 24 órdenes. En este estudio se hallaron valores hasta de $16,33\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ en *A. dubius* de

El Jarillo, mucho mayor al Mg reportado por Larcher (1995) de $0,7-9\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$.

El nivel tóxico de Cd en plantas, dado por la concentración foliar en la que se reduce la cosecha en un 10%, es muy variable en plantas. Por ejemplo, puede ser $0,7\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en caraota y $>40\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en lechuga. A diferencia de lo que ocurre en caraota, que mantiene una concentración de Cd cercana a cero, los vegetales de hoja repollo y lechuga pueden alcanzar concentraciones altas de Cd ($30-40\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$) cuando se incrementa la concentración de Cd en el suelo hasta $30\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ (Schulze *et al.*, 2005). Aunque las plantas toleran estas concentraciones sin mostrar síntomas visibles de intoxicación y manteniendo su tasa de crecimiento no son aptas para ser consumidas. La Comisión Reguladora de Alimentación de la Comunidad Europea (EC, 2006) permite una concentración de Cd en vegetales de hoja de $0,2\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ de masa fresca, equivalente a $1,33\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ masa seca si se considera un 85% de agua en las plantas. En hojas lavadas de *A. dubius* se halló una concentración de Cd de hasta $4\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$. Nabulo *et al.* (2006) encontraron una concentración máxima de Cd de $0,95 \pm 0,17$ (promedio \pm error estándar, $n=5$) en hojas lavadas de esta especie. Se ha reportado que *A. hybridus* (Puschenreiter *et al.*, 2001) y *A. blitoides* (Del Río *et al.*, 2002) tienden a acumular Cd. Manipulando la rizósfera con EDTA, Puschenreiter *et al.* (2001) lograron obtener concentraciones de Cd de $10,3\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$ en *A. hybridus*.

En el presente estudio se observó que las concentraciones de N, Ca, y particularmente Mg, en *A. dubius* fueron mayores en las hojas que en las inflorescencias.

Al, Fe y Mn en suelos, inflorescencias y hojas

En la Figura 2 se observa que todos los suelos fueron muy ricos en Al, presentándose valores entre $11,4$ y $20,8\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$ en El Jarillo y Carrizal (índice de variación de 0,45). Concentraciones altas de Al en suelo fueron reportadas en otras localidades del Estado Miranda (Olivares *et al.*, 2002, 2009). En los suelos de El Jarillo se observaron los valores más altos de Mn, pero los más bajos de Fe. Las concentraciones foliares de Al encontradas en *A. dubius* en La Maitana fueron $>1000\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, concentración que es uno de los criterios utilizados para definir plantas acumuladoras de Al (Olivares *et al.*, 2009). Las concentraciones foliares de Mn fueron bajas comparadas con aquellas adecuadas

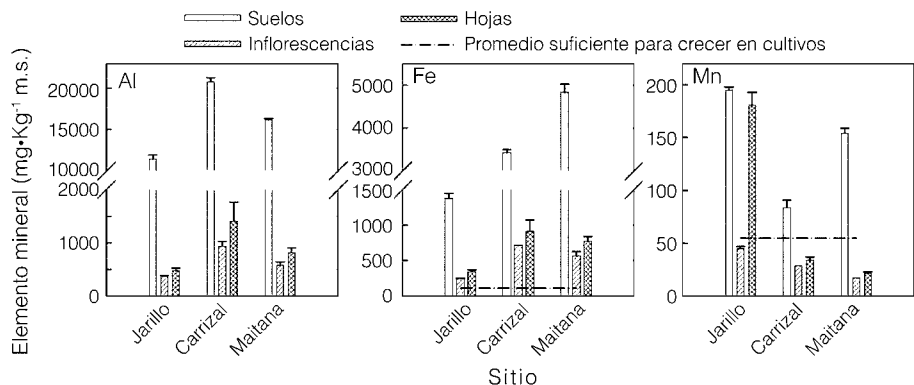


Figura 2. Concentración de Al y los micronutrientes Fe y Mn en suelos, inflorescencias y hojas de *A. dubius* en tres sitios del Estado Miranda, Venezuela. Barras: promedio y error estándar. La línea interrumpida indica las concentraciones adecuadas de Fe y Mn en tejidos vegetales según Epstein y Bloom (2005).

para tejidos vegetales según Epstein y Bloom (2005), exceptuando las de plantas colectadas en El Jarillo, y mucho más bajas que las encontradas por Ordhav *et al.* (2007) en *A. dubius* en África (820mg·kg⁻¹). Foy y Campbell (1984) reportaron tolerancias diferentes al Al y Mn en diferentes amarantos de la misma especie, por lo que proponen identificar, seleccionar y desarrollar aquellos que sean más tolerantes para utilizarlos en suelos marginales ácidos.

Zn, Cu y metales no esenciales

En la Figura 3 se observa que en los suelos de La Maitana se encontraron los valores más altos de Zn, Cu, Co, Ni y Pb, mientras que en los suelos de Carrizal se encontró la mayor concentración de Cr. En El Jarillo se observaron los valores más bajos de los seis elementos mencionados. Si se comparan las concentraciones de metales de los suelos con los reportados como normales (mg·kg⁻¹) por Sridhara Chari *et al.* (2008) para el Zn (1-100), Cu (5-20), Co (5-20), Ni (0,02-5,2), Cr (0,03-14) y Pb (5-15), se observa que los niveles encontrados de Co, Ni, Cr y Pb son superiores a lo normal, al igual que ocurrió para el Zn y Cu, exceptuando en El Jarillo, pero estos valores se encontraron dentro de los límites que reporta Sridhara Chari (2008) como tolerables en suelos, de 300, 100, 40, 60, 50 y 100mg·kg⁻¹ para Zn, Cu, Co, Ni, Cr y Pb, respectivamente. Las concentraciones foliares de los micronutrientes Zn y Cu no sobrepasaron los niveles señalados por Ross (1994) para plantas contaminadas, lo que si ocurrió con el Cr en los tres sitios estudiados. Los fungici-

das y pesticidas pudiesen aportar metales, sin embargo esto no ha sido investigado. Zayed *et al.* (1998) encontraron con espectroscopia de absorción de rX que en nueve especies de cultivo el hexacromo se con-

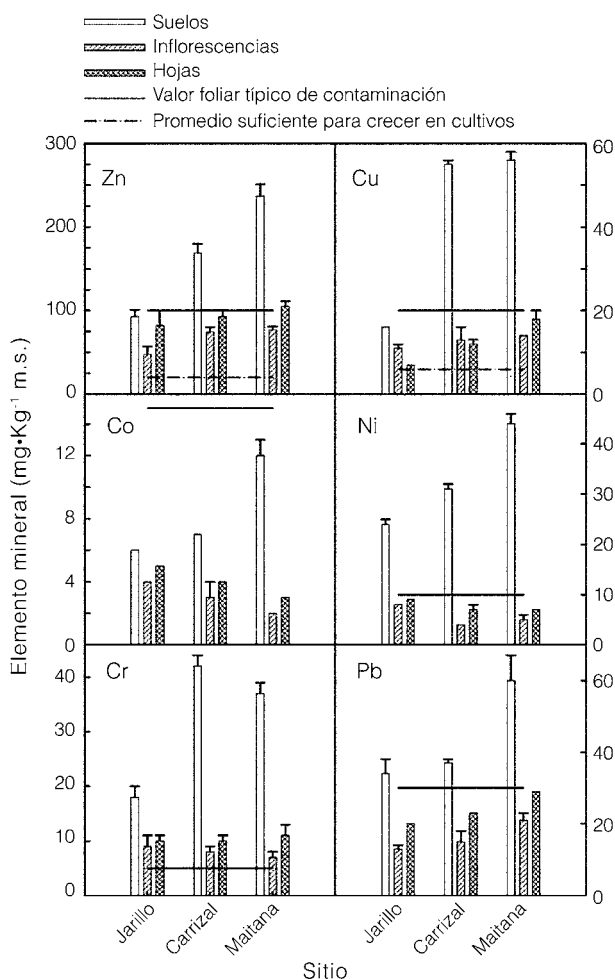


Figura 3. Concentración de los micronutrientes Cu y Zn y de metales no esenciales en suelos, inflorescencias y hojas de *A. dubius* en tres sitios del Estado Miranda, Venezuela. Barras: promedio y error estándar. La línea interrumpida indica las concentraciones adecuadas de Cu y Zn en tejidos vegetales según Epstein y Bloom (2005). La línea continua indica las concentraciones reportadas por Ross (1994) para hojas de plantas contaminadas.

vertía en la raíz en Cr(III) y éste es 20-100 veces menos tóxico que el Cr(VI). También encontraron que la translocación desde las raíces a los vástagos de ambas formas de Cr estaba muy limitada, siendo la concentración en las raíces 100 veces mayor que en los vástagos. En el presente trabajo solo se evaluó el Cr total, pero es importante conocer la especiación del Cr, ya que el Cr(VI) es altamente tóxico y móvil comparado con el Cr(III).

La concentración permitida de Pb en vegetales de hoja en Europa (CE, 2006) es de 0,3mg·kg⁻¹ masa fresca (2mg·kg⁻¹ masa seca) y en *A. dubius* se encontró una concentración foliar de Pb de 20-29mg·kg⁻¹ masa seca. Los valores altos de Pb hallados en este trabajo podrían provenir del tráfico automotor. En *Tithonia diversifolia* se encontraron concentraciones de Pb de 121mg·kg⁻¹ en plantas colectadas en la entrada de un poblado vecino a la zona de este estudio, las cuales fueron superiores a las encontradas en plantas colectadas en una carretera con menor flujo vehicular con 8mg·kg⁻¹ Pb (Olivares, 2003).

Bioconcentración de los elementos minerales

En la Tabla I se aprecia la existencia de un factor de bioconcentración FB>1 para N, P, K, Mg, Ca y Cd en hojas e inflorescencias de *A. dubius* y *A. hybridus*, excepto el Mg en inflorescencias de *A. hybridus*. Sin embargo las concentraciones en el suelo fueron mayores que en plantas para Al, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Co, Cr y Pb.

La bioconcentración de Cd en los amarantos fue <4mg·kg⁻¹ y la de otros metales traza fue <1, por lo cual no se trata de fitoremediadores potenciales, ya que de acuerdo a McGrath y Zhao (2003) para una fitoextracción exitosa de metales es necesario alcanzar valores de FB>20 para que el número de cosechas necesarias para disminuir a la mitad el metal del suelo sea <10. Zhao *et al.* (2003) reportan una bioconcentración de 40 para Zn en la hiperacumuladora de metales *Thlaspi caerulescens* y en las poblaciones de esta especie en el sur de Francia encontraron una bioconcentración de Cd de 3-73. Sin embargo, aun con valores de FB bajos, *A. dubius* puede alcanzar concentraciones de metales mayores a lo normal en plantas: 1407mg·kg⁻¹ Al, 29 Pb, 11 Cr y

TABLA I
 FACTOR DE BIOCONCENTRACIÓN (FB) DE NUTRIENTES Y METALES
 NO ESENCIALES EN HOJAS E INFLORESCENCIAS DE *A. dubius*
 MUESTREADOS EN TRES SITIOS Y SU PROMEDIO, ASÍ COMO EL FB
 EN *A. hybridus* ENCONTRADA SOLAMENTE EN FILA DE MÁRQUEZ

	<i>A. dubius</i>								<i>A. hybridus</i>	
	Hojas				Inflorescencias				Hojas	Infl.
	Jarillo	Carrizal	Maitana	Prom ±ES	Jarillo	Carrizal	Maitana	Prom ±ES	Fila de Márquez	
N	19,39	12,71	10,43	14,18 ±2,69	15,02	9,58	8,47	11,02 ±2,02	8,90	7,93
P	10,97	3,97	1,40	5,45 ±2,86	11,11	4,42	1,24	5,59 ±2,91	6,89	7,00
K	8,56	16,71	9,71	11,66 ±2,55	17,33	13,28	13,23	14,61 ±1,36	26,62	22,04
Mg	6,33	16,13	8,15	10,20 ±3,01	1,48	4,57	2,22	2,76 ±0,93	2,01	0,63
Ca	10,63	5,70	1,50	5,94 ±2,64	3,89	5,43	0,48	3,27 ±1,46	18,52	3,63
Al	0,04	0,07	0,05	0,05 ±0,01	0,03	0,04	0,04	0,04 ±0,00	0,02	0,01
Fe	0,25	0,27	0,16	0,23 ±0,03	0,18	0,21	0,12	0,17 ±0,03	0,08	0,03
Mn	0,93	0,40	0,14	0,49 ±0,23	0,23	0,35	0,11	0,23 ±0,07	0,17	0,17
Cu	0,44	0,22	0,32	0,33 ±0,06	0,69	0,24	0,25	0,39 ±0,15	0,22	0,15
Ni	0,38	0,23	0,16	0,25 ±0,06	0,33	0,13	0,11	0,19 ±0,07	0,12	0,08
Zn	0,88	0,55	0,44	0,63 ±0,13	0,52	0,44	0,32	0,43 ±0,06	0,29	0,23
Co	0,83	0,57	0,25	0,55 ±0,17	0,67	0,43	0,17	0,42 ±0,14	0,33	0,27
Cr	0,56	0,24	0,30	0,36 ±0,10	0,50	0,19	0,19	0,29 ±0,10	0,21	0,19
Cd	4,00	2,00	1,50	2,50 ±0,76	3,00	1,50	1,50	2,00 ±0,50	1,33	1,00
Pb	0,59	0,62	0,48	0,56 ±0,04	0,38	0,41	0,35	0,38 ±0,02	0,42	0,28

4mg·kg⁻¹ Cd, y por encima de lo considerado permisible para alimentación, como se mencionó anteriormente. Del mismo modo Sridhara Chary *et al.* (2008) reportaron concentraciones de Pb, Zn, Cr y Ni mayores a los límites permisibles para alimentación en varias especies que se consumen en la India como vegetales de hoja (espinaca, menta, cilantro y *A. graecizans*) y, sin embargo, los FB de estos metales son <1.

Se ha reportado fitoextracción de Cd y Pb en *A. hybridus* utilizando EDTA (Puschenreiter *et al.*, 2001), basado en las concentraciones alcanzadas y en la biomasa de la plan-

ta; sin embargo, si se calculan los FB para Cd, éstos son de 0,57 ±0,01 sin quelatantes, de 0,85 ±0,15 con sulfato, y de 1,38 ±0,18 con EDTA, siendo el máximo valor de FB alcanzado para Cd de 1,51 y para Pb de 0,13. Del Río *et al.* (2002) reportaron a *A. blitoides* creciendo en las minas de Aznalcóllar, España, después de un derrame tóxico, y la consideraron como promisoría para remediación; calculamos un FB de 7,34 ±6,99 para Cd y <1 para Zn, Cu, Pb y As. Los FB para *A. dubius* calculados con las concentraciones en hojas y suelo que suministra Nabulo *et al.* (2006) son de 0,66; 0,34 y 0,13 para Cd, Zn y Pb, respectivamente, por lo que de acuerdo al criterio de McGrath y Zhao (2003) no conllevarían a una fitoextracción de metales exitosa por no alcanzar valores de bioconcentración >20.

En la Figura 4 se observa que la bioconcentración de K en *A. dubius* y *A. hybridus* es mucho mayor a la de otras plantas presentes en cultivos de la misma región reportadas por Olivares *et al.* (2002), donde también se observó una bioconcentración alta de Ca en *A. hybridus*. Las plan-

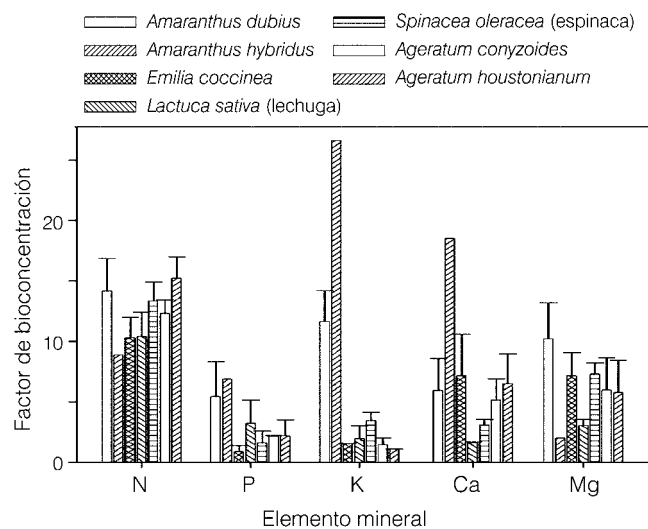


Figura 4. Factor de bioconcentración de los macronutrientes en *A. dubius*, *A. hybridus* y en plantas cultivadas en Miranda: lechuga, espinaca y malezas asociadas a los cultivos: *Emilia coccinea*, *Ageratum conyzoides* y *A. houstonianum* (Olivares *et al.*, 2002).

tas deficientes en K son más susceptibles a patógenos y a ser consumidas por insectos herbívoros (Ammann *et al.*, 2008). La identificación de genotipos eficientes en la incorporación de K es importante para evitar el uso de fertilizantes costosos que producen contaminación ambiental (Rengel y Damon, 2008).

Nutrientes, Na y metales no esenciales en *A. dubius* de diferente coloración

En la Tabla II se aprecia que, en general, no se encontraron diferencias en la composición elemental por coloración y aunque el pigmento betalaina contiene N, no se observaron diferencias en las concentraciones de este elemento para ningún órgano en plantas de diferente coloración.

Se evaluó la concentración de Na debido a que en *A. tricolor* se ha reportado natriofilia (Marschner, 1995) y aunque en *A. dubius* la relación K/Na resultó >1, la concentración foliar fue alta (2,77g·kg⁻¹) y la relación Na/Mg fue >1.

Transferencia de los minerales en *A. dubius* en Carrizal

En la Tabla III se observa que los FT>1 siguen el siguiente orden de mayor a menor Mg>N>Mn>Zn>K>P>Ca>Cu y todos son nutrientes en las plantas. Los FT<1 son elementos no esenciales, exceptuando el Fe que se encuentra en concentraciones muy altas en el suelo (6,32 ±0,81g·kg⁻¹). El FT para el Na es 0,73 (no aparece en la Tabla III ya que el Na no se evaluó en febrero). Los FT para estos elementos siguen el orden Na>Cd>Cr>Co>Fe>Pb>Ni>Al. La concentración de Al en el suelo de Carrizal es 20,81 ±0,47g·kg⁻¹, es el elemento que menos es trasladado desde las raíces a las hojas y no es esencial en plantas. Las concentraciones de los minerales en los suelos, ordenadas de mayor a menor son Al>Ca>N>Fe>K>P>Mg (20,81>6,32>3,79>3,41>2,14>1,12>0,77g·kg⁻¹) >Zn>Mn>Cu>Cr>Pb>N>Co>Cd (169>84>55>42>37>31>7>2mg·kg⁻¹).

Comparación de los dos muestreos realizados en Carrizal

En la Tabla III se aprecia que en hojas no hubo diferencias significativas entre las concentraciones de macronutrientes en plantas colectadas en temporada seca o de

COMPARACIÓN DE LAS CONCENTRACIONES DE LOS ELEMENTOS MINERALES EN LOS ÓRGANOS DE *A. dubius* CON TALLOS DE DIFERENTE COLOR (VERDE O ROJO), EN PLANTAS COLECTADAS EL 31-07-07 EN LA ESCUELA TÉCNICA AGROPECUARIA CARRIZAL

Órgano	Color de tallo	(g·kg ⁻¹ masa seca)						(mg·kg ⁻¹ masa seca)									
		N	P	K	Ca	Mg	Na	Al	Fe	Mn	Cu	Ni	Zn	Co	Cr	Cd	Pb
Hojas	Verde	45,29 ±1,40	4,17 ±0,26	38,79 ±2,45	29,14 ±5,07	12,01 ±0,68	2,32 ±0,57	346,86 ±33,75	439,51 ±58,39	39,85 ±1,86	14,81 ±1,15	2,82 ±1,29	63,76 ±3,04	0,50 ±0,22	3,97 ±0,72	0,83 ±0,06	1,26 ±0,13
	Rojo	47,68 ±1,62	4,28 ±0,25	38,73 ±3,14	14,39 ±3,85	15,20 ±0,13	3,44 ±1,02	290,46 ±42,16	408,85 ±30,09	45,60 ±4,38	15,81 ±0,53	6,86 ±0,58	74,54 ±7,55	0,32 ±0,18	5,97 ±0,81	0,94 ±0,05	0,40 ±0,08
		<i>P</i> =0,303 ns	0,772 ns	0,988 ns	0,069 ns	0,762 ns	0,326 ns	0,476 ns	0,700 ns	0,206 ns	0,523 ns	0,042 *	0,166 ns	0,579 ns	0,108 ns	0,217 ns	0,001 **
Inflorescencias	Verde	38,09 ±1,10	4,64 ±0,15	28,12 ±0,61	3,44 ±0,09	3,14 ±0,04	2,51 ±0,37	155,07 ±10,95	252,09 ±8,89	30,39 ±1,27	13,69 ±0,59	9,03 ±1,80	75,14 ±2,83	0,00 ±0,00	5,65 ±0,95	0,60 ±0,10	1,13 ±0,07
	Rojo	38,64 ±1,56	4,76 ±0,20	21,30 ±3,73	4,87 ±0,38	3,37 ±0,06	2,40 ±0,64	167,33 ±8,89	223,95 ±9,87	34,94 ±1,52	13,95 ±0,89	10,48 ±1,79	65,28 ±4,00	0,00 ±0,00	3,97 ±0,80	0,94 ±0,09	1,34 ±0,20
		<i>P</i> =0,774 ns	0,628 ns	0,067 ns	0,002 **	0,008 **	0,880 ns	0,449 ns	0,072 ns	0,052 ns	0,804 ns	0,601 ns	0,071 ns	1,000 ns	0,247 ns	0,047 *	0,278 ns
Tallos	Verde	16,29 ±1,95	1,93 ±0,16	43,31 ±2,55	7,26 ±0,35	2,68 ±0,26	2,58 ±0,25	111,88 ±24,06	135,34 ±17,57	12,35 ±1,37	5,76 ±0,65	8,65 ±0,73	11,35 ±1,75	5,05 ±0,26	6,62 ±1,51	2,29 ±0,28	1,09 ±0,15
	Rojo	17,63 ±0,16	2,36 ±0,21	41,29 ±3,23	7,06 ±0,59	2,92 ±0,02	2,76 ±0,14	91,01 ±9,25	45,49 ±10,51	14,76 ±2,05	6,86 ±0,20	7,70 ±0,37	15,55 ±3,01	5,70 ±0,12	9,45 ±1,71	1,99 ±0,12	1,79 ±0,29
		<i>P</i> =0,598 ns	0,135 ns	0,634 ns	0,765 ns	0,476 ns	0,596 ns	0,519 ns	0,005 **	0,338 ns	0,114 ns	0,190 ns	0,230 ns	0,113 ns	0,258 ns	0,439 ns	0,048 *
Raíces	Verde	14,37 ±2,42	1,87 ±0,14	16,13 ±1,61	13,32 ±0,85	2,40 ±0,31	3,37 ±0,38	2332,37 ±277,38	1078,03 ±47,97	13,70 ±1,39	14,04 ±3,52	9,35 ±0,98	23,66 ±3,18	0,75 ±0,30	10,60 ±1,11	1,16 ±0,17	4,86 ±0,77
	Rojo	14,42 ±0,25	1,85 ±0,06	16,23 ±3,02	11,94 ±0,25	2,98 ±0,13	4,49 ±1,35	2054,56 ±704,65	1534,25 ±445,47	17,16 ±1,74	10,20 ±0,40	18,63 ±3,18	25,34 ±4,77	0,19 ±0,07	10,44 ±0,94	1,49 ±0,13	4,93 ±0,83
		<i>P</i> =0,476 ns	0,922 ns	0,974 ns	0,236 ns	0,183 ns	0,914 ns	0,914 ns	1,000 ns	0,157 ns	0,409 ns	0,013 *	0,767 ns	0,150 ns	0,923 ns	0,195 ns	0,957 ns

Los datos se expresan en promedio ± ES, donde n=6 para plantas con tallos verdes y n=4 para plantas con tallos rojos. Se indica para cada órgano de la planta las diferencias significativas de acuerdo al t-test entre plantas de ambas coloraciones. Se da el valor de probabilidad *P*. Los niveles de significancia son: ns=no significativo, **P*<0,05, ***P*<0,01

lluvias, pero se observaron diferencias en las inflorescencias para el Ca y Mg. No se realizaron mediciones hídricas en *A. dubius*, pero las plantas se encontraban verdes y túrgidas aun en febrero (época seca), por lo que es de suponer que no estaban bajo estrés hídrico severo. Para los micronutrientes se observaron diferencias en las hojas entre los dos muestreos, pero en las inflorescencias esto solo ocurrió con el Fe. Cuando se observaron diferencias por muestreo, generalmente las muestras tomadas en febrero (época seca) presentaron mayor concentración que las colectadas en julio (época de lluvias), como ocurrió en hojas para Al, Fe, Zn, Co, Cr, Cd y Pb, pero no para Mn y Cu. En las inflorescencias se encontraron valores más altos en febrero que en julio para Ca, Mg, Al, Fe, Co, Cd y Pb. En ningún caso las diferencias por muestreo fueron altamente significativas. Las plantas colectadas en Carrizal se lavaron con agua co-

rriente, por lo que se supone que se está evaluando los metales presentes en los tejidos y tricomas. No haber encontrado di-

ferencias significativas en los muestreos para Ca, que es abundante en el suelo (6g·kg⁻¹) y haberlas encontrado para Cd y

FACTORES DE TRANSFERENCIA (FT) DE ELEMENTOS MINERALES EN *A. dubius* MUESTREADA EN JULIO EN LA ESCUELA TÉCNICA AGROPECUARIA CARRIZAL (N= 10) Y COMPARACIÓN ENTRE LAS CONCENTRACIONES DE NUTRIENTES Y METALES EN LAS COLECCIONES DEL 08/02/2007 (TEMPORADA SECA) Y EL 31/07/2007 (TEMPORADA DE LLUVIAS)

Elemento	FT	Hojas			Inflorescencias		
		Febrero	Julio	<i>P</i>	Febrero	Julio	<i>P</i>
N	3,21	48,16 ±1,27	46,25 ±1,07	0,175 ns	36,32 ±0,23	38,31 ±0,86	0,344 ns
P	2,25	4,45 ±0,15	4,21 ±0,18	0,380 ns	4,95 ±0,1	4,69 ±0,11	0,452 ns
K	2,40	35,77 ±3,88	38,77 ±1,82	0,441 ns	28,42 ±2,29	25,39 ±1,79	0,491 ns
Ca	1,82	36,01 ±1,02	23,24 ±4,04	0,058 ns	34,32 ±0,62	4,01 ±0,28	0,041 *
Mg	4,81	12,42 ±0,29	12,65 ±0,63	0,794 ns	3,52 ±0,04	3,23 ±0,05	0,029 *
Al	0,15	1407,41 ±357,2	324,30 ±26,48	0,026 *	934,93 ±95,94	159,97 ±7,39	0,041 *
Fe	0,34	911,64 ±160,72	427,25 ±35,81	0,020 *	713,22 ±0,12	240,84 ±7,77	<0,001 **
Mn	2,80	33,89 ±2,62	42,15 ±2,14	0,031 *	28,53 ±0,04	32,21 ±1,18	0,210 ns
Cu	1,22	11,73 ±1,38	15,21 ±0,71	0,026 *	12,51 ±3,12	13,79 ±0,47	0,747 ns
Ni	0,15	7,45 ±0,54	4,43 ±1,02	0,058 ns	4,47 ±0,28	9,61 ±1,25	0,108 ns
Zn	2,80	92,96 ±7,96	68,07 ±3,71	0,006 **	74,20 ±5,66	71,20 ±2,72	0,660 ns
Co	0,38	4,47 ±0,17	0,42 ±0,15	<0,001 **	3,28 ±0,68	0,00 ±0	0,037 *
Cr	0,45	9,87 ±0,66	4,77 ±0,61	<0,001 **	7,75 ±0,96	4,97 ±0,68	0,116 ns
Cd	0,67	3,94 ±0,06	0,87 ±0,04	<0,001 **	3,18 ±0,02	0,74 ±0,09	<0,001 **
Pb	0,19	22,6 ±0,89	0,91 ±0,16	0,001 **	14,92 ±2,56	1,21 ±0,09	0,041 *

FT: cociente de las concentraciones en hojas/raíces. Los datos se expresan en promedio ±ES, n= 6 para hojas y n=2 para inflorescencias en plantas colectadas en febrero, y n=10 para hojas o inflorescencias colectadas en julio. *P*: probabilidad. Niveles de significación: ns=no significativo, **P*<0,05, ***P*<0,01.

Pb, cuyas concentraciones en el suelo son mucho menores, hacen pensar que el lavado fue eficiente. Sin embargo, dado que las concentraciones de Al fueron diferentes, se debe estudiar la eficiencia del lavado en colecciones futuras.

Conclusiones

a) En los sitios estudiados, *A. dubius* silvestre presentó concentraciones altas de N, K, Ca, Mg, Fe y Zn, pero también se observaron niveles de Cd y Pb mayores a los permitidos en vegetales de hoja por la reglamentación alimentaria y se detectaron altas concentraciones de Al y Cr; por lo tanto, tal como ocurre con otros vegetales de hoja (espinaca, lechuga), *A. dubius* debe ser cosechada en condiciones ambientales controladas, ya que por su tendencia a acumular metales puede contener niveles inadecuados para el consumo alimenticio si se le colecta en sitios cercanos a fuentes de metales, como lo son zonas donde se realizan prácticas agrícolas que introducen metales en el agrosistema (pesticidas, herbicidas, fungicidas), áreas industriales, mineras, o en carreteras expuestas al tráfico automotor. b) La relación N/P foliar indicó limitación por N de las plantas en los sitios estudiados, por lo que se debe atender este aspecto en la fertilización si se hacen cultivos de esta especie. c) Dadas las altas concentraciones de Ca encontradas en *A. dubius*, se debe estudiar en un futuro si el Ca está mayoritariamente unido a oxalato en esta especie d) Debido a las diferencias encontradas en las concentraciones de Mn entre el presente trabajo y reportes en África, es de interés estudiar la variabilidad genética en la respuesta a concentraciones altas de Mn en experimentos en maceta y el efecto del pH del suelo. e) Dada la diferente toxicidad de las diferentes especies de Cr se debe investigar la proporción de las mismas en los tejidos de *A. dubius*.

AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen a Wilmer Carmona Pinto del Museo de Ciencias de Caracas la identificación de las muestras botánicas; a Sanders Rodríguez y Yamilén Castillo (Gobernación de Miranda), Esperanza Cova y Andrés Obregón (CORDAMI, Coordinación de Desarrollo Agrícola de Miranda), y Alba Vizcaya (Cooperativa Amaranto de la Cruz y Escuela Técnica Agropecuaria de Carrizal) la colección de las muestras en el campo; y a Pedro

Alfonso Tablante y Chedomiro por permitir colectar en sus parcelas de La Maitana y Fila de Márquez.

REFERENCIAS

- AMA (2003) Historia del Amaranto. Asociación Mexicana del Amaranto www.amaranto.com.mx/elamaranto/historia/historia.htm
- Amtmann A, Troufflard S, Armengaud P (2008) The effect of potassium nutrition on pest and disease resistance in plants. *Physiol. Plant.* 133: 682-691.
- Anten NPR, Werger MJA (1996) Canopy structure and nitrogen distribution in dominant and subordinate plants in a dense stand of *Amaranthus dubius* L. with a size hierarchy of individuals. *Oecologia* 105: 30-37.
- Arellano ML, Albarracín G, Fernández S, Arce S, Aguilar EG, Mucciarelli SL (2004) Estudio comparativo agronómico y nutricional de dos especies de amarantos. *PHYTON* 2004: 199-203.
- Bavec F, Mlakar SG (2002) Effects of soil and climatic conditions on emergence of grain Amaranths. *Eur. J. Agron.* 17: 93-103.
- Bianco-Colomas J (1980) Qualitative and quantitative aspects of betalains biosynthesis in *Amaranthus caudatus* L. var. pendula seedlings. *Planta* 149: 176-180.
- Blanco-Espinoza GG (1999) *Eficiencia de Uso de Fósforo, Acumulación de Azúcares y Fotosíntesis en Amaranthus dubius Mart., después de un Período de Recuperación por Deficiencia de Fósforo*. Tesis. Universidad Central de Venezuela. Maracay, Venezuela. 179 pp.
- Broadley MR, Bowen HC, Cotterill HL, Hammond JP, Meacham MC, Mead A, White PJ (2003) Variation in the shoot calcium content of angiosperms. *J. Exp. Bot.* 54: 1431-1446.
- Broadley MR, Bowen HC, Cotterill HL, Hammond JP, Meacham MC, Mead A, White PJ (2004) Phylogenetic variation in the shoot mineral concentration of angiosperms. *J. Exp. Bot.* 55: 321-336.
- Cai TZ, Sun M, Corke H (2005) Characterization and application of betalain pigments from plants of the Amaranthaceae. *Trends Food Sci. Technol.* 16: 370-376.
- Carmona Pinto W (2007) Las especies del género *Amaranthus* (Amaranthaceae) en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 24 Supl.1: 190-195.
- Castrillo M, Aso P, Longart M, Vermehren A (1997) *In situ* immunofluorescent localization of ribulose-1,5-bisphosphate carboxylase/oxygenase in mesophyll of C4 dicotyledonous plants. *Photosynthetica* 33: 39-50.
- DANAC (s/a) Fundación DANAC. <http://danac.org.ve/indice/malezas.php?ps=6>
- Del Río M, Font R, Almela C, Velez D, Montoro R, De Haro A (2002) Heavy metals and arsenic uptake by wild vegetation in the Guadamar river area after the toxic spill of the Aznalcóllar mine. *J. Biotechnol* 98: 125-137.
- EC (2006) *Setting Maximum Levels for Certain Contaminants in Foodstuffs*. European Commission Regulation N° 1881/2006. 364:19-20.
- Epstein E, Bloom AJ (2005) *Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives*. 2a ed. Sinauer. Sunderland, MA, EEUU. p. 50.
- Ferrarotto MS (1998) Arquitectura foliar de *Amaranthus dubius* Mart. y *Amaranthus cruentus* L. (Amaranthaceae). *Acta Bot. Venez.* 21: 75-85.
- Foy CD, Campbell TA (1984) Differential tolerances of *Amaranthus* strains to high levels of aluminum and manganese in acid soils. *J. Plant Nutr.* 7: 1365-1388.
- Güsewell S (2004) N:P ratios in terrestrial plants: variation and functional significance. *New Phytol.* 164: 243-266.
- He ZL, Yang XE, Stoffella PJ (2005) Trace elements in agroecosystems and impacts on the environment. *J. Trace Elem. Med. Biol.* 19: 125-140.
- Jones JB (2001) *Laboratory Guide for Conducting Soil Tests and Plant Analysis*. CRC Press. Boca Raton, FL, EEUU. pp. 32-33.
- Kinzel H, Lechner I (1992) The specific mineral metabolism of selected plant species and its ecological implications. *Bot. Acta* 105: 355-361.
- Larcher W (1995) *Physiological Plant Ecology*. 3ª ed. Springer. Berlin, Alemania. p. 178.
- Marschner H (1995) *Mineral Nutrition of Higher Plants*. Academic Press. London, RU. 889 pp.
- McGrath SP, Zhao FJ (2003) Phytoextraction of metals and metalloids from contaminated soils. *Curr. Opin. Biotechnol.* 14: 277-282.
- Miller RO (1998) Nitric-perchloric acid wet digestion in an open vessel. En Kalra YP (Ed.) *Handbook of Reference Methods for Plant Analysis*. CRC Press. Boca Raton, Florida, EEUU. pp. 57-61.
- Murphy J, Riley J (1962) A modified single solution method for determination of phosphate in natural waters. *Anal. Chem. Acta* 27: 31-36.
- Nabulo G, Oryem-Origa H, Diamond M (2006) Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside soils, surface films, and vegetables in Kampala City, Uganda. *Env. Res.* 101: 42-52.
- NRC (1989) *Lost Crops of the Incas: Little-Known Plants of the Andes with Promise for Worldwide Cultivation*. National Research Council. National Academy Press, Washington, DC, EEUU. http://books.nap.edu/openbook.php?record_id=1398&page=138
- Odhav B, Beekrum S, Akula U, Baijnath H (2007) Preliminary assessment of nutritional value of traditional leafy vegetables in KwaZulu-Natal, South Africa. *J. Food Comp. Anal.* 20: 430-435.
- Olivares E (2003) The effect of lead on the phytochemistry of *Tithonia diversifolia* exposed to roadside automotive pollution or grown in pots of Pb-supplemented soil. *Braz. J. Plant Physiol.* 15: 149-158.
- Olivares E, Peña E, Aguiar G (2002) Nutrición mineral y estrés oxidativo por metales en espinaca y lechuga, en comparación con dos malezas asociadas, en cultivos semi-urbanos. *Interiencia* 27: 454-464.

- Olivares E, Peña E, Marcano E, Mostacero J, Aguiar G, Benítez M, Rengifo E (2009) Aluminum accumulation and its relationship with mineral plant nutrients in 12 pteridophytes from Venezuela. *Env. Exp. Bot.* 65: 132-141.
- Ortiz-Ribbing L, Williams II MM (2006) Potential of *Phomopsis amaranthicola* and *Microsphaeropsis amaranthi*, as bioherbicides for several weedy *Amaranthus* species *Crop Protect.* 25: 39-46.
- PAV(s/a) *Plagas Agrícolas Venezolanas*. Sociedad Venezolana de Entomología: www.plagas-agricolas.info.ve/fichas/ficha.php?hospedero=69&plaga=72
- Piatelli M, Giudici de Nicola M, Castrogiovanni V (1969) Photocontrol of amaranth synthesis in *Amaranthus tricolor*. *Phytochemistry* 8: 731-736.
- Puschenreiter M, Stöger G, Lombi E, Horak O, Wenzel W (2001) Phytoextraction of heavy metal contaminated soils with *Thlaspi goesingense* and *Amaranthus hybridus*: Rhizosphere manipulation using EDTA and ammonium sulfate. *J. Plant Nutr. Soil Sci.* 164: 615-621.
- Rengel Z, Damon PM (2008) Crops and genotypes differ in efficiency of potassium uptake and use. *Physiol. Plant.* 133: 624-636.
- Ross SM (1994) Sources and forms of potentially toxic metals in soil-plant systems. En Ross SM (Ed.) *Toxic Metals in Soil-Plant System*. Wiley. Chichester. RU. pp. 3-25.
- Schulze ED, Beck E, Müller-Hohenstein K (2005) *Plant Ecology*. Springer. Heidelberg, Alemania. p. 184.
- SigmaStat 3.1 (2004) *User's Manual*. Systat Software, Inc. Richmond, CA, EEUU.
- Sridhara Chary N, Kamala CT, Suman Raj DS (2008) Assessing risk of heavy metals from consuming food grown on sewage irrigated soils and food chain transfer. *Ecotoxicol. Env. Saf.* 69: 513-524.
- Tanaka Y, Sasaki N, Ohmiya A (2008) Biosynthesis of plant pigments: anthocyanins, betalains and carotenoids. *Plant J.* 54: 733-749.
- White PJ, Broadley MR (2003) Calcium in plants. *Ann. Bot.* 92:487-511.
- Wright IJ, Reich PB, Westoby M, Ackerly DD, Baruch Z, Bongers F, Cavender-Bares J, Chapin T, Cornelissen JHC, Diemer M, Flexas J, Garnier E, Groom PK, Gulias J, Hikosaka K, Lamont BB, Lee T, Lee W, Lusk C, Midgley JJ, Navas ML, Niinemets U, Oleksyn J, Osada N, Poorter H, Poot P, Prior L, Pyankov VI, Roumet C, Thomas SC, Tjoelker MG, Veneklaas EJ, Villar R (2004) The worldwide leaf economics spectrum. *Nature* 428: 821-827.
- Wulff RD (1988) Intraspecific variation in germination requirements and growth in *Amaranthus dubius*. *Am. J. Bot.* 75: 1307-1312.
- Zayed A, Lytle CM, Quian JH, Terry N (1998) Chromium accumulation, translocation and chemical speciation in vegetable crops. *Planta* 206: 293-299.
- Zhao FJ, Lombi E, McGrath SP (2003) Assessing the potential for zinc and cadmium phytoextraction with the hyperaccumulator *Thlaspi caerulescens*. *Plant Soil* 249: 37-43.

BIOCONCENTRATION OF MINERAL ELEMENTS IN *Amaranthus dubius* (wild spinach, Imbuya) GROWING WILD IN CROPS FROM MIRANDA STATE, VENEZUELA, AND USED AS FOOD

Elizabeth Olivares and Eder Peña

SUMMARY

The goal of the present work was to evaluate in the species *Amaranthus dubius* the bioconcentration factor (BF) of mineral nutrients and non essential metals, calculated as the ratio of the concentration of them in the aerial organs to that in the soil, in samples collected from three sites in Miranda State, Venezuela: El Jarillo, the Agrarian Technical School Carrizal and La Maitana. The BF obtained was compared with that of six other species, including *A. hybridus*. It was found that in both *amaranth* species the BF of K was higher than in the other species, and bioconcentration of N, P, K, Mg, Ca and Cd in their leaves was observed; however, a $BF < 1$ was found for Al, Fe, Mn, Cu, Ni,

Zn, Co, Cr and Pb. The sampling was repeated in Carrizal, collecting roots and comparing *A. dubius* with green or red stems. No differences in the elemental composition were found in plants of different color. Leaves were more concentrated in N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu y Zn than roots (translocation or transfer factor, $TF > 1$). *A. dubius* contained high levels of N, K, Ca, Mg, Fe and Zn, essential elements in the animal diet, with higher values in leaves than in flowers. However, control of the non essential elements that can be in inadequate concentrations to be consumed as food is necessary, as is the case for Cd, Al, Cr, Ni and Pb in the collected samples.

BIOCONCENTRAÇÃO DE ELEMENTOS MINERAIS EM *Amaranthus dubius* (brede, caruru), CRESCENDO SILVESTRE EM CULTIVOS DO ESTADO MIRANDA, VENEZUELA, E UTILIZADO NA ALIMENTAÇÃO

Elizabeth Olivares e Eder Peña

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar na espécie *Amaranthus dubius* o fator de bioconcentração (FB) de nutrientes minerais e metais não essenciais, dada pelo cosciente entre sua concentração nos órgãos aéreos e a dos respectivos solos, em amostras coletadas em três lugares do Estado Miranda, Venezuela: El Jarillo, a Escola Técnica Agropecuária Carrizal e La Maitana. Também foi comparado o FB com o de outras seis espécies, entre elas *A. hybridus*. Encontrou-se que nas duas espécies de amaranto o FB de K foi maior e se observou bioconcentração de N, P, K, Mg, Ca e Cd em suas folhas; no entanto, para Al, Fe, Mn, Cu, Ni, Zn, Co, Cr e Pb se obteve um $FB < 1$. Em Carrizal foi realizada uma segunda amostragem,

coletando as raízes, comparando-se *A. dubius* com caules verdes ou avermelhados, não encontrando diferenças na composição elemental em plantas de diferente coloração. As folhas apresentaram maior concentração que as raízes para N, P, K, Ca, Mg, Mn, Cu e Zn (fator de transferência, $FT > 1$). *A. dubius* resultou muito rico em N, P, K, Ca, Mg, Fe e Zn, elementos que interessam na dieta animal, obtendo-se valores maiores nas folhas em comparação com as inflorescências; no entanto, se alerta sobre a necessidade de um controle dos elementos não essenciais que podem apresentar-se em concentrações não recomendadas para o consumo, tal como ocorreu com Cd, Al, Cr e Pb nas amostras coletadas.