

Rev. Fac. Agron. (LUZ). 2015, 32: 361-380

Chemical composition and digestibility of *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. A promising source of nutrients

Composición química y digestibilidad de *Amaranthus
dubius* Mart. ex Thell. Una fuente
promisoria de nutrientes

K. Montero-Quintero¹, R. Moreno-Rojas², E. Molina¹,
P. González-Redondo³, and A. Sánchez-Urdaneta⁴

¹Departamento de Química, Facultad de Humanidades y Educación, Universidad del Zulia (LUZ), Venezuela. ²Departamento de Bromatología y Tecnología de los Alimentos, Universidad de Córdoba, España. ³Departamento de Ciencias Agroforestales, Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica, Universidad de Sevilla, España.

⁴Departamento de Botánica, Facultad de Agronomía, LUZ, Venezuela.

Abstract

The chemical composition and digestibility of leaves, stems and panicles of *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. were evaluated. We collected the samples in Merecure, estado Miranda, Venezuela, in two collecting seasons (rainy and dry). We determined the proximate composition, dietetic fiber, acid detergent fiber, neutral detergent fiber, lignin and digestibility of the organic matter and of the neutral detergent fiber. We observed the interaction among these factors in most of these analyses, except for the crude fiber and neutral detergent fiber. The highest content of protein (270.90 g.kg⁻¹), ashes (211.70 g.kg⁻¹) and the highest digestibility of the organic matter (910.80 g.kg⁻¹) and of the neutral detergent fiber (770.50 g.kg⁻¹) were found in leaves during the rainy season. Protein concentration was lower in the stems during the dry season (60.80 g.kg⁻¹), and the lowest ether extract content (3.60 g.kg⁻¹) and lower digestibility of the organic matter (469.90 g.kg⁻¹) were found in the stems during the rainy season. The panicle presented the highest ether extract (22.40 g.kg⁻¹) and lignin (190.90 g.kg⁻¹) contents. The organ of the plant and the collecting season both affect the proximate composition and fiber content of *A. dubius*. Because of its high nutritional value and digestibility, it has potential as a food and feed supplements.

Key words: *Amaranthus dubius*, chemical composition, fiber, Amarantaceae, digestibility.

Recibido el 10-10-2014 • Aceptado el 02-10-2015

Autor de correspondencia e-mail: usanchez@fa.luz.edu.ve

Resumen

Se evaluó la composición química y digestibilidad de las hojas, tallos y panículas de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. Se recolectaron las muestras en Merecure, estado Miranda, Venezuela, en dos temporadas (época lluviosa y seca). Se determinó la composición proximal, fibra dietética, fibra ácido detergente, fibra neutro detergente, lignina y la digestibilidad de la materia orgánica y de la fibra neutro detergente. Se observó interacción entre los factores de estudio en la mayoría de estos análisis, excepto para la fibra cruda y fibra neutro detergente. El mayor contenido de proteína (270,90 g.kg⁻¹), cenizas (211,70 g.kg⁻¹) y la más alta digestibilidad de la materia orgánica (910,80 g.kg⁻¹) y de la fibra neutro detergente (770,50 g.kg⁻¹) se encontraron en las hojas durante la época lluviosa. La concentración de proteínas fue menor en los tallos durante la época seca (60,80 g.kg⁻¹), bajo contenido de grasa (3,60 g.kg⁻¹) y menor digestibilidad de la materia orgánica (469,90 g.kg⁻¹) se encontraron en los tallos en la época de lluvia. La panícula presentó el contenido más elevado de grasa (22,40 g.kg⁻¹) y lignina (190,90 g.kg⁻¹). La parte de la planta y la época de cosecha afectó la composición proximal y contenido de fibra de *A. dubius*. Debido a su alto valor nutritivo y la digestibilidad, sugiere tener alto potencial como suplemento alimenticio para humanos y animales

Palabras clave: *Amaranthus dubius*, composición química, fibra, Amaranaceae, digestibilidad.

Introduction

Amaranth belongs to the Amaranaceae family, *Amaranthus* genus, which includes 70 species distributed in tropical and subtropical areas. It is a photosynthetic plant of C₄ type, with high genetic diversity, high productivity, and adaptability to different soil-weather conditions, especially to dry soils and high temperatures (Olivares and Peña, 2009).

Amaranth species have been widely studied with applications in the human and animal feeding, being *Amaranthus cruentus*, *A. hybridus* and *A. hypochondriacus* well-known for the nutritional quality of their seeds, and as vegetables *A. hybridus*,

Introducción

El amaranto es una planta perteneciente a la familia Amaranaceae, género *Amaranthus*, la cual tiene más de 70 especies distribuidas en zonas tropicales y subtropicales. Es una planta fotosintética del tipo C₄, con alta diversidad genética, alta productividad y adaptada a diferentes condiciones edafoclimáticas, especialmente a suelos secos y altas temperaturas (Olivares y Peña, 2009)

Las especies de amaranto han sido ampliamente estudiadas con aplicaciones en la alimentación humana y animal; siendo las más conocidas *Amaranthus cruentus*, *A. hybridus* y *A. hypochondriacus* por la calidad nutricional de sus semillas (Bavec y

A. tricolor and *A. lividus* (Bavecand Mlakar, 2002; Olivares and Peña, 2009). Additionally, many *Amaranthus* species are applied as medicinal infusions or considered ornamental plants (Acevedo *et al.*, 2007; Barba de la Rosa *et al.*, 2009; Grobelnik Mlakar *et al.*, 2009).

Amaranth is an important source of nutrients, with high biological-quality protein, carbohydrates, dietetic fiber, lipids rich in unsaturated fats, minerals and vitamins (Odhav *et al.*, 2007; Alvarez-Jubete *et al.*, 2010; Montero-Quintero *et al.*, 2011). Amaranth also has significant quantities of bioactive components (Acevedo *et al.*, 2007; Barba de la Rosa *et al.*, 2009; Chlopicka *et al.*, 2012). On the other hand, amaranth does not contain gluten, therefore its seeds are considered a substitute in the preparation of bread, pasta, or different products specifically elaborated for people suffering from celiac disease or allergies to cereals (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010; Chlopicka *et al.*, 2012).

In Venezuela, *A. dubius*, *A. spinosus*, and *A. hybridus* grow wild extensively, and are commonly considered weeds of different subsistence crops (Matteucci *et al.*, 1999). Nevertheless, in its regions of origin (México, Peru and Bolivia, among others) amaranth has a marginal use in medicinal purposes, and as a legume for human feeding or as a complementary fodder for animals (Matteucci *et al.*, 1999; Abbasi *et al.*, 2011; Adewolu and Adamson, 2011).

Amaranthus dubius was included on the rescue program of ancestral foods in Venezuela due to its

Mlakar, 2002; Olivares y Peña, 2009) y como hortalizas *A. hybridus*, *A. tricolor* y *A. lividus* (Olivares & Peña, 2009). Adicionalmente, muchas tienen aplicaciones como infusiones medicinales o son consideradas plantas ornamentales (Acevedo *et al.*, 2007; Barba de la Rosa *et al.*, 2009; Grobelnik Mlakar *et al.*, 2009).

Se ha demostrado que el amaranto es una fuente importante de nutrientes, como proteínas de alta calidad biológica, carbohidratos, fibra dietética, lípidos ricos en grasas insaturadas, minerales y vitaminas (Odhav *et al.*, 2007; Alvarez-Jubete *et al.*, 2010; Montero-Quintero *et al.*, 2011). Además contiene cantidades significativas de componentes bioactivos (Acevedo *et al.*, 2007; Barba de la Rosa *et al.*, 2009; Chlopicka *et al.*, 2012). El amaranto no contiene gluten; por tanto sus semillas se consideran como alternativa en la elaboración de pan, pastas o diversos productos elaborados para personas con enfermedad celiaca o alérgicas a los cereales (Alvarez-Jubete *et al.*, 2010; Chlopicka *et al.*, 2012).

En Venezuela *A. dubius*, *A. spinosus* y *A. hybridus* crecen en forma silvestre; comúnmente se consideran arvenses de varios cultivos de subsistencia, como el maíz, sorgo y algunas leguminosas (Matteucci *et al.*, 1999). Sin embargo, se usa de manera marginal en sus regiones de origen (México, Perú, Guatemala, Bolivia, entre otros), con interés medicinal, como verdura para la alimentación humana o como forraje complementario en la alimentación de animales (Matteucci *et al.*, 1999; Abbasi *et al.*, 2011; Adewolu y Adamson, 2011).

nutritional and agronomic characteristics and is considered a potential crop wild species since 2005 (Acevedo *et al.*, 2007; Olivares and Peña, 2009).

Research on non-conventional vegetables, such as *A. dubius*, is a relevant aspect nowadays, since these vegetables can contribute to the worldwide production of low-price high-quality foods. Native plants adapt to the soil-weather conditions of the regions and, therefore, develop adequately as crops, thus allowing the procurement of raw-matter of excellent quality.

There is a worldwide need for seeking food alternatives to improve the nutritional condition of the population, particularly new sources of high-quality proteins (versus those of animal origin or traditional cereals), and more accessible in terms of production and price.

In this context, the objective of this research was to evaluate the chemical composition and digestibility in leaves, stems and panicles of *A. dubius* Mart. ex Thell. in two collecting seasons, in order to determine the potential of this species as raw matter for the enrichment or production of food for humans or livestock.

Materials and methods

Sample selection and processing

Samples of *A. dubius* were obtained from an experimental sowing site located in the farm El Néctar, Merecure, Acevedo Parish, Miranda State, Venezuela (10°31'38" N, 66°33'16" W). The soil was prepared

Amaranthus dubius fue incluido en el programa de rescate de alimentos ancestrales en Venezuela debido a sus características nutricionales y agronómicas y es considerado especie silvestre potencialmente cultivable desde el año 2005 (Acevedo *et al.*, 2007; Olivares and Peña, 2009).

La investigación de vegetales no convencionales, como el *A. dubius*, es un aspecto relevante en la actualidad, debido a que los mismos pueden contribuir con la producción de alimentos de alta calidad y bajos costos a nivel mundial. Las plantas nativas se adaptan a las condiciones edafoclimáticas de las regiones y por lo tanto se desarrollan adecuadamente como cultivo, lo cual permite obtener una materia prima de excelente calidad.

En el mundo existe la necesidad de buscar alternativas alimenticias que permitan mejorar el estado nutricional de la población, nuevas fuentes de proteínas de calidad comparable a las de origen animal o de cereales tradicionales, pero más accesibles en cuanto a su producción y costos.

Por lo antes expuesto, se planteó como objetivo evaluar la composición química y la digestibilidad en hojas, tallos y panículas de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell en dos épocas de recolecta a manera de determinar las potencialidades de esta especie como materia prima en el enriquecimiento o producción de alimentos.

Materiales y métodos

Selección y procesamiento de las muestras

Las muestras de *A. dubius* fueron obtenidas de una siembra experimental

with harrow and fertilized with organic matter (vegetal layer and poultry manure), and seeds were sown in furrows in two different seasons: rainy season (temperature 27.08°C, relative humidity 82.68%, precipitation 270.35 mm) and dry season (temperature 26.08°C, relative humidity 82.35%, precipitation 69.73 mm). The crop was not irrigated, and the plants were collected approximately 80 days after sowing.

Leaves, stems and panicles were divided, which were let dried in a stove (50 to 60°C ·40 h⁻¹) with rotation and constant ventilation. Then, were ground and sift at 0.5 mm (Resh Muhle Dietz, LB1-27) and stored in plastic containers with hermetic caps and covered with fabric for their posterior analysis.

Analysis of samples

The AOAC International (2005) procedures were used to determine DM (method 934.01), CP (method 976.05, Kjeldahl: N×6.25) and EE (method 2003.05). Crude fiber, ash and ADF were determined according to AOAC International procedures (2000; methods 962.09, 942.05 and 973.187, respectively). The neutral detergent fiber was assayed with a heat stable amylase and expressed inclusive of residual ash, without sodium sulphite (Mertens, 2002) and ADL was determined according to Van Soest *et al.* (1991). The content of dietetic fiber (DF) was determined by the non-enzymatic-gravimetric method (AOAC, 2005). The determination of the in vitro digestibility of organic matter (IVDOM) was done with the two-phase technique of Tilley and Terry (1963), which included, in the first place, a

ubicada en la Hacienda El Néctar, Merecure, municipio Acevedo, estado Miranda, Venezuela (10°31'38" LN, 66°33'16" LO). El suelo fue preparado con rastra y fertilizado con abono orgánico (capa vegetal y gallinaza); las semillas se sembraron en surcos en dos tiempos distintos: época lluviosa (temperatura 27.08°C; humedad relativa 82.68%, precipitación 270.35 mm) y en época seca (temperatura 26.08°C; humedad relativa 82.35%, precipitación 69.73 mm); el cultivo no fue regado.. y las plantas se recolectaron, aproximadamente 80 días después de cada siembra.

Se separaron las hojas, tallos y panículas. Los órganos de la planta se deshidrataron en estufa (50 a 60°C ·40 h⁻¹) con rotación y aireación constante, luego fueron molidos, tamizados con partícula 0,5 mm (ReshMuhleDietz, LB1–27) y almacenados en envases de polietileno con tapa hermética, se cubrieron con un saco de tela y se guardaron en estantes de madera para su posterior análisis.

Análisis de las muestras

Se usaron los procedimientos internacionales de AOAC para determinar la DM (método 934.01), CP (método 976.05, Kjeldahl: N×6.25) y EE (método 2003.05). La fibra cruda, ceniza y ADF se determinaron según los procedimientos de la AOAC International (2000; métodos 962.09, 942.05 y 973.187, respectivamente). La fibra detergente neutro se usó con una amilasa estable de calor e incluye ceniza residual, sin sulfito de sodio (Mertens, 2002) y el ADL se determinó de acuerdo a Van Soest *et al* (1991). El contenido de fibra dietética (DF) se determinó por el método no-enzimático gravimétrico (AOAC, 2005).

fermentation with ruminant microorganisms for 48 hours and, secondly, a digestion with hydrochloric acid and pepsin. The digestibility of the neutral detergent fiber (NDFD) was determined according to Tilley and Terry (1963) modified by Goering and Van Soest (1973), after the digestion of the sample with artificial saliva and ruminant liquid, a digestion with a neutral-detergent solution was done.

Statistical analysis

The data were analyzed using a randomized 3×2 split-plot design, with four replications and three subsamplings. The research factors being: organ of the plant (leaves, stem and panicle) and the collecting season (rainy and dry). The simple effects of the treatments were analyzed with Tukey's multiple comparison tests and the interaction of treatments with the GLM procedure with four replications and three sub-samples, using the statistical software SAS version 9.1.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). Level of significance was $P < 0.05$.

Results and discussion

Chemical composition

The chemical composition of *A. dubius* is presented in table 1, the most relevant findings being the high concentration of ashes and crude protein found, being observe dinteraction between the parts of the plant regarding the collecting seasons (figure 1).

The ashes concentration was presented in a range of 128.90 to 210.17 g.kg⁻¹, with the highest concentration corresponding to the leaves and the lowest to the panicles, both in rainy

La determinación de la digestibilidad *in vitro* de la materia orgánica (IVDOM) se realizó con la técnica de dos etapas de Tilley y Terry (1963), que incluyó en primer lugar una fermentación con microorganismos ruminales durante 48 horas y en segundo lugar una digestión con ácido clorhídrico y pepsina. La digestibilidad de la fibra neutro detergente (NDFD) se determinó según Tilley y Terry (1963) modificado por Goering y Van Soest (1975) donde luego de la digestión de la muestra con saliva artificial, líquido ruminal se realizó una digestión con una solución neutro-detergente.

Análisis estadístico

Los datos se analizaron utilizando un diseño experimental completamente al azar con un arreglo de tratamiento factorial 3x2 con cuatro repeticiones y tres sub-muestras. Los factores de estudio fueron órgano de la planta (hoja, tallo y panícula) y época de recolecta (lluviosa y seca). Los efectos simples de los tratamientos se analizaron con la prueba de comparaciones múltiples de Tukey y las interacciones de los tratamientos a través del procedimiento GLM con cuatro repeticiones y tres submuestras, utilizando el paquete estadístico SAS versión 9.1.3 (SAS Institute Inc., Cary, NC, USA). El nivel de significancia fue de $P < 0,05$.

Resultados y discusión

Composición química

La composición química de *A. dubius* se presenta en la tabla 1 siendo los hallazgos más relevantes las altas concentraciones de ceniza y proteína cruda encontradas. Se observó

Table 1. Chemical composition ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) of *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. according to the part of the plant and the collecting season.

Cuadro 1. Composición química ($\text{g}\cdot\text{kg}^{-1}$) de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. según la parte de la planta y la época de recolecta.

Parameter	Leaves		Stems		Panicles	
	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry
Dry matter	907.00±4.69 ^b	891.10±1.89 ^c	922.10±10.66 ^a	916.70±75.31 ^a	913.50±8.10 ^a	909.60±3.80 ^a
Ash	211.70±8.89 ^a	191.20±1.65 ^b	155.40±10.49 ^c	189.90±13.83 ^b	128.90±4.46 ^e	141.30±1.63 ^d
Crude protein	270.90±6.82 ^a	256.00±5.00 ^b	71.10±9.89 ^e	60.80±5.48 ^e	234.30±14.27 ^c	176.30±12.02 ^d
Ether extract	8.10±2.59 ^c	12.80±3.89 ^b	3.60±2.72 ^c	7.40±0.77 ^c	22.40±2.63 ^a	14.30±0.43 ^b
NFE [†]	425.10±10.11 ^b	439.40±14.22 ^a	459.70±22.00 ^a	396.80±22.38 ^c	401.70±12.17 ^b	420.80±21.88 ^b
TDN [‡]	617.80±7.94 ^e	635.80±1.52 ^d	657.30±8.38 ^c	629.20±10.95 ^d	683.60±4.03 ^a	671.40±1.80 ^b
Energy [§]	1178.32±25.48 ^e	1195.47±7.16 ^e	1282.53±26.48 ^c	1229.23±49.86 ^d	1357.21±20.03 ^a	1312.96±6.55 ^b

($n = 3$, sample size $n = 4$).

Values on dry basis. Values in the same row with different letters are significantly different ($P < 0.01$).

† NFE: Nitrogen-free extract. ‡ TDN: Total digestible nutrients.

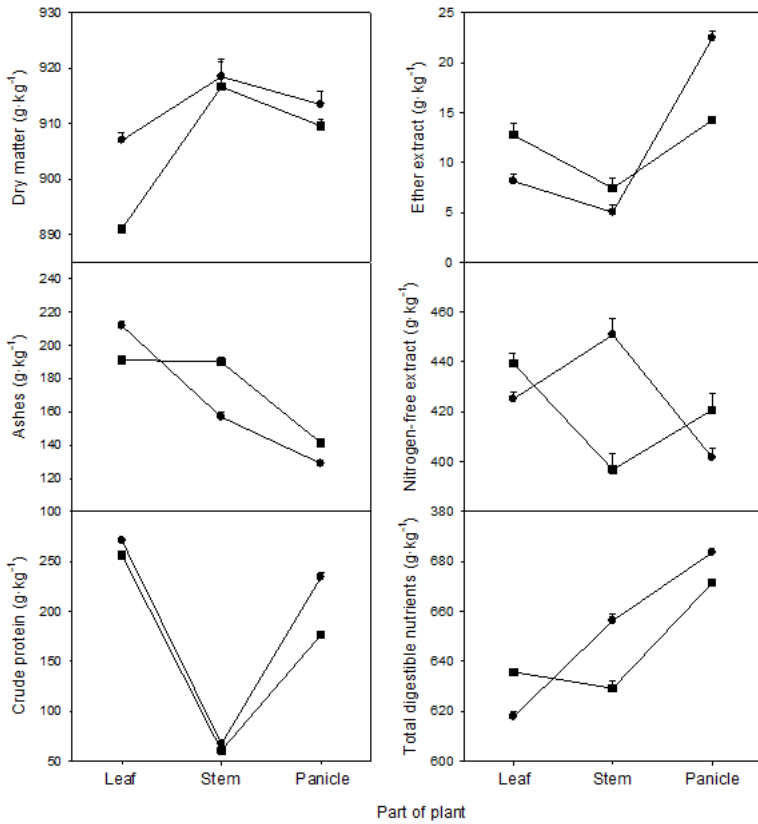


Figure 1. Interaction effect between the parts of the plant and the collecting season (I% rainy and % dry) on the content of dry matter, crude protein, ether extract, nitrogen free extract and total digestible nutrients in *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.

Figura. 1. Efecto de la interacción entre las partes de la planta y la época de recolecta (I% lluviosa y % seca) sobre contenido de material seca, proteína cruda, extracto etéreo, extracto libre de nitrógeno y nutrientes digeribles totales en *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.

seasons. Significant differences were seen ($P < 0.040$) for the studied factors, except between the leaves and stems during the dry season ($P > 0.812$).

The ashes content found (table 1) were high compared to those reported in *A. dubius*, *A. spinosus* and *A.*

interacción entre las partes de la planta con respecto a las épocas de recolecta (figura 1).

La concentración de cenizas se presentó en un rango de 128,90 a 210,17 g.kg⁻¹, la mayor concentración correspondió a las hojas y la

tricolor leaves (Gupta *et al.*, 2005; Odhav *et al.*, 2007) and in seeds of *A. cruentus*, *A. hybridus* and *A. caudatus* (Gamelet *et al.*, 2006) as well as in some legumes (Agbede and Aletor, 2005; Fasuyi, 2006; García and Medina, 2006), but were comparable to those reported in the same species and in *A. hybridus* (Aletor *et al.*, 2002). The amaranth presented a high concentration of ashes when compared to cereals and vegetables commonly consumed (Hernández *et al.*, 1987; Odhav *et al.*, 2007).

The high content of ashes, and therefore of minerals, is an important finding, since it suggests the importance of this species as a source of these micronutrients. High quantities of minerals in leaves, stems and panicles of the species, especially of calcium, iron, zinc, sodium and potassium (Molina *et al.*, 2011) have been reported.

The crude protein (CP) presented values ranging from 60.80 to 270.90 g.kg⁻¹ (table 1); the lowest value corresponded to stems and the highest value to the leaves. In all cases, the highest concentration was presented during the rainy season when compared to the dry, observing significant differences ($P < 0.045$) in the leaves and the panicles but not in the stems ($P > 0.151$; table 1).

This pattern was similar to that reported by Clavero and Ferrer (1995), who showed that the CP yield in fodders reduced during drought, since the nitrogen absorption during the rainy period was higher.

The protein values obtained were higher than those reported in leaves for the same species (Arellano *et al.*,

menor a las panículas, ambas en época lluviosa.

Se observaron diferencias significativas ($P < 0,040$) en los factores en estudio, excepto entre las hojas y los tallos durante la época seca ($P > 0.812$).

Los valores de cenizas encontrados (cuadro 1) fueron altos en comparación con los reportados en hojas de *A. dubius*, *A. spinosus* y *A. tricolor* (Gupta *et al.*, 2005; Odhav *et al.*, 2007) y en semillas de *A. cruentus*, *A. hybridus* y *A. caudatus* (Gamel *et al.*, 2006), así como en algunas leguminosas (Agbede and Aletor, 2005; Fasuyi, 2006; García and Medina, 2006), pero fueron comparables a los reportados para la misma especie y en *A. hybridus* (Aletor *et al.*, 2002). El amaranto presentó una alta concentración de cenizas al compararlo con cereales y vegetales de consumo convencional (Hernandez *et al.*, 1987; Odhav *et al.*, 2007).

El alto contenido de cenizas y por ello de minerales es un hallazgo importante debido a que sugiere la importancia de esta especie como fuente de estos micronutrientes. Se han reportado altas cantidades de minerales en hojas tallos y panículas de la especie, en especial de calcio, hierro, zinc, sodio y potasio (Molina *et al.*, 2011).

La proteína cruda (PC) presentó valores entre 60,80 a 270.90 g.kg⁻¹ (cuadro 1); el menor valor correspondió a los tallos y el mayor valor a las hojas. En todos los casos se presentó la concentración más alta durante la época lluviosa con respecto a la seca, observándose diferencias significativas ($P < 0,045$) en las hojas y las panículas, pero no en los tallos ($P > 0,151$; cuadro 1).

2004; Odhav *et al.*, 2007). At the same time, the concentrations in the panicles were higher compared to amaranth species such as *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* and *A. caudatus* (Gamel *et al.*, 2006; Shubhpreet *et al.*, 2010).

The CP values obtained in leaves and panicles in both recollecting seasons were higher than those reported in conventional vegetables such as spinach (*Spinaciao leracea*), lettuce (*Lactuca sativa*) and parsley (*Petroselinums ativum*) (KACST, 1995; Kruger *et al.*, 1998), and cereals such as corn (*Zea mays*), rice (*Oryza sativa*) and wheat (*Triticuma estivum*) (Hernández *et al.*, 1987; Marcone *et al.*, 2003).

Amaranthusdubius has a great nutritional interest since its leaves and panicles can be used as a new low-price protein source when compared to animal protein, as well as being employed in the supplementation of some foods. Previous researches revealed that species of the Amaranthaceae family present an amino acid balance higher than that of conventional cereals (FAO/WHO/UNU 1985; Gamel *et al.*, 2006).

The ether extract (EE) was presented in a range from 3.60 to 22.40 g.kg⁻¹ (table 1); the lowest value corresponded to the stems and the highest to the panicles, both during the rainy season. Significant differences were found (P<0.006) between the panicle in the rainy season and the rest of the organs of the plants studied in both collecting seasons.

The obtained EE values were lower than those reported for others species of amaranth (Gamelet *et al.*, 2006; Shubhpreet *et al.*, 2010). The lipid content in the leaves was higher

Este comportamiento fue similar a lo reportado por Clavero y Ferrer (1995), quienes demostraron que el rendimiento de proteína cruda en forrajes disminuyó durante la época de sequía debido a que la absorción de nitrógeno durante la época lluviosa fue mayor.

Los valores de proteína obtenidos fueron superiores a los reportados en hojas para la misma especie (Arellano *et al.*, 2004; Odhav *et al.*, 2007). Al mismo tiempo, las concentraciones en las panículas fueron mayores al compararlas con especies de amaranto como *A. cruentus*, *A. hypochondriacus* y *A. caudatus* (Gamel *et al.*, 2006; Shubhpreet *et al.*, 2010).

Los valores de PC obtenidos en las hojas y las panículas en ambas épocas de recolecta fueron superiores a los reportados en vegetales de consumo convencional como espinaca (*Spinaciao leracea*), lechuga (*Lactuca sativa*) y perejil (*Petroselinums ativum*) (KACST, 1995; Kruger *et al.*, 1998) y cereales como maíz (*Zea mays*), arroz (*Oryza sativa*) y trigo (*Triticuma estivum*) (Hernández *et al.*, 1987; Marcone *et al.*, 2003).

Amaranthus dubius es de gran interés nutricional, pues sus hojas y panículas pueden ser utilizadas como una nueva fuente de proteína a bajo costo, comparable con la proteína animal, así como ser empleada en la suplementación de algunos alimentos. Estudios previos han revelado que las especies de la familia Amaranthaceae presentan un balance de aminoácidos superior al de cereales de usos convencionales y comparable a los reportados por la FAO/OMS para el arroz, trigo, maíz, en-

than that reported for the same species (Odhav *et al.*, 2007), in *A. cruentus*, *A. hybridus* and *A. tricolor* (Aletorand Adeogun, 1995; Gupta *et al.*, 2005; Fasuyi, 2006).

In general, the EE values obtained were low compared to those reported for cereals such as corn and oat (*Avena sativa*) (Hernández *et al.*, 1987). However, the amaranth species have been related to the presence of squalene and essential fatty acids, substances absent in many vegetables. Thus, its potential presence in *A. dubius* might have a great nutritional interest (Macone *et al.*, 2003; Dhellot *et al.*, 2006).

The fiber content (CF) and neutral detergent fiber (NDF) contents did not present interaction between the studied factors ($P > 0.05$). In both cases, the lowest values corresponded to the leaves with statistical differences ($P < 0.001$) to the rest of the organs studied. In relation to the collecting season, the CF and NDF was highest in the dry season ($P < 0.001$).

The acid detergent fiber (ADF), dietetic fiber (DF) and acid detergent lignin (ADL) contents were affected by the interaction between the different organs of the plant and the collecting season (figure 2).

The concentration of ADF presented values ranging from 142.70 to 458.70 g·kg⁻¹ (table 2); the lowest value corresponded to the leaves and the highest value to the stems. In all cases, the highest concentration showed up during the dry season. Significant differences were observed between the organs of the plant in both collecting seasons ($P < 0.001$), except for the stems ($P > 0.200$; table 2).

tre otros; (FAO/OMS/UNU, 1985; Gamel *et al.*, 2006).

El extracto etéreo (EE) se presentó entre 3,60 a 22,40 g·kg⁻¹ (cuadro 1); el menor valor correspondió a los tallos y el mayor a las panículas, ambos durante época lluviosa. Se presentaron diferencias significativas ($P < 0,006$) entre la panícula en época lluviosa y el resto de los órganos de la planta estudiados en ambas épocas de recolecta.

Los valores de EE obtenidos fueron inferiores a los reportados para otras especies de amaranto (Gamel *et al.*, 2006; Shubhpreet *et al.*, 2010). El contenido lipídico en las hojas fue superior al reportado para la misma especie (Odhav *et al.*, 2007), en *A. cruentus*, *A. hybridus* y *A. tricolor* (Aletor y Adeogun, 1995; Gupta *et al.*, 2005; Fasuyi, 2006).

En general los valores de EE obtenidos fueron bajos a los reportados para cereales como maíz y avena (*Avena sativa*) (Hernández *et al.*, 1987). Sin embargo, las especies de amaranto han sido asociadas con la presencia de escualeno y ácidos grasos esenciales, sustancias ausentes en muchos vegetales, por lo que su presencia en *A. dubius* podría ser de gran interés nutricional (Macone *et al.*, 2003; Dhellot *et al.*, 2006).

Los contenidos fibra total (FT) y fibra neutro detergente (FND) no presentaron interacción entre los factores estudiados ($P > 0,05$). En ambos casos, los valores más bajos correspondieron a las hojas con diferencias estadísticas ($P < 0.001$) al resto de los órganos estudiados. En lo que se refiere a la época de recolecta, el FT y FND fueron mayor en la estación seca ($P < 0,001$).

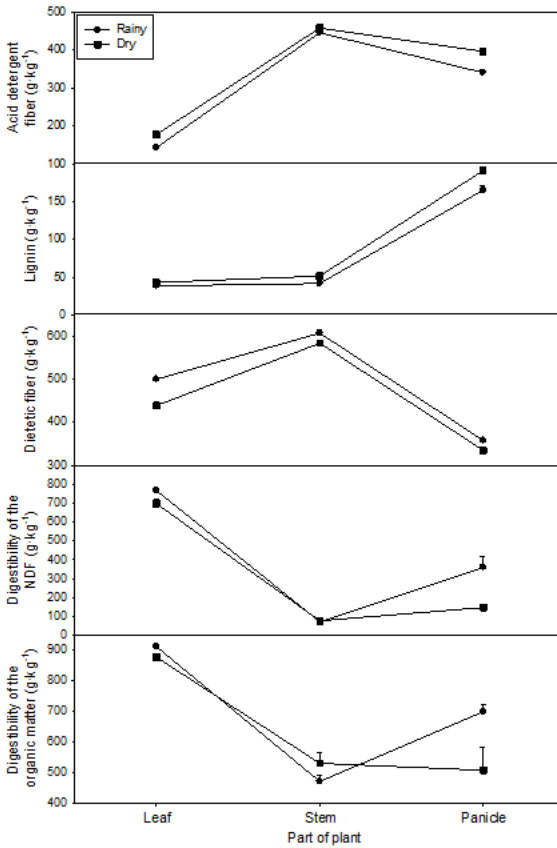


Figure 2. Interaction effect between the parts of the plant and the collecting season (̄% rainy and % dry) on the content of acid detergent fiber, acid detergent lignin, dietetic fiber, digestibility of the organic matter and digestibility of the neutral detergent fiber in *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell.

Figura. 2. Efecto de la interacción entre las partes de la planta y la época de recolecta (̄% lluviosa y % seca) sobre el contenido de fibra ácido detergente, lignina, fibra dietética y digestibilidad de la materia orgánica y dig.

The concentration of ADL varied from 38.60 to 190.90 g.kg⁻¹ (table 2); the lowest value corresponded to the leaves in the rainy season and the highest in the dry season. No statistical differences were observed

Los contenidos de fibra ácido detergente (FAD), fibra dietética (FD) y lignina (ADL) fueron afectados por la interacción entre los diferentes órganos de la planta y el mes de recolección (figura 2).

Table 2. Fiber content and digestibility (g.kg⁻¹) of *Amaranthus dubius* Mart ex Thell. according to the part of the plant and the collecting season.

Cuadro 2. Contenido de fibra y digestibilidad (g.kg⁻¹) de *Amaranthus dubius* Mart ex Thell. en diferentes partes de la planta y épocas de recolecta.

Parameter	Leaves		Stems		Panicles	
	Rainy	Dry	Rainy	Dry	Rainy	Dry
ADF †	142.70±12.81 ^e	177.40±7.32 ^d	442.00±23.86 ^a	458.70±11.79 ^a	340.80±28.81 ^e	396.90±9.55 ^b
ADL ††	38.60±5.94 ^e	43.00±6.67 ^e	42.10±8.16 ^c	51.70±4.57 ^c	165.00±19.83 ^b	190.90±10.38 ^a
Dietetic fiber	499.80±11.78 ^c	439.20±10.37 ^d	608.50±9.69 ^a	583.20±11.38 ^b	358.20±14.26 ^e	335.20±7.43 ^f
NDF § digestibility	770.50±24.25 ^a	700.50±54.23 ^a	68.56±4.01 ^c	73.83±7.52 ^c	360.20±116.58 ^b	145.00±17.09 ^c
In vitro digestibility of OM P	910.80±9.63 ^a	876.20±21.74 ^a	469.90±38.11 ^c	529.40±73.72 ^c	698.60±42.24 ^b	506.90±150.86 ^c

(n = 3, sample size n = 4).

Values on dry basis. Values in the same row with different letters are significantly different (P<0.01).

†ADF: acid detergent fiber, ††ADL: Acid detergent ligning. § NDF: neutral detergent fiber, P OM: organic matter.

($P > 0.903$) between the leaves and the stems in both collecting seasons, but differences were observed between both seasons in the panicles. A marked difference was seen for ADL between the high values of the panicle regarding the other parts of the plant ($P < 0.001$; table 2).

The content of DF presented values ranging from 335.20 to 608.50 g.kg⁻¹ (table 2); the lowest concentration corresponded to the panicles in the dry season, and the highest corresponded to the stems in the rainy season ($P < 0.003$; table 2).

The DF content in all parts of the plant was lower in the dry season. A marked difference was observed between the values obtained in the leaves, stem and panicle in both collecting seasons. A marginal tendency to the interaction in the DF content of the parts of the plant regarding the collecting seasons (figure 2) was observed.

The DF values found were comparable to those reported by Arellano *et al.* (2004) for the same species, and higher than those obtained for *A. caudatus* and *A. cruentus* seeds (Gamel *et al.*, 2006), as well as *A. tricolor* leaves (Kala and Praskah, 2004) and cereals with conventional usage such as wheat, oat, corn, rye (*Secale cereale*), barley (*Hordeum vulgare*) and sorghum (*Sorghum bicolor*) (Picolli da Silva and Santorio Ciocca, 2005).

In general, the contents of the studied fiber types were higher in the dry season when compared to those of the rainy season. The high temperatures of the dry season caused the products of the photosynthesis to

La concentración de fibra ácido detergente (FAD) se presentó valores de 142,70 a 458,70 g.kg⁻¹; el menor valor correspondió a las hojas y el mayor a los tallos. En todos los casos se presentó la concentración más alta durante la época seca con respecto a la lluviosa. Se observaron diferencias significativas entre los órganos de la planta en ambas épocas de recolecta ($P < 0,0001$), excepto entre los tallos ($P > 0,200$; cuadro 2).

La concentración de ADL varió de 38,60 a 190,90 g.kg⁻¹ (cuadro 2); el valor más bajo correspondió a las hojas en la estación lluviosa y la más alta en la estación seca. Se observaron diferencias estadísticas ($P > 0.903$) entre las hojas y los tallos en ambas estaciones, pero las diferencias fueron observadas en ambas épocas en las panículas. Se evidenció una marcada diferencia para ADL entre los altos valores de la panícula con respecto a las otras partes de la planta ($P < 0,001$; cuadro 2).

El contenido de fibra dietética (FD) se presentó en un rango de 335,20 a 608,50 g.kg⁻¹ (cuadro 2); la menor concentración correspondió a las panículas en época seca y la mayor a los tallos en época lluviosa ($P < 0,003$; cuadro 2).

El contenido de FD en todas las partes de la planta fueron menores en la época seca. Se observó una diferencia marcada entre los valores obtenidos en la hoja, el tallo y la panícula en ambas épocas de recolecta. Se observó una tendencia a la interacción en el contenido de FD de las partes de la planta con respecto a las épocas de recolecta (figura 2).

Los valores de FD encontrados fueron comparables a los reportados por

be converted more rapidly into structural components such as cellulose and lignin, at the same time reducing the digestibility of fodders, which affected its nutritional value (Van Soest and McQueen, 1973).

The fiber has not been considered a nutrient in the nutrition of monogastrics, and in high concentrations it could be harmful (Aletor and Adeogun, 1995), since it causes intestinal irritation, low digestibility and reduces the nutrients' absorption (Rojas, 1994). The latter could be an inconvenience when using amaranth in food preparation, if consumed at levels that adversely affect the digestive process. Nevertheless, mixing several products is a viable option to reduce the fiber content in the food, thus allowing formulating new food products with a lower quantity of fiber which in turn contributes to reduce the secondary effects caused by the high levels of consumption.

On the other hand, the fiber plays an important role in the maintenance of good health. The high level of dietetic fiber found is important to human nutrition, since it contributes in stimulating intestinal activity and in reducing intestine transit time, also contributing in the prevention of colon cancer (Rose *et al.*, 2007). Besides, it has an influence in the regulation of the body mass, the food intake, the glucose homeostasis, the sensitivity to the insulin and the risk of cardiovascular diseases (Kaline *et al.*, 2007). By its fiber content, *A. dubius* can become an alternative to formulate functional foods.

The NDF is a type of fiber that better relates to voluntary

Arellano *et al.* (2004) y superiores a los obtenidos para las semillas de *A. caudatus* y *A. cruentus* (Gamel *et al.*, 2006), así como en las hojas de *A. tricolor* (Kala y Praskah, 2004) y cereales de uso convencional como el trigo, avena, maíz, centeno (*Secale cereale*), cebada (*Hordeum vulgare*) y sorgo (*Sorghum bicolor*) (Picolli da Silva y Santorio Ciocca, 2005).

En general los contenidos de los tipos de fibra estudiados fueron mayores en la época seca con respecto a la lluviosa. Las altas temperaturas de la época seca conllevaron a que los productos de la fotosíntesis fueran convertidos más rápidamente en componentes estructurales como celulosa y lignina; lo cual a su vez disminuyó la digestibilidad de los forrajes, por lo que afectó su valor nutricional (Van Soest y McQueen, 1973).

La fibra no ha sido considerada como un nutriente en la alimentación de los monogástricos y en altas concentraciones podría ser perjudicial (Aletor y Adeogun, 1995), debido a que causa irritación intestinal, baja digestibilidad y disminuye en la absorción de nutrientes (Rojas, 1994). Lo antes planteado pudiera ser un inconveniente para el uso del amaranto en preparaciones alimenticias, siempre y cuando se exceda los valores máximos de consumo. No obstante, una opción viable para disminuir el contenido de fibra en los alimentos es la mezcla de varios de ellos permitiendo de esta manera formular nuevos productos alimenticios con una cantidad menor de fibra que permita disminuir los efectos secundarios del elevado consumo.

Por otra parte, la fibra juega un papel muy importante en el manteni-

consumption by animals. The values obtained in *A. dubius* suggest that it could be used as fodder for ruminants, since these animals are able to take advantage of the fiber materials high in cellulose and hemicelluloses (Van Soest and McQueen, 1973).

The ADL concentration limits the advantage in ruminants of the cellulose and hemicelluloses, the being linked to lignin, since lignin reduces the access of the hydrolytic enzymes (Jung and Allen, 1995), thus limiting the degradation process of cellulose and hemicelluloses by the microorganisms of the rumen. Therefore, the high concentration of ADL in the panicle can become a drawback for its use in ruminants.

In rabbit feeding, it is utmost necessary to include adequate levels of fiber. Even though this species is not capable of using the fibrous materials as energy source, fiber plays an important role in their digestive processes (Gidenne *et al.*, 2010).

Digestibility *in vitro*

The digestibility of the organic matter (IVDOM) was presented in a range of 469.90 to 910.80 g.kg⁻¹ (table 2); the lowest value corresponded to the stems and the highest value to the leaves, both in the rainy season. No statistical differences were observed between the rainy and dry seasons in the leaves and stems ($P > 0.05$).

The digestibility of the NDF (NDFD) varied from 68.56 to 770.50 g.kg⁻¹ (table 2). The leaves presented the highest values followed by panicles and stems; in all the cases, the highest value was observed during the rainy season (table 2). No significant differences ($P < 0.265$) were observed between the

miento de una buena salud. Los altos niveles de fibra dietética encontrados tienen importancia en la alimentación humana ya que actúa a nivel intestinal aumentando el bolo fecal, acompañado de una disminución del tiempo de tránsito intestinal y actuando como protector para el cáncer de colon (Rose *et al.*, 2007). Además, tiene influencia en la regulación de la masa corporal, la ingesta de alimentos, la homeostasis de la glucosa, la sensibilidad a la insulina y el riesgo de enfermedades cardiovasculares (Kaline *et al.*, 2007). Por su contenido de fibra, el *A. dubius* puede convertirse una alternativa para formular alimentos funcionales.

La FND es el tipo de fibra que se correlaciona mejor con el consumo voluntario en animales. Los valores obtenidos en *A. dubius* sugieren que podría ser usado como forraje para rumiantes, ya que estos animales son capaces de aprovechar los materiales fibrosos altos en celulosa y hemicelulosa (Van Soest y McQueen, 1973).

La concentración de LIG limita el aprovechamiento de la celulosa y hemicelulosa por los rumiantes; debido a que se entrelaza con éstas, impidiendo que los microorganismos del rumen las degraden ya que reduce el acceso de las enzimas hidrolíticas (Jung y Allen, 1995). Por tanto, la alta concentración de LIG en la panícula puede convertirse en un inconveniente para su uso en rumiantes.

En la alimentación de conejos es fundamental la inclusión de niveles adecuados de fibra, aun cuando no son capaces de aprovechar los materiales fibrosos como fuente de energía, esta juega un papel impor-

collecting seasons among the parts of the plant, except for the panicles ($P < 0.001$). The IVDOM and NDFD were affected by the interaction between the different organs of the plant and the collecting season (figure 2).

The digestibility of the amaranth was lower in the dry season as a consequence of the higher fiber contents in the different parts of the plant. This could be due to the high temperatures that caused higher transpiration of the plants, which facilitated the conversion of the photosynthesis products into structural components such as cellulose and lignin (Minson, 1982).

The results showed that IVDOM and NDFD were affected by the NDF content, which could be attributed either to the presence of phenolic compounds that interfere in nutrients digestibility (Delgado-Pertíñez *et al.*, 1998), or to the presence of protein linked to the fiber, that makes its enzymatic attack difficult (Dihigo *et al.*, 2002); however, the high digestibility values found on leaves of *A. dubius* suggest that it could be used as a fodder.

Conclusions

Amaranthus dubius can be considered a promising source of nutrients for both human and animal nutrition, due to its high protein levels especially in its leaves and panicle, which is favored by the high digestibility of the organic matter, especially leaves. Its high fiber content suggests it can be used in the preparation of functional foods or in feed manufacturing for livestock.

tante en sus procesos digestivos (Gidenne *et al.*, 2010).

Digestibilidad *in vitro*

La digestibilidad de la materia orgánica (DSMO) (DIVMO) se presentó en un rango de 469,90 a 910,80 g.kg⁻¹ (cuadro 2); el menor valor correspondió a los tallos y el mayor a las hojas, ambos en época lluviosa. No se observó diferencia estadística en las hojas y los tallos ($P > 0,05$).

La digestibilidad de la fibra neutro detergente (DSFND) varió entre 68,56 a 770,50 g.kg⁻¹ (cuadro 2). Las hojas presentaron los valores más altos seguidos por las panículas y los tallos, en todos los casos el mayor valor se observó durante la época lluviosa (cuadro 2). No se observó diferencia significativa ($P \leq 0,05$) entre las partes de la planta en ambas época de recolecta, con excepción de las panículas ($P > 0,001$). La DSMO y DSFND fueron afectadas por la interacción entre los diferentes órganos de la planta y época de recolecta (figura 2).

La digestibilidad del amaranto fue menor en la época seca, como consecuencia de contenidos mayores de fibra en las partes de la planta; esto último podría deberse a las altas temperaturas, que causaron una mayor transpiración de las plantas, lo cual facilitó la conversión de los productos de la fotosíntesis en componentes estructurales como celulosa y lignina (Minson, 1982)

Los resultados mostraron que la DSMO y DSFND fue afectada por el contenido en FND; lo que puede atribuirse a la presencia de otros compuestos fenólicos interfieren en la digestibilidad de sus nutrientes (Delgado-Pertíñez *et al.*, 1998) o a la pre-

Moreover, the components of nutritional interest of the amaranth were mostly affected by the factors which were studied: plant part and collecting season.

Literature cited

- Abbasi, D., Y. Rouzbehan and J. Rezaei. 2011. Effect of harvest date and nitrogen fertilization rate on the nutritive value of amaranth forage (*Amaranthus hypochondriacus*). *Anim. Feed. Sci. Tech.* 171:6-13.
- Acevedo, I., O. García, I. Acevedo and C. Perdomo. 2007. Valor nutritivo del bleado (*Amaranthus* spp.) identificado en el municipio Morán, estado Lara. *Revista Agrollanía* 4:77-93.
- Adewolù, M.A. and A.A. Adamson. 2011. *Amaranthus spinosus* leaf meal as potential dietary protein source in the practical diets for *Clarias gariepinus* (Burchell, 1822) fingerlings. *Int. J. Zool. Res.* 7:128-137.
- Aletor, V.A., A. Oshodi and K. Ipinmoroti. 2002. Chemical composition of common leafy vegetables and functional properties of their leaf protein concentrates. *Food Chem.* 78:63-68.
- Aletor, V.A. and O.A. Adeogun. 1995. Nutrients and anti-nutrient components of some tropical leafy vegetables. *Food Chem.* 53:375-379.
- Alvarez-Jubete, L., E.K. Arendt and E. Gallagher. 2010. Nutritive value of pseudocereals and their increasing use as functional gluten-free ingredients. *Trends Food Sci. Tech.* 21:106-113.
- AOAC International. 2005. Official Methods of Analysis. 18th Ed. Association of Official Analytical Chemists, Maryland, USA.
- Arellano, M.A.L., G. Albarraçin, S. Arce and S. Mucciarelli. 2004. Estudio comparativo de hojas de *Beta vulgaris* con *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. *Phyton* 73:193-197.
- Barba de la Rosa, A.P., I.S. Fomsgaard, B. Laursen, A.G. Mortensen, L. Olvera-

sencia de proteínas ligadas a la fibra, lo que causa que el ataque enzimático se torne difícil (Dihigo *et al.*, 2002). Sin embargo, los altos valores de digestibilidad encontrados en *A. dubius* sugieren que el mismo podría ser utilizado como forraje.

Conclusiones

El *Amaranthus dubius* puede ser considerando una fuente promisoría de nutrientes para la nutrición humana y animal por sus altos niveles de proteína especialmente en hoja y panícula, lo cual se ve favorecido por su alta digestibilidad de la materia orgánica. Su alto contenido de fibra sugiere que puede ser utilizado en la preparación de alimentos funcionales. Además, los componentes de interés nutricional del amaranto fueron afectados en su mayoría por los factores de estudio: partes de la planta y épocas del año.

Fin de la versión español

- Martínez, C. Silva-Sánchez, A. Mendoza-Herrera, J. González-Castañeda and A. De León-Rodríguez. 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.
- Bavec, F. and S.G. Mlakar. 2002. Effects of soil and climatic conditions on emergence of grain amaranths. *Eur. J. Agron.* 17:93-103.
- Clavero, T. and O. Ferrer. 1995. Valor nutritivo del pasto Elefante enano (*Pennisetum purpureum* cv. Mott). *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 12:365-372.

- Chlopicka, J., P. Pasko, S. Gorinstein, A. Jedryas and P. Zagrodzki. 2012. Total phenolic and total flavonoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of pseudocereals breads. *LWT-Food Sci. Technol.* 46:548-555.
- Delgado-Pertíñez, M., A. Chesson, G.J. Provan, A. Garrido and A. Gómez-Cabrera. 1998. Effect of different drying systems for the conservation of olive leaves on their nutritive value for ruminant. *Ann. Zootech.* 47:141-150.
- Dhellow, J.R., E. Matouba, M.G. Maloumbi, J.M. Nzikou, D.G. Safou Ngoma, M. Linder, S. Desobry, M. Parmentier. 2006. Extraction, chemical composition and nutritional characterization of vegetable oils: Case of *Amaranthus hybridus* (var 1 and 2) of Congo Brazzaville. *African Journal of Biotechnology* 5:1095-1101.
- Dihigo, L.E., L. Savón, F. Dormignych, M. Orta, T. Oramas, L. Sarduy and Y. Rosabal. 2002. Consideraciones fisiológicas sobre el uso de fuentes fibrosas tropicales para la alimentación de conejos en Cuba. *In: II Congreso de Cunicultura de las Américas.* La Habana, Cuba, p. 77.
- FAO/WHO/UNU. 1985. Energy and protein requirements: Report of a joint FAO/WHO/UNU expert consultation. WHO Technical Report Series No. 724. WHO, Geneva, Switzerland.
- Fasuyi, A.O. 2006. Nutritional potentials of some tropical vegetable leaf meals: chemical characterization and functional properties. *Afr. J. Biotechnol.* 5:49-53.
- Gamel, T.H., J.P. Linsen, A.S. Mesallam, A.A. Damir and L.A. Shekib. 2006. Effect of seed treatments on the chemical composition of two amaranth species: oil, sugars, fibres, minerals and vitamins. *J. Sci. Food Agr.* 86:82-89.
- Gidenne, T., R. Carabaño, J. García and C. De Blas. 2010. Fibre digestion, in *Rabbit nutrition*, pp. 66-82. De Blas C. and Wiseman J. (Eds.). CAB International, Wallingford, UK.
- Goering, H.K. and P.J. Van Soest. 1970. Forage fiber analyses. *Agriculture Handbook N° 379*, Agricultural Research Service, United States Department of Agriculture, Washington, D.C., USA.
- Gorinstein, S., E. Pawelzik, E. Delgado-Licon, R. Haruenkit, M. Weisz and S. Trakhtenberg. 2002. Characterization of pseudocereal and cereal proteins by protein and amino acid analyses. *J. Sci. Food Agr.* 82:886-891.
- Grobelnik Mlakar, S., M. Turinek, M. Jakop, M. Bavec and F. Bavec. 2009. Nutrition value and use of grain amaranth: Potential future application in bread making. *Agricultura* 10:43-53.
- Gupta, S., A. Jyothi-Lakshmi, M.N. Manjunat and J. Prakash. 2005. Analysis of nutrient and antinutrient content of underutilized green leafy vegetables. *LWT-FoodSci. Technol.* 38:339-345.
- Hernández, M., A. Chávez, H. Bourges. 1987. Valor nutritivo de los alimentos mexicanos. *Tablas de uso práctico.* División de Nutrición, INNSZ, México, 10th edition, pp. 34.
- Jung, H.G. and M.S. Allen. 1995. Characteristics of plant cell walls affecting intake and digestibility of forages by ruminants. *J. Anim. Sci.* 73:2774-2790.
- KACST. 1995. Evaluation of the nutritional status of the people of Saudi Arabia. Final Report. King Abdulaziz City for Science and Technology (KACST), Riyadh, Saudi Arabia.
- Kaline, K., S.R. Bornstein, A. Bergmann, H. Hauner and P.H.E. Schwarz. 2007. The importance and effect of dietary fiber in diabetes prevention with particular consideration of whole grain products. *Horm. Metab. Res.* 39:687-693.
- Kruger, M., N. Sayed, M.L. Langenhoven, F. Holing. 1998. Composition of South African foods. *Vegetables and fruit.* Supplement to the MRC Food Composition Tables 1991. South African Medical Research Council, Parow Valley, Cape Town, South Africa, pp. 2-39.

- Marcone, M.F., F. Jahaniaval, H. Aliee and Y. Kakuda. 2003. Chemical characterization of *Achyranthes bidentata* seed. *Food Chem.* 81:7-12.
- Matteucci, S.D., L. Pla and A. Colma. 1999. Recolección sistemática de germoplasmas de *Amaranthus* spp. en ecosistemas secos del estado Falcón, Venezuela. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 16:356-370.
- Minson, D.J. 1982. Effect of chemical composition on feed digestibility and metabolizable energy. *Nutr. Abstr. Rev. Series B* 50:591-615.
- Molina, E., P. González-Redondo, K. Montero, R. Ferrer, R. Moreno-Rojas and A. Sánchez-Urdaneta. 2011. Efecto de la época de recolecta y órgano de la planta sobre el contenido de metales de *Amaranthus dubius* Mart. ex Thell. *Interciencia* 36:386-391.
- Montero-Quintero, K., R. Moreno-Rojas, E. Molina y A.B. Sánchez-Urdaneta. 2011. Composición química de *Amaranthus dubius*: una alternativa para la alimentación humana y animal. *Rev. Fac. Agron. (LUZ)*. 28 (Supl. 1):619-627.
- Odhav, B., S. Beekrum, U. Akula and H. Baijnath. 2007. Preliminary assessment of nutritional value of traditional leafy vegetables in KwaZulu-Natal, South Africa. *J. Food Comp. Anal.* 20:430-435.
- Olivares, E. and E. Peña. 2007. Bioconcentración de elementos minerales en *Amaranthus dubius* (bledo, pira), creciendo silvestre en cultivos del estado Miranda, Venezuela, y utilizado en alimentación. *Interciencia* 34:604-611.
- Picolli Da Silva, L. and M.L. Santorio Ciocca. 2005. Total, insoluble and soluble dietary fiber values measured by enzymatic-gravimetric method in cereal grains. *J. Food Comp. Anal.* 18:113-120.
- Rojas, E. 1994. La fibra dietética. pp. 119-138. In: *Los carbohidratos en nutrición humana*. Rojas Hidalgo E. (Ed.). Aula Médica, Madrid.
- Rose, D.J., M.T. DeMeo, A. Keshavarzian and B.R. Hamaker. 2007. Influence of dietary fiber on inflammatory bowel disease and colon cancer: importance of fermentation pattern. *Nutr. Rev.* 65:51-62.
- SAS (Statistical Analysis System). 2002-2003. Version 9.1. Institute Inc, Cary NC, EEUU.
- Shubhpreet, K., N. Singh and J.C. Rana. 2010. *Amaranthus hypochondriacus* and *Amaranthus caudatus* germplasm: Characteristics of plants, grain and flours. *Food Chem.* 123:1227-1234.
- Tilley, J.M. and R.A. Terry. 1973. A two stages technique for the in vitro digestion of forage crops. *Grass Forage Sci.* 18:104-111.
- Vadivel, V. and K. Janardhanan. 2001. Diversity in nutritional composition of wild jack bean (*Canavalia ensiformis* L. DC.) seeds collected from south India. *Food Chem.* 74:507-511.
- Van Soest, P.J. and R.W. McQueen. 1973. The chemistry and estimation of fibre. Symposium on "Fibre in Human Nutrition". *Proc. Nutr. Soc.* 32:123-130.
- Van Soest, P.J., J. B. Robertson, B.A. Lewis. 1991. Methods for dietary fiber, neutral detergent fiber and non starch polysaccharides in relation to animal nutrition. *J. Dairy Sci.* 74:3583-3597.