

---

# EFECTO DE LA ÉPOCA DE RECOLECTA Y ÓRGANO DE LA PLANTA SOBRE EL CONTENIDO DE METALES DE *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.

---

Edgar Molina, Pedro González-Redondo, Keyla Montero, Rosa Ferrer, Rafael Moreno-Rojas y Adriana Sánchez-Urdaneta

## RESUMEN

El amaranto (*Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.) es utilizado como planta forrajera en la alimentación de ovinos, caprinos, porcinos y bovinos, además, de ser reportada como arvense en diversos cultivos comerciales. Se evaluó el contenido de metales en hojas, tallos y panículas de amaranto recolectado en época lluviosa y seca. Las plantas fueron cultivadas en la población de Merecure, municipio Acevedo, estado Miranda, Venezuela. Se determinó la concentración de Ca, Mg, Zn, Fe,

Cu, Al, Cd, Pb y Hg por espectroscopia de absorción atómica y Na y K por fotometría de llama. Los valores encontrados fueron superiores a los reportados por otros investigadores en la misma y en otras especies de amaranto. Los metales mayoritarios fueron Ca, K, Al, Mg y Fe. Se detectó trazas de Hg y no se evidenció la presencia de Cd y Pb. La acumulación de metales fue heterogénea entre los órganos de la planta y estuvo influenciada por la época de recolecta.

---

## Introducción

El amaranto, bleado o pira, es una planta perteneciente al género *Amaranthus* (familia Amarantaceae), el cual comprende más de 60 especies distribuidas en zonas tropicales y subtropicales (Marcone *et al.*, 2003; Olivares y Peña, 2009). Es una planta con metabolismo fotosintético tipo C<sub>4</sub>, con amplia diversidad genética, alta productividad, y se adapta a diferentes condiciones edafoclimáticas, especialmente a suelos secos y altas temperaturas (Omami *et al.*, 2006). Las especies más importantes a nivel mundial son *A. cruentus*, *A. caudatus* y *A. hypochondriacus*, las cuales son cultivadas en gran escala en China, EEUU, India, México, Perú y algunos países europeos, donde son muy apreciadas por la excelente calidad de sus semillas (Tejeda *et al.*,

2004; Repo-Carrasco-Valencia *et al.*, 2009).

En Venezuela se encuentran alrededor de 12 especies, siendo las principales *A. dubius*, *A. spinosus* y *A. hybridus* (Acevedo *et al.*, 2007; Carmona, 2007; Olivares y Peña, 2009). Estas son plantas que crecen en forma silvestre y comúnmente se consideran arvenses de varios cultivos de subsistencia, como maíz, sorgo y algunas leguminosas (Matteucci *et al.*, 1999).

Las cualidades nutricionales y características agronómicas de las distintas especies permiten reconocerlas como plantas de potencial interés para ser utilizadas en la industria agroalimentaria. En la alimentación humana se consumen sus semillas como cereal, sus hojas y tallos como verdura; además, se suelen preparar bebidas, tortas, infusiones medicinales, entre otros produc-

tos (Ortega, 1992; Acevedo *et al.*, 2007; Barba de la Rosa *et al.*, 2009). También se le emplea como planta forrajera en alimentación de cerdos, ovinos, caprinos, vacunos y conejos, entre otros (Masoni y Ercali, 1994; Matteucci *et al.*, 1999; Troiani y Ferramola, 2005).

En los últimos años el amaranto ha sido ampliamente estudiado, siendo una de las razones del renovado interés por esta planta su composición y proporción de proteínas; comparable con los cereales. Estudios recientes muestran que las semillas del amaranto tienen un valor nutricional alto, asociado con la cantidad y calidad de sus proteínas, grasas, fibras, minerales y vitaminas; además, posee compuestos bioactivos tales como saponinas, fitoesteroles, escualeno y polifenoles (Paško *et al.*, 2007; Barba de la Rosa *et*

*al.*, 2009; Álvarez-Jubete *et al.*, 2010).

La composición mineral de los alimentos ayuda a predecir su efecto en los consumidores, por el aporte de minerales esenciales y por los efectos tóxicos que puedan generar (Iscander y Davis, 1992). La composición mineral de diversas especies de amaranto (Odhav *et al.*, 2007; Olivares y Peña, 2009) revela la presencia de macrominerales (Na, Ca, K, Mg y P), microminerales (Fe, Cu, Co, Zn, Mn, Cr y Ni) y metales tóxicos (Pb, Cd, Hg y Al). Las concentraciones de estos minerales varían con la especie, madurez y órgano de la planta; así como las características del suelo y clima de desarrollo (Alfaro *et al.*, 1987; Olivares y Peña, 2009).

Por otro lado, los consumidores reconocen la necesidad de adquirir alimentos con mayor cantidad y calidad de nu-

---

## PALABRAS CLAVE / *Amaranthus dubius* / Época de Recolecta / Metales / Órgano Vegetal /

Recibido: 02/05/2010. Modificado: 06/04/2011. Aceptado: 14/04/2011.

**Edgar Molina.** Licenciado en Educación –Química– y M.Sc. en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. Docente Investigador, LUZ, Venezuela. Dirección: Departamento de Química, LUZ. Apartado 526, Maracaibo 4001-A, Zulia, Venezuela. e-mail: molinaed01@gmail.com

**Pedro González-Redondo.** Doctor. Ingeniero Agrónomo e Ingeniero de Montes, Universidad de Córdoba, España. Profesor, Universidad de Sevilla, España. e-mail: pedro@us.es

**Keyla Montero.** Licenciada en Bioanálisis y M.Sc. en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, LUZ, Venezuela. Docente Investigadora, LUZ, Venezuela. e-mail: keylamq@gmail.com

**Rosa Ferrer.** Licenciada en Educación –Química–, LUZ, Venezuela. Doctora en Química Medicinal, Universidad Central de Venezuela. Docente Investigadora, LUZ, Venezuela. e-mail: rosaferrer28@yahoo.com.mx

**Rafael Moreno-Rojas.** Doctor en Veterinaria, Universidad de Córdoba, España. Catedrático, Universidad de Córdoba, España. e-mail: rafael.moreno@uco.es

**Adriana Sánchez-Urdaneta.** Ingeniera Agrónoma, LUZ, Venezuela. Doctora en Ciencias –Botánica–, Colegio de Postgraduados, México. Docente Investigadora, LUZ, Venezuela. email: usanchez@fa.luz.edu.

## EFFECT OF COLLECTION SEASON AND PLANT ORGAN ON THE METAL CONTENT OF *Amaranthus dubius*

Mart. ex Thell.

Edgar Molina, Pedro González-Redondo, Keyla Montero, Rosa Ferrer, Rafael Moreno-Rojas and Adriana Sánchez-Urdaneta

### SUMMARY

*Amaranth* (*Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.) is used as forage in the diet of sheep, goats, pigs and cattle, and is also reported as weed in various commercial crops. Its metal content was evaluated in leaves, stems and panicles of plants collected in the rainy and dry seasons. The plants were grown in the town of Merecure, Acevedo Municipality, Miranda state, Venezuela. The concentration of Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Al, Cd, Pb and Hg

were evaluated by atomic absorption spectroscopy, and Na and K by flame photometry. The values found were higher than those reported in other studies in the same as well as other species of amaranth. The major metals were Ca, K, Al, Mg and Fe. Traces of Hg were detected, while the presence of Cd and Pb was not detected. Metal accumulation differed among plant organs, and was influenced by the collection season when.

## EFEITO DA ÉPOCA DE COLHEITA E ORGÃO DA PLANTA SOBRE O CONTEÚDO DE METAIS DE *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.

Edgar Molina, Pedro González-Redondo, Keyla Montero, Rosa Ferrer, Rafael Moreno-Rojas e Adriana Sánchez-Urdaneta

### RESUMO

O amaranto (*Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.) é utilizado como planta forrageira na alimentação de ovinos, caprinos, porcinos e bovinos, além, de ser relatada como arvense em diversos cultivos comerciais. Avaliou-se o conteúdo metais em folhas, caules e panículas de amaranto colhido na época de chuva e seca. As plantas foram cultivadas na população de Merecure, município Acevedo, estado Miranda, Venezuela. Determinou-se a concentração de Ca, Mg, Zn, Fe, Cu, Al, Cd,

Pb e Hg por espectroscopia de absorção atômica e Na e K por fotometria da chama. Os valores encontrados foram superiores aos relatados por outros investigadores na mesma e em outras espécies de amaranto. Os metais majoritários foram Ca, K, Al, Mg e Fe. Detectou-se traços de Hg e não se evidenciou a presença de Cd e Pb. A acumulação de metais foi heterogênea entre os órgãos da planta e esteve influenciada pela época de colheita.

trientes, debido a la frecuencia de enfermedades carenciales, especialmente entre los niños (Obiajunwa *et al.*, 2002), por lo cual buscan fuentes alimentarias de fácil acceso y calidad alta (Ozcan y Akbulut, 2009). Por su contenido de minerales y otros nutrientes, el amaranto podría convertirse en alimento alternativo; por ejemplo, su contenido alto de Fe puede disminuir la incidencia de anemias en niños (Hurrell, 1997) o los problemas de crecimiento causados por la deficiencia de Zn (Gibson y Ferguson, 1998). Además, aporta Ca, Mg, Na y K, elementos esenciales en la nutrición (Mahan y Escott-Stump, 2001).

*Amaranthus dubius*, presenta un rendimiento alto de biomasa (Arellano *et al.*, 2004; Acevedo *et al.*, 2007), y debido a sus características nutricionales y agronómicas fue incluido desde 2005 en el programa de rescate de alimentos ancestrales y considerado especie potencialmente cultiva-

ble (Acevedo *et al.*, 2007).

En el presente estudio se evaluó el efecto de la época de recolecta (lluvia y sequía) y órgano de la planta (hojas, tallos y panículas) en el contenido de metales en *A. dubius*, los resultados evidencian su potencial para la alimentación humana y animal en Venezuela.

### Materiales y Métodos

#### Selección y procesamiento de las muestras

Las muestras de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. fueron obtenidas en una siembra experimental ubicada en la Hacienda El Néctar, en la población de Merecure, municipio Acevedo, estado Miranda, Venezuela (10°31'38"N, 66°33'16"O). El suelo fue preparado con rastra y fertilizado con abono orgánico (capa vegetal y gallinaza), las semillas se sembraron en surcos, sin riego. Se recolectaron muestras en la época lluviosa (septiembre-noviembre 2007) y en

la época seca (enero-abril 2008), ~80 días después de la siembra. Se separaron hojas, tallos y panículas. Los órganos de la planta se deshidrataron en estufa (50-60°C durante 40h) con rotación y aireación constante; luego fueron molidos, tamizados con partícula  $\leq 0,5$ mm (Resh Muhle Dietz, LBI-27) y almacenados en envases de polietileno con tapa hermética, se cubrieron con un saco de tela y se guardaron en estantes de madera a temperaturas de  $\leq 20$ °C para su análisis posterior.

#### Métodos analíticos

La humedad fue determinada por el método de AOAC (1995). La concentración de metales en la harina se obtuvo por espectrofotometría de absorción atómica; con excepción de Na y K que se determinaron por fotometría de llama (AOAC, 1995). Las muestras fueron previamente digeridas mediante el uso de sistemas cerrados de alta pre-

sión tipo bombas Parr de 20ml de capacidad. A la muestra húmeda (0,3g) se le adicionaron 5ml de HNO<sub>3</sub> concentrado y se mantuvo en digestión por 5h a 105°C. El residuo fue recolectado y aforado en un matraz de 25ml (solución madre), a partir del cual se obtuvieron diluciones específicas para cada mineral (Okamoto y Fuwa, 1984). Se utilizó un espectrofotómetro Perkin Ermer 3110, con condiciones específicas de preparación y análisis para cada metal.

#### Análisis estadístico

Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con arreglo factorial de tratamientos 2x3, con cuatro repeticiones y tres submuestras. Los factores estudiados fueron la época de recolecta (lluviosa y seca) y partes de la planta (hojas, tallos y panículas). Los datos obtenidos fueron sometidos a un análisis de varianza y subsecuente comparación

múltiple de medias con la prueba de Tukey para los efectos simples y LS-Means para las interacciones; para ello se utilizó el paquete estadístico SAS (Statistical Analysis System; 2002-2003, versión 9.1).

## Resultados y Discusión

### Contenido de metales en los órganos de la planta

Ca, K, Al, Mg y Fe fueron los metales mayoritarios en todos los órganos de la planta evaluados (hojas, tallos y panículas) en ambas épocas de recolecta, seguidos por Na, Zn y Cu; mientras que el Hg se encontró en muy bajas concentraciones (trazas) y no se detectó la presencia de Cd y Pb.

Las concentraciones mayores de Ca y Mg se encontraron en las hojas en época seca y las menores en los tallos para la misma época. En el caso de Zn y Cu los mayores valores se encontraron en las hojas en época lluviosa y los menores en los tallos en época seca. En cuanto al contenido de Na y Al, éste fue mayor en los tallos en época lluviosa y menor en las panículas en la misma época, al igual que en las hojas en época seca, respectivamente. El K fue mayor en los tallos y menor en las hojas en época seca, mientras que el Fe fue mayor en las hojas y menor en los tallos en época lluviosa y el Hg fue mayor en las hojas en época lluviosa y menor en el mismo órgano en época seca (Tabla I).

Los contenidos de Ca, Mg y Na en las hojas fueron similares en ambas épocas de recolecta, con disminuciones >50% de la época lluviosa a la seca en Zn y Hg (62,29 y 59,26%, respectivamente) y disminuciones entre ~20 y 50% para Cu, K, Al y Fe (23,72; 25,80; 33,83 y 47,98%, respectivamente). En los tallos se mantuvieron contenidos similares de Fe, Zn y Hg en

TABLA I  
CONTENIDO DE METALES (mg/100g DE BIOMASA SECA) EN HOJAS, TALLOS Y PANÍCULAS DE *Amaranthus dubius* EN MEREURE, MUNICIPIO ACEVEDO, ESTADO MIRANDA, VENEZUELA, RECOLECTADAS EN ÉPOCA LLUVIOSA Y SECA

	Hoja		Tallo		Panícula	
	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca	Lluviosa	Seca
Ca	3014,65 ±1534,28	3161,75 ±880,12	1570,75 ±371,31	1018,31 ±234,95	1070,39 ±204,96	2048,63 ±1676,17
Mg	661,45 ±295,80	686,22 ±196,19	646,83 ±407,73	263,24 ±56,66	394,24 ±78,07	642,21 ±444,29
Na	72,77 ±15,80	71,41 ±20,67	74,00 ±12,30	34,84 ±13,48	22,57 ±14,83	54,60 ±22,22
K	3327,27 ±864,54	2468,89 ±565,70	4131,97 ±603,77	4237,07 ±727,48	2651,89 ±509,61	2836,82 ±657,78
Fe	96,15 ±26,89	50,02 ±26,55	41,36 ±14,16	42,13 ±16,54	59,87 ±20,92	64,05 ±21,76
Zn	21,37 ±14,37	6,47 ±1,48	4,47 ±1,23	4,22 ±1,97	6,49 ±0,86	4,65 ±0,81
Cu	2,15 ±0,82	1,64 ±0,54	1,50 ±0,24	1,31 ±0,18	1,67 ±0,73	1,63 ±0,75
Al	234,92 ±47,25	155,44 ±54,90	247,40 ±16,88	184,32 ±53,47	206,43 ±15,27	192,16 ±56,35
Hg	0,54 ±0,44	0,22 ±0,33	0,35 ±0,15	0,30 ±0,29	0,22 ±0,34	0,25 ±0,44
Cd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd
Pb	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd	Nd

Valores promedios de cuatro repeticiones ± desviación estándar. Nd: no se detectó la presencia de Pb y Cd.

ambas épocas de recolecta, con disminuciones en las concentraciones de Mg, Na, Ca, Al y Cu entre 60 y 12% de la época lluviosa a la seca (59,30; 52,92; 35,17; 25,50 y 12,67%, respectivamente). En el caso de las panículas, fueron similares los contenidos de Cu y Hg tanto en la época lluviosa como en la seca; los contenidos de Na, Ca, Mg, Fe y K incrementaron de la recolecta en época lluviosa a la de época seca (141,91; 91,39; 62,90; 6,98 y 6,97%, respectivamente), mientras que los contenidos de Zn y Al disminuyeron en las panículas recolectadas durante la época seca (28,35 y 6,91%, respectivamente).

El contenido de Ca en la recolecta de la época lluviosa fue 1,92 y 2,82 veces mayor en las hojas con respecto a los tallos y panículas, respectivamente, y 1,47 veces mayor en las panículas que en los tallos. En la época seca fue 3,10 y 1,54 veces mayor en las hojas con respecto a los tallos y panículas, respectivamente, y 2,01 veces mayor en las panículas que en los tallos. El contenido de Mg en la época lluviosa fue similar para hojas y tallos, pero fue 1,68 y 1,64 veces mayor en las hojas y tallos respecto a las panículas; en la época seca fue 2,61 veces mayor en las hojas que en los tallos, similar entre las hojas y panículas, pero 2,44 veces mayor en las panículas

con respecto a los tallos. Con respecto al contenido de Na, fue similar para hojas y tallos en época lluviosa y en las hojas fue 3,22 veces mayor que en las panículas; en la época seca fue 2,05 veces mayor en las hojas que en los tallos y 1,31 veces mayor en las hojas que en las panículas y 1,57 veces mayor en las panículas con respecto a los tallos. El contenido de K fue 1,24 y 1,56 veces mayor en los tallos que en las hojas y panículas, respectivamente, para la época lluviosa y 1,25 veces mayor en las hojas al compararla con las panículas; en la época seca fue 1,72 y 1,49 veces mayor en los tallos que en las hojas y panículas, respectivamente, pero fue similar entre las hojas y las panículas. El contenido de Fe fue 2,32 y 1,61 veces mayor en las hojas con respecto a los tallos y panículas en el época lluviosa, mientras que en la época seca fue 1,19 mayor en las hojas; 1,28 y 1,52 veces mayor en las panículas con respecto a las hojas y tallos, respectivamente. El contenido de Zn fue mayor en las hojas tanto en la época lluviosa como seca siendo 4,78; 1,53; 3,29 y 1,39 veces mayor en las hojas con respecto a los tallos y panículas en época lluviosa y seca, respectivamente; las panículas tuvieron 1,45 veces más Zn que los tallos en la época lluviosa, con valores similares en época

seca. Para las hojas, tallos y panículas los contenidos de Cu, Al y Hg fueron similares en época lluviosa y seca, con excepción del contenido de Cu y Hg que fueron superiores en las hojas en época lluviosa (Tabla I).

Esto demostró que los metales se acumularon en los órganos de la planta en ambas épocas de recolecta, sin mostrar una tendencia definida, lo cual podría estar influenciado por la naturaleza del metal, los elementos contenidos y su movilidad en el suelo, los mecanismos fisiológicos propios de la planta y las condiciones climáticas (Srikumar, 1993, Martin de Troiani *et al.*, 2005).

Los contenidos de metales de *A. dubius* (Tabla I) obtenidos fueron superiores a la mayoría de los reportados por otros autores (Tabla II), inclusive de muestras de la misma especie recolectadas en Venezuela (Acevedo *et al.*, 2007; Olivares y Peña, 2009). Por el contrario, fueron inferiores a los reportados para la misma especie recolectada en Sudáfrica y en las especies *A. spinosus* y *A. hypocondriacus* (Tabla II).

El contenido de Fe se encontró en mayor proporción que el Na en la mayoría de las muestras analizadas. Este hallazgo es relevante por la importancia del Fe en la dieta diaria, cuyos requerimientos en un adulto han sido establecidos en 1mg/

día (Bothwell *et al.*, 1989). Debido a su alta concentración, puede considerarse al *A. dubius* una buena fuente de Fe en la alimentación.

El bajo contenido de Hg y la ausencia de Cd y Pb podría ser un indicador importante de la baja toxicidad del vegetal, lo cual difirió de lo reportado por Olivares y Peña (2009) al demostrar la presencia de Cd y Pb en *A. dubius* y *A. hybridus* recolectadas en varias zonas de Venezuela; en ese caso las altas concentraciones fueron

atribuidas al contenido de estos minerales en el suelo y a la absorción desde el aire; debido a que la recolección de las muestras se realizó en zonas agrícolas pobladas. Se ha reportado que las *Amaranthaceae* actúan como fitoremediadores de suelos contaminados con metales pesados, debido a su capacidad de adaptarse y sobrevivir en estas condiciones (Del Río *et al.*, 2002; Chuniñall *et al.*, 2005). Esta característica de la planta ha sido considerada beneficiosa desde el punto de vista ambiental, pero representa un peligro potencial para los consumidores. Chan y Corke (2002) y Nabulo *et al.* (2006) reportaron la presencia de Pb, Cd y Zn en *A. dubius* silvestre de varias localidades de Uganda; igualmente Del Río *et al.* (2002) reportaron la presencia de estos metales pesados en muestras de *A. blitoides*. En ambos casos los valores fueron superiores a los encontrados en el presente estudio. Este hallazgo es de interés debido a que demuestra la necesidad de cultivar el amaranto en suelos adecuados para evitar

TABLA II  
CONTENIDO DE METALES (mg/100g DE BIOMASA SECA)  
EN HOJAS DE DIVERSAS ESPECIES DE AMARANTO

Especies	Ca	Mg	mg/100g biomasa seca				
			Na	K	Fe	Zn	Cu
<i>Amaranthus p.</i> (1)	50	17	5,70	190	2,1	0,075	nd
<i>Amaranthus viridis</i> (2)	150	32	56	670	5,40	1,20	0,22
<i>Amaranthus hybridus</i> (3)	69,9	69,40	84,8	68,9	24,50	25,1	nd
<i>Amaranthus tricolor</i> (4)	239	253	84	433	15,01	0,60	0,09
<i>Amaranthus cruentus</i> (5)	200	250	380	370	40	90	-
<i>Amaranthus dubius</i> (6)	1686	806	347	-	25	56	3
<i>Amaranthus spinosus</i> (7)	3931	1166	393	-	32	15	3
<i>Amaranthus hipocondriacus</i> (8)	1900	590	90	5690	-	-	-

1: Srikumar (1993), 2: Guil *et al.* (1998), 3: Aletor *et al.* (2002), 4: Gupta *et al.* (2005), 5: Fasuyi (2007), 6 y 7: Odhav *et al.* (2007), 8: Rezaei *et al.* (2009).

Los datos originales en 1, 2, 3, 5 y 8 fueron transformados para expresarlos en mg/100g de biomasa seca. nd: no detectado.

la presencia de altos niveles metales pesados en sus tejidos, lo cual es perjudicial para los consumidores.

El contenido relativamente alto de Al en las muestras analizadas fue consistente con

lo reportado por Olivares *et al.* (2002), quienes indicaron que los arvenses tendieron a acumular una mayor proporción de Zn, Fe y Al con respecto a las demás plantas y siguieron un patrón similar a las plantas hiperacumuladoras. Reeves y Baker (2000) y Peralta-Videa (2002) reportaron que el Al se encontró en vegetales en una mayor o menor proporción de acuerdo a las condiciones generales del suelo. El contenido de Al en alimentos es un dato de interés toxicológico, debido a su posible participación en la etiología de ciertas enfermedades neurodegenerativas (Pennington y Shoen, 1995).

#### Efecto de interacción época de recolecta-órgano de la planta en el contenido de metales

El análisis estadístico evidenció diferencias significativas ( $P < 0,01$ ;  $P < 0,0001$ ;  $P < 0,003$  y  $P < 0,002$ , respectivamente) por efecto de la interacción entre la época de recolecta y los órganos de la planta sobre el contenido de Mg, Na, Fe y Zn (Figura 1).

El Mg se presentó en mayor concentración en las hojas en época seca

sin diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ) con los tallos para la misma época de recolecta y con las hojas y las panículas en la época lluviosa, pero disminuyó significativamente en los tallos de la época lluviosa respecto a la época seca y aumentó en las panículas en proporción comparable a las hojas en la época seca (Figura 1a).

El Na (Figuras 1b), se presentó en mayor cantidad en los tallos en la época lluviosa sin diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ) al compararlo con las hojas en ambas épocas de recolecta. El contenido de Na en las panículas aumentó significativamente de la época lluviosa a la seca y en los tallos disminuyó en una proporción similar (Figura 1b).

El Na y el Mg son minerales altamente solubles, al igual que otros minerales se concentran principalmente en las hojas durante la fase de crecimiento, y generalmente su acumulación es independiente de la disponibilidad de agua (Nilsen y Orcutt, 1996). Las diferencias que se observaron en la concentración de Na y Mg entre tallos y panículas podrían explicarse por la redistribución de estos minerales en estos órganos debido a su alta movilidad, lo que favoreció a las panículas por ser un órgano en crecimiento y maduración (Guardiola y García, 1990).

El Fe se presentó en mayor concentración en las hojas en la época lluviosa, seguidas por las panículas y los tallos, mientras que en la época seca los mayores valores correspondieron a las panículas, seguidas por las hojas y los tallos. El contenido de Fe en las hojas disminuyó significativamente ( $P < 0,05$ ) de la época lluviosa a la seca; mientras que los tallos y las panículas no presentaron diferencias estadísticas ( $P > 0,05$ ) en ambas épocas de recolecta (Fi-

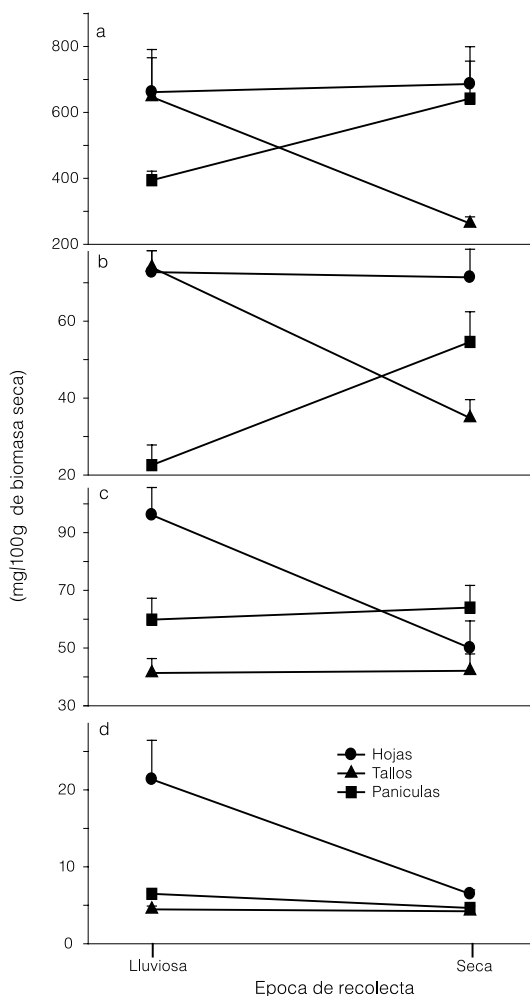


Figura 1. Contenidos de Mg(a), Na(b), Fe(c) y Zn(d), en mg/100g de biomasa seca, en hojas, tallos y panículas de *Amaranthus dubius*.

gura 1c). El Fe es un mineral que se acumuló en las hojas durante la época de crecimiento y su concentración tendió a incrementar a mayor disponibilidad de humedad; por lo tanto, se encontró en mayor proporción durante la época lluviosa. Esto a su vez pudo verse potenciado por su poca movilidad hacia otros órganos de la planta (Guardiola y García, 1990; Salibury *et al.*, 1994).

El Zn se presentó en mayor concentración en las hojas en época lluviosa, y disminuyó significativamente en la época seca. Las panículas y los tallos tuvieron contenido similar de Zn ( $P>0,05$ ) en ambas épocas de recolecta (Figura 1d), lo cual estuvo determinado por su movilidad intermedia entre órganos de la planta (Salibury *et al.*, 1994; Nilsen y Orcutt, 1996).

#### Efecto de la época de recolecta y órgano de la planta sobre el contenido de metales

El análisis estadístico evidenció diferencias ( $P<0,0002$ ) por efecto de la época de recolecta en el contenido de Al (Figura 2) y diferencias ( $P<0,0001$ ) por efecto órgano de la planta sobre el contenido de Ca y K (Figuras 3a y 3b). El resto de los metales analizados no presentaron diferencias estadísticas ( $P>0,05$ ).

El contenido de Al fue 1,30 veces mayor en la época lluviosa que en la seca, lo que implicó una disminución de 22,77% (Figura 2). La disponibilidad de agua favoreció la absorción del mineral debido a que incrementó su solubilidad en el suelo (Filho *et al.*, 1992; Nilsen y Orcutt, 1996).

La concentración del Ca fue 1,98 y 2,39 veces mayor en las hojas con respecto a los panículas y a los tallos, respectivamente, en los que no se observaron diferencias estadísticas ( $P >0,05$ ; Figura 3a). Esto podría deberse a que el Ca, por formar parte de la pared celular, presentó una translocación muy baja desde las hojas maduras hacia otros órganos de la planta; por tanto los frutos,

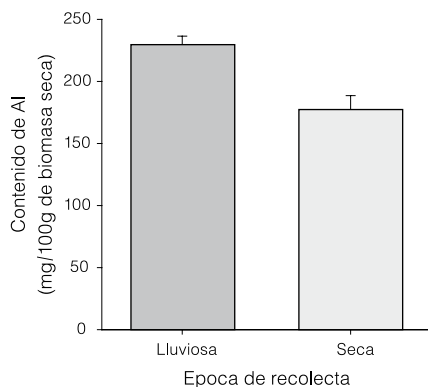


Figura 2. Contenido de Al en mg/100g de biomasa seca de *Amaranthus dubius* en época lluviosa y seca.

hojas jóvenes o partes terminales de las plantas suelen ser bajos en Ca (Underwood y Suttle, 1999).

La concentración del K fue 1,44 y 1,52 veces mayor en los tallos con respecto a hojas y panículas, respectivamente, en las que no se observaron diferencias estadísticas ( $P>0,05$ ) (Figura 3b). Se ha reportado que debido a su alta solubilidad el K se transfiere fácilmente hacia los distintos órganos de la planta después que se alcanza la madurez fisiológica, por lo cual no suele acumularse en las hojas (Guardiola y García, 1990).

#### Conclusiones

Los resultados obtenidos confirman que el *Amaranthus dubius* cultivado representa una fuente de macro- y micronutrientes que pudieran ser aprovechados para la alimentación humana y animal; lo cual está potenciado por su ausencia o baja concentración de metales pesados.

Los metales se acumularon en distintas concentraciones en los diversos órganos de la planta estu-

diados, en ambas épocas de recolecta. Esto podría deberse a la propia naturaleza del metal, los elementos minerales y su movilidad en el suelo, los mecanismos fisiológicos propios de la planta y las condiciones edafoclimáticas en las cuales se realizó el cultivo.

La concentración de Ca y K fue afectado únicamente por el órgano de la planta estudiada (hojas, tallos y panículas); además, el contenido de Al fue influenciado por la época de recolecta.

El contenido de micronutrientes (Mg, Fe, Na y Zn) en *A. dubius* difirió según el órgano de la planta y la época de recolecta. En general, las hojas y panículas recolectadas durante el periodo lluvioso presentaron los mayores contenidos, lo cual sugiere que estas partes de la planta constituyen una fuente importante de minerales y su consumo podría contribuir a

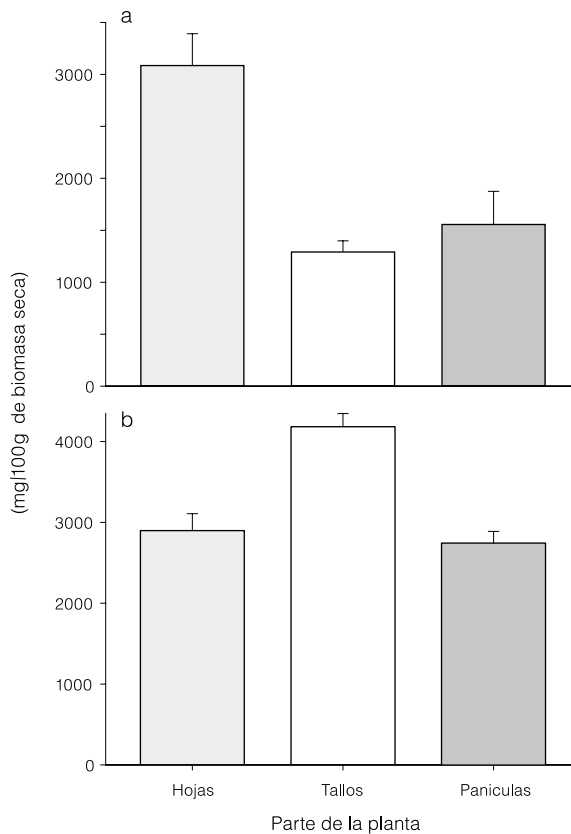


Figura 3. Contenidos de Ca (a) y K (b) en mg/100g de biomasa seca, en hojas, tallos y panículas de *Amaranthus dubius*.

prevenir y mejorar enfermedades como la osteoporosis, osteomalacia y anemias ferropénicas.

#### AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Consejo de Desarrollo Científico y Humanístico de la Universidad del Zulia, Venezuela (CONDES) por el financiamiento de este estudio (proyectos 0800-08 y 0800-01) y a la Fundación para el Desarrollo Endógeno de Caracas, Venezuela (FUNDECA) por permitir la toma de muestras.

#### REFERENCIAS

- Acevedo I, García O, Acevedo I, Perdomo C (2007) Valor nutritivo de bledo (*Amaranthus* spp.) identificado en el municipio Morán, estado Lara. *Agrolandia* 4: 77-93.
- Aletor O, Oshodi AA, Ipinmoroti K (2002) Chemical composition of common leafy vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates. *Food Chem.* 78: 63-68.
- Alfaro MA, Martínez A, Ramírez R, Bressani R (1987) Yield and chemical composition of the vegetal parts of the amaranth (*Amaranthus hypochondriacus* L.) at different physiology stages. *Arch. Latinoam. Nutr.* 37: 108-121.
- Álvarez-Jubete L, Wijngaard H, Arendt EK, Gallagher E (2010) Polyphenol composition and in vitro antioxidant activity of amaranth, quinoa buckwheat and wheat as affected by sprouting and baking. *Food Chem.* 119: 770-778.
- AOAC (1995) *Official Methods of Analysis*. Methods 925.09, 923.03. Association of Official Analytical Chemists. Arlington, VA, EEUU.
- Arellano M, Albarracín G, Arce S, Mucciarelli S (2004) Estudio comparativo de hojas de *Beta vulgaris* con *Amaranthus dubius* Mart ex Thell. *Phyton* 1: 193-197.
- Barba de la Rosa A, Fomsgaard I, Laursen B, Mortensen A, Olvera-Martínez L, Silva-Sánchez C, Mendoza-Herrera C, González-Castañeda J, De León-Rodríguez A (2009) Amaranth

- (*Amaranthus hypochondriacus*) as an alternative crop for sustainable food production: Phenolic acids and flavonoids with potential impact on its nutraceutical quality. *J. Cereal Sci.* 49: 117-121.
- Bothwell TH, Baynes RD, MacFarland BJ, Macphail AP (1989) Nutritional requirement and food iron adsorption. *J. Int. Med.* 226: 357-365.
- Carmona W (2007) Las especies del género *Amaranthus* (Amaranthaceae) en Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 24: 190-195.
- Chan ASM, Corke H (2002) Characterization of starch in 10 genotypes of three *Amaranthus* species. En *2002 Annual Meeting and Food Expo*. Anaheim, CA, EEUU.
- Chunilall V, Kindness A, Jonnala SB (2005) Heavy metal uptake by two edible *Amaranthus* herbs grown on soils contaminated with lead, mercury, cadmium, and nickel. *J. Env. Sci. Health* 40: 375-384.
- Del Río M, Fonta R, Almela C, Velez D, Montoro R, De Haro A (2002) A heavy metals and arsenic uptake by wild vegetation in the Guadamar river area after the toxic spill of the Aznalcoïllar mine. *J. Biotechnol.* 98: 125-137.
- Fasuyi AO (2007) Bio-nutritional evaluations of three tropical leaf vegetables (*Telfairia occidentalis*, *Amaranthus cruentus* and *Talinum triangulare*) as sole dietary protein sources in rat assay. *Food Chem.* 103: 757-765.
- Filho AP, Dutra S, Serrao EA (1992) Productividade estacional e composicao química de *Brachiaria humidicola* e pastagem nativa de Campo Cerrado do Estado do Amapá, Brasil. *Past. Trop.* 14: 11-16.
- Gibson RS, Ferguson EL (1998) Nutrition intervention strategies to combat zinc deficiency in developing countries. *Nutr. Res. Rev.* 11: 115-131.
- Guardiola JL, García A (1990) *Fisiología Vegetal I: Nutrición y Transporte*. Síntesis. Madrid, España. 440 pp.
- Guil JL, Giménez JJ, Torija ME (1998) Mineral Nutrient Composition of Edible Wild Plants. *J. Food Comp. and Anal.* 11: 322-328.
- Gupta SH, Lakshmi A, Manjunathb M, Prakash J (2005) Analysis of nutrient and antinutrient content of underutilized green leafy vegetables. *Food Sci. Technol.* 38: 339-345.
- Hurrell RF (1997) Bioavailability of iron. *Eur. J. Clin. Nutr.* 51: 4-8.
- Iskander DR, Davis BA (1992) Mineral and trace element content in bread. *Food Chem.* 45: 269-277.
- Mahan LK, Escott-Stump S (2001) *Nutrición y Dietoterapia de Krauser*. 10ª ed. Interamericana McGraw-Hill. Madrid, España. 1274 pp.
- Marcone MF, Jahaniaval F, Aliee H, Kakuda Y (2003) Chemical characterization of *Achyranthes bidentata* seed. *Food Chem.* 81: 7-12.
- Martin de Troiani R, Sánchez T, Anton de Ferramola L (2005) Incidencia de la fertilización en amaranto zona semiárida pampeana (Argentina). *Rev. Fac. Cs. Agr. Univ. Nac. Cuyo* 37: 65-71.
- Masoni A, Ercali L (1994) Influencia de la época de cosecha sobre el rendimiento de concentrado de proteína foliar de amaranto. *El amaranto y su potencial* 1: 17-23.
- Matteucci SD, Pla L, Colma A (1999) Recolección sistemática de germoplasmas de *Amaranthus* spp. en ecosistemas secos del estado Falcón, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)* 16: 356-370.
- Nabulo G, Oryem-Origab H, Diamondc M (2006) Assessment of lead, cadmium, and zinc contamination of roadside soils, surface films, and vegetables in Kampala City, Uganda. *Env. Res.* 10: 42-52.
- Nilsen T, Orcutt DM (1996) *Physiology of Plants under Stress. Abiotic Factors*. Wiley. Nueva York, EEUU. 689 pp.
- Obiajunwa EI, Adebajo AC, Omobuwajo OR (2002) Essential and trace element contents of some Nigerian medicinal plants. *J. Radioanal. Nucl. Chem.* 252: 473-476.
- Odhav B, Beekrum S, Akula U, Bajinath H (2007) Preliminary assessment of nutritional value traditional leafy vegetables in KwaZulu-Natal, South Africa. *J. Food Comp. Anal.* 20: 430-435.
- Okamoto K, Fuwa K (1984) Low contamination digestion bomb method using teflon double vessel for biological materials. *Anal. Chem.* 56: 1750-1760.
- Olivares E, Peña E (2009) Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación. *Interciencia* 24: 604-611.
- 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. *Interciencia* 27: 454-464.
- Omami EN, Hammes PS, Robbertse PJ (2006) Differences in salinity tolerance for growth and water-use efficiency in some amaranth (*Amaranthus* spp.) genotypes. *New Zeal. J. Crop Hort. Sci.* 34: 11-22.
- Ortega L (1992) Usos y valor nutritivo de los cultivos andinos. *Programa de Investigación de Cultivos Andinos*. Perú. pp. 250-265.
- Ozcan MM, Akbulut M (2007) Estimation of minerals, nitrate and nitrite contents of medicinal and aromatic plants used as spices, condiments and herbal tea. *Food Chem.* 106: 852-858.
- Paško P, Barton H, Folta M, Gwizdz J (2007) Evaluation of antioxidant activity of amaranth (*Amaranthus cruentus*) grain and by products (flour, popping, cereal). *Rocz. Państw. Zakł. Hig.* 58: 35-40.
- Pennington JAT, Shoen SA (1995) Estimates of dietary exposure to aluminium in foodstuffs. *Food Addit. Contam.* 12: 119-128.
- Peralta-Videa JR, Gardea-Torresday JL, Gómez E, Tiemann KJ, Parsons JG, Carrillo G (2002) Effect of mixed cadmium, copper, nickel and zinc at different pHs upon alfalfagrowth and heavy metal uptake. *Env. Pollut.* 119: 291-301.
- Reeves RA, Baker JM (2000) Metal accumulating plants. En Raskin I, Ensley BD (Eds.) *Phytoremediation of Toxic Metals: Using Plants to Clean up the Environment*. Wiley. Nueva York, EEUU. pp. 193-229.
- Repo-Carrasco-Valencia R, Peña J, Kallio H, Salminen S (2009) Dietary fiber and other functional components in two varieties of crude and extruded kiwicha (*Amaranthus caudatus*). *J. Cereal Sci.* 49: 219-224.
- Rezaei J, Rouzbehan Y, Fazaeli H (2009) Nutritive value of fresh and ensiled amaranth (*Amaranthus hypochondriacus*) treated with different levels of molasses. *Anim. Feed Sci. Technol.* 151: 153-160.
- Salisbury FB, Ross CW (1994) *Fisiología Vegetal*. Grupo Editorial Iberoamericano. México, DF. 759 pp.
- Srikumar TS (1993) The mineral and trace element composition of vegetables, pulses and cereals of southern India. *Food Chem.* 46: 163-167.
- SAS (2002-2003) *Statistical Analysis System*. Version 9.1. Institute Inc, Cary NC, EEUU.
- Tejada SO, Escalante EA, Soto GM, Rodríguez H, Vibrans GM, Ramírez HM (2004) Inhibidores de la germinación en el residuo seco de tallo de amaranto (*Amaranthus hypochondriacus*). *Rev. Soc. Quím. Méx.* 48: 118-123.
- Troiani RM, Ferramola L (2005) Elaboración y calidad de cubos compactados realizados con biomasa de amaranto. *Rev. Des. Rural Coop. Agr.* 9: 103-112.
- Underwood J, Suttle F (1999) *The Detection and Correction of Mineral Imbalances. The Mineral Nutrition of Livestock*. 3ª ed. CABI. Wallingford, RU. 600 pp.