

CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS Y DETERMINACIÓN DE MINERALES POR μ -XRF EN FRUTO DE CALABAZA (*Cucurbita moschata* DUCH)

CHARACTERISTICS AND DETERMINATION OF MINERALS BY μ -XRF IN SQUASH FRUIT (*Cucurbita moschata* DUCH)

Francisco Alberto **Chí-Sánchez**¹, Carlos Juan **Alvarado-López**², Jairo **Cristóbal-Alejo**¹, Arturo **Reyes-Ramírez**^{1*}

¹Tecnológico Nacional de México/I.T. Conkal. Avenida Tecnológico s/n, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México. (arturo.reyes@itconkal.edu.mx). ²Catedrático CONACYT-Instituto Tecnológico de Conkal, C.P. 97345, Conkal, Yucatán, México.

RESUMEN

En la península de Yucatán, México, el sistema milpa involucra una interacción de siembra de dos o tres especies de plantas principales como el maíz (*Zea mays*), el frijol (*Phaseolus vulgaris*) y la calabaza (*Cucurbita argyrosperma* o *C. moschata*). Sin embargo, en algunas regiones solo se cultiva maíz y *C. moschata*. Esta calabaza puede mostrar formas, tamaños y colores diversos en una sola plantación, debido a que los productores siembran distintos cultivares de la misma especie. Esta especie se consume fresca, como verdura, y las semillas de la fruta seca se usan en platillos regionales y dulces. El objetivo de este estudio fue caracterizar la morfología y la composición mineral de la calabaza. La hipótesis fue que las variantes de calabaza *C. moschata* cultivadas presentan variación morfológica, la cual está presente en el contenido de los minerales en semillas y en el fruto. Para este estudio se recolectaron seis variantes de calabaza cultivadas en dos parcelas de Conkal, Yucatán, México. Las evaluaciones incluyeron las características morfológicas de la fruta y la composición mineral en semillas, pericarpio y mesocarpio, mediante análisis μ -XRF. Las variantes de *C. moschata* presentan morfología diferente (semillas y frutos). El contenido de minerales en semillas y fruta (pericarpio y mesocarpio) presentó diferencias significativas entre las variantes. La variante CA4 presentó contenido alto de P, K, Mg, Fe, Cu, Mn y Zn. Variantes se identificaron con características sobresalientes en semillas y característica de los frutos (tamaño, forma, y grosor de la pulpa). El contenido de minerales mostró diferencias entre las variantes de calabazas *C. moschata* cultivadas en las dos parcelas de Conkal.

Palabras claves: sistema milpa, Cucurbitaceae, μ -XRF, macronutrientes, micronutrientes.

ABSTRACT

In the Yucatan Peninsula, Mexico, the milpa system involves a planting interaction of two or three main plant species such as corn (*Zea mays*), beans (*Phaseolus vulgaris*) and squash (*Cucurbita argyrosperma* or *C. moschata*). However, in some regions only corn and *C. moschata* are grown. This squash may show different shapes, sizes and colors in a single plantation, since producers plant different cultivars of the same species. This species is consumed fresh, as a vegetable, and the seeds of the dried fruit are used in regional and sweet dishes. The objective of this study was to characterize the morphology and mineral composition of the squash. The hypothesis was that cultivated *C. moschata* squash variants show morphological variation, which is present in the mineral content of seeds and fruit. For this study, six squash variants were collected from two plots in Conkal, Yucatan, Mexico. The evaluations included the morphological characteristics of the fruit and the mineral composition in seeds, pericarp and mesocarp, by means of μ -XRF analysis. *C. moschata* variants have different morphology (seeds and fruits). The mineral content in seeds and fruit (pericarp and mesocarp) showed significant differences between the variants. CA4 variant presented high content of P, K, Mg, Fe, Cu, Mn and Zn. Variants were identified with outstanding seed and fruit characteristics (size, shape, and flesh thickness). The mineral content showed differences between the *C. moschata* squash variants grown in the two plots of Conkal.

Key words: milpa system, Cucurbitaceae, μ -XRF, macronutrients, micronutrients.

INTRODUCTION

The genus *Cucurbita* belongs to the family Cucurbitaceae which includes five species of cultivable squash such as *Cucurbita*

* Autor para correspondencia ♦ Author for correspondence.

Recibido: junio, 2019. Aprobado: diciembre, 2019.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 54: 683-690. 2020.

INTRODUCCIÓN

El género *Cucurbita* pertenece a la familia Cucurbitaceae que incluye cinco especies de calabazas cultivables como *Cucurbita moschata*, *C. pepo*, *C. argyrosperma*, *C. maxima* y *C. ficifolia* (Nwofia *et al.*, 2012). La milpa en la Península de Yucatán, México, es un sistema de producción tradicional complejo, que involucra las asociaciones de diferentes especies en las cuales se encuentran las calabazas *C. moschata* y *C. argyrosperma* y en el centro-oriente del estado de Yucatán, México, se cultivan al menos 26 poblaciones de *C. moschata* (Canul-Ku *et al.*, 2005), y se distinguen dos variantes según el ciclo de maduración; la calabaza pequeña (en el lenguaje Maya 'Xmejen kúum') y la de ciclo largo o calabaza grande ('Xnuuk Kúum') (Moo-Huchin *et al.*, 2013). *Cucurbita moschata* son globulares a oblatos, lisas o surcadas, presenta pulpa gruesa, no amarga, no fibrosa, semillas pequeñas y cortezas no lignificadas, dureza moderada, la forma del fruto suele ser achatada o redondeada y puede tener forma de campana o extremadamente larga con un extremo abultado; el color exterior de la fruta madura por lo general no es brillante, con mayor frecuencia es de color café, a veces amarillo o verde oscuro y el color de la pulpa es a menudo anaranjado intenso y la mayoría de las semillas son de color blanco a marrón claro (Elfiky *et al.*, 2012; Paris, 2015). Los estudios de análisis de minerales en *C. moschata* han mostrado variabilidad genética de compuestos bioactivos y minerales en la pulpa de los frutos maduros en diferentes accesiones del sureste de Brasil (Priori *et al.*, 2017). El consumo de la calabaza no es solo en fruta, porque se consumen las semillas por los beneficios que aportan para la salud y que se atribuyen a su contenido y composición mineral de macro y micronutrientes (Darrudi *et al.*, 2018).

El objetivo de este estudio fue caracterizar la morfología y determinar la composición mineral, mediante μ -fluorescencia de rayos X, de seis colectas de *C. moschata* cultivadas en dos parcelas en Yucatán, México. La hipótesis fue que las seis variantes de calabaza presentan variación morfológica y que la variación está presente en el contenido de los minerales en semillas y en el fruto.

MATERIALES Y MÉTODOS

Seis variantes de *C. moschata* cultivadas bajo condiciones de temporal en el ciclo de primavera-verano del 2017 y 2018, se

moschata, *C. pepo*, *C. argyrosperma*, *C. maxima* and *C. ficifolia* (Nwofia *et al.*, 2012). The milpa in the Yucatan Peninsula, Mexico, is a complex traditional production system, involving the associations of different species, in which *C. moschata* and *C. argyrosperma* squashes are found, and at least 26 populations of *C. moschata* are grown in the central-eastern part of the state of Yucatan, Mexico (Canul-Ku *et al.*, 2005), and two variants are distinguished according to the maturity cycle; the small squash (in the Mayan language 'Xmejen kúum') and the long cycle or large squash ('Xnuuk Kúum') (Moo-Huchin *et al.*, 2013). *Cucurbita moschata* are globular to oblate, smooth or furrowed, have thick, non-bitter, non-fibrous flesh, small seeds and non-lignified bark, moderate hardness, the shape of the fruit is usually flattened or rounded and can be bell-shaped or extremely long with a bulging end; the outer color of the ripe fruit is usually not shiny, most often brown, sometimes yellow or dark green, and the color of the flesh is often deep orange and most seeds are white to light brown (Elfiky *et al.*, 2012; Paris, 2015). Studies of mineral analysis in *C. moschata* have shown genetic variability of bioactive compounds and minerals in the pulp of ripe fruits in different accessions in southeastern Brazil (Priori *et al.*, 2017). Squash is not only consumed as a fruit, because the seeds have health benefits attributed to their content and mineral composition of macro and micronutrients (Darrudi *et al.*, 2018).

The objective of this study was to characterize the morphology and determine the mineral composition of six collections of *C. moschata* grown in two plots in Yucatan, Mexico, using X-ray fluorescence. The hypothesis was that the six squash variants present morphological variation and the variation is present in the mineral content of seeds and fruit.

MATERIALS AND METHODS

Six *C. moschata* variants grown under rainfed conditions in the spring-summer cycle of 2017 and 2018 were collected from two plots in Conkal, Yucatan, Mexico. Five squash variants were collected in the first plot (San Antonio) (21° 05' 09.0" N and 89° 30' 50.1" W): CA1 (Saak-kuum), CA2 (Hard shell), CA3 (Chay caán), CA4 (Mejen Cholul), CA5 (Mejen); in the second plot (ITConkal) (21° 04' 38.8" N and 89° 29' 58.4" W) variant CA6 (Chay caán) was collected. Fresh weight, number of seeds per squash, shell thickness and flesh thickness were determined in the samples. Excess pulp was removed from the seeds and they

recolectaron en dos parcelas en Conkal, Yucatán, México. En la primera parcela (San Antonio) (21° 05' 09.0" N y 89° 30' 50.1" O) se obtuvieron cinco variantes de calabazas: CA1 (Saak-kuum), CA2 (Cáscara dura), CA3 (Chay caán), CA4 (Mejen Cholul), CA5 (Mejen); en la segunda parcela (ITConkal) (21° 04' 38.8" N y 89° 29' 58.4" O) se recolectó una variante, CA6 (Chay caán). En las muestras se determinó peso fresco, número de semillas por calabaza, grosor de la cáscara y grosor de la pulpa. En las semillas se eliminó el exceso de pulpa y se deshidrataron a temperatura ambiente durante dos días. En las calabazas se extrajo una muestra de la pulpa en forma de cilindro de 2.5 cm de diámetro. La pulpa y las semillas se secaron a 60 °C durante cinco días para determinar y cuantificar el contenido de minerales. La caracterización morfológica se realizó de acuerdo con los descriptores para Cucurbitaceae propuesto por Esquinas-Alcazar y Gulick (1983).

La determinación de los minerales se realizó con μ -Fluorescencia de Rayos X (μ -XRF) en un equipo M4 Tornado 100 (Bruker, Alemania). La detección de la radiación de fluorescencia se efectuó con un detector de dispersión de energía de silicio (XFlash). Las mediciones se realizaron al vacío a 2000 Pa. Las fracciones de masa obtenidas se corrigieron con la biomasa total. Con los datos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA) para estimar diferencias significativas mediante el programa Statgraphics Centurion XVI versión 16.1.11.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Caracterización morfológica

Las características de semilla y fruto fueron determinantes en las distintas variantes de calabazas y se observaron diferencias significativas. El peso del fruto fue de 763 a 1430 g y el peso de la semilla fue de 9.92 a 11.22 g por 100 semillas (Cuadro 1). Estos resultados concuerdan con Canul-Ku *et al.* (2005) en un estudio realizado en 26 poblaciones de *C. moschata* cultivadas en el centro-oriente del estado de Yucatán, y ellos encontraron frutos de 590 a 1100 g, con semillas pequeñas de peso promedio de 6.78 g en 100 semillas, en comparación con frutos y semillas de tamaño mayor observadas en *C. argyrosperma*.

Análisis de minerales mediante μ -XRF

Los resultados de los análisis en la composición de mineral mediante μ -XRF mostraron diferencias significativas en los minerales detectados en semillas y en el fruto de las seis variantes de calabazas. En el

were dried at room temperature for two days. A 2.5 cm diameter cylinder-shaped sample of the pulp was extracted from the squashes. The pulp and seeds were dried at 60 °C for five days to determine and quantify the content of minerals. Morphological characterization was done according to the descriptors for Cucurbitaceae proposed by Esquinas-Alcazar and Gulick (1983). The determination of the minerals was performed with μ -XRF (X-ray fluorescence) in an M4 Tornado 100 (Bruker, Germany) unit. The detection of the fluorescence radiation was performed with an energy dispersive silicon detector (XFlash). The measurements were performed in a vacuum at 2000 Pa. The obtained mass fractions were corrected with the total biomass. With the data, an analysis of variance (ANOVA) was performed to estimate significant differences using the Statgraphics Centurion XVI program, version 16.1.11.

RESULTS AND DISCUSSION

Morphological characterization

The characteristics of seed and fruit were decisive in the different variants of squashes and significant differences were observed. Fruit weight was 763 to 1430 g and seed weight was 9.92 to 11.22 g per 100 seeds (Table 1). These results are consistent with those of Canul-Ku *et al.* (2005) in a study of 26 *C. moschata* populations grown in the central-eastern part of the state of Yucatan, where they found fruits ranging from 590 to 1100 g, with small seeds averaging 6.78 g per 100 seeds, compared to larger fruits and seeds observed in *C. argyrosperma*.

Analysis of minerals by μ -XRF

The results of the analysis of mineral composition by μ -XRF showed significant differences in the minerals detected in seeds and fruit of the six squash variants. Analysis of Mg in seeds yielded concentrations of 2.96 (CA5) to 24.14 (CA1) g kg⁻¹ on a dry weight basis (Table 2). The Mg content in seeds of the CA1 variants of *C. moschata* is higher than that reported by Karanja *et al.* (2013). Mg concentrations in the pericarp were 0.20 (CA4) to 1.63 (CA1) g kg⁻¹ and for the mesocarp 0.01 (CA5) to 1.70 (CA4) g kg⁻¹ on a dry weight basis. No Mg was detected in the pericarp of CA3, CA5 and CA6 (Table 3). Jacobo-Valenzuela *et al.* (2011) studied *C. moschata* cv. "Cehualca" and found concentrations of Mg between 2.51 to 4.92 g kg⁻¹ in the shell and 1.21

Cuadro 1. Variables morfológicas evaluadas en seis variantes de calabaza.
Table 1. Morphological variables evaluated in six squash variants.

Variables morfológicas	Variantes						DMS
	CA1	CA2	CA3	CA4	CA5	CA6	
Peso de la fruta (g)	763c	664d	1263b	607e	286f	1430a	24.63
Peso de 100 semillas (g)	10.96a	8.23b	7.88c	6.92d	8.19b	11.22a	0.24
No. de semillas por fruta	413c	231e	624a	244e	285d	463b	10.72
Peso medio por la semilla (g)	0.12a	0.08d	0.09c	0.07e	0.10b	0.11b	0.07
Longitud de la semilla (mm)	965.6b	464.3e	863.3c	607.5d	285.6f	1429.8a	22.81
Ancho de la semilla (mm)	8.22bc	8.45bc	8.58b	8.42bc	8.42bc	9.1a	0.22
Índice de semillas	129.7b	89.2d	100.7c	72.1e	33.9f	157.1a	2.8
Grosor de la semilla (mm)	2.78a	2.42c	1.80d	1.85d	1.85d	2.52b	0.59
Diámetro de la fruta (mm)	155.2b	141.8c	173.5a	128.3d	97.8e	173.8a	3.94
Diámetro polar de la fruta (mm)	88.01c	88.45c	91.58b	80.4d	60.11e	94.47a	2.25
GBC [†] (mm)	14.97d	19.36b	17.65c	12.85f	13.96e	22.4a	0.45
Grosor de la pulpa (mm)	20.81d	24.69a	21.58c	22.76b	18.73e	22.4b	0.58
GC (mm)	13.65cd	10.8e	17.18b	13.78c	14.26c	18.35a	0.39
Grosor de la cascara (mm)	1.14e	1.44d	1.51d	7.46a	4.99b	3.05c	0.10

Medias con letras distintas indican diferencia estadística (Tukey; $p \leq 0.05$). [†]GBC: grosor de la base del pedúnculo. GC: grosor de la pulpa de la base del pedúnculo ♦ Means with different letters indicate statistical difference (Tukey; $p \leq 0.05$). [†]GBC: thickness of the base of the stalk. GC: pulp thickness of the stalk base.

análisis de Mg en semillas se obtuvieron concentraciones de 2.96 (CA5) a 24.14 (CA1) g kg⁻¹ en peso seco (Cuadro 2). El contenido de Mg en semillas de las variantes CA1 de *C. moschata*, es mayor al reportado por Karanja *et al.* (2013). Las concentraciones de Mg en el pericarpio fueron 0.20 (CA4) a 1.63 (CA1) g kg⁻¹ y para el mesocarpio 0.01 (CA5) a 1.70 (CA4) g kg⁻¹ en peso seco. No se detectó Mg en el pericarpio de CA3, CA5 y CA6 (Cuadro 3). Jacobo-Valenzuela *et al.* (2011) estudiaron *C. moschata* cv. “Cehualca” y encontraron concentraciones de Mg de 2.51 a 4.92 g

to 1.61 g kg⁻¹ in the flesh of cultivated squashes, as well as a large variability between their physical and physicochemical characteristics.

Phosphorus concentrations in whole seeds were 1.75 (CA1) to 4.37 (CA4) g kg⁻¹ dry weight. Phosphorus concentrations in the pericarp were 0.05 (CA5) to 3.61 (CA3) g kg⁻¹ and 0.08 (CA2) to 2.52 (CA4) g kg⁻¹ for the mesocarp on a dry weight basis. Martínez-Valdivieso *et al.* (2015) reported concentrations of 3.9 to 8.3 g kg⁻¹ in mesocarp of 34 squash genotypes.

Cuadro 2. Análisis de mineral en semillas enteras por medio de μ -XRF en seis variantes de calabazas.

Table 2. Mineral analysis in whole seeds by means of μ -XRF in six squash variants

Variantes	Macroelementos (g kg ⁻¹ peso seco)				Microelementos (mg kg ⁻¹ peso seco)			
	Mg	P	K	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
CA1	24.14a [†]	1.75c	443.4c	73.5c	4.93d	4.38a	1.75b	6.99b
CA2	7.38bc	1.84c	172.1f	46.3e	5.72c	2.40c	1.29d	5.35c
CA3	8.25b	2.36b	658.6b	52.6d	5.66c	2.12b	3.30a	7.07b
CA4	6.24c	4.37a	715.6a	86.5b	6.55b	4.37a	1.56c	65.54a
CA5	2.96d	2.07b	339.0d	41.0f	13.75a	2.07d	0.59e	3.10d
CA6	3.42 d	2.49 b	277.3e	103.5a	0.93e	0.93e	0.00f	0.00e
DHS	17.58	3.12	372.83	49.44	17.86	1.54	3.50	23.17

[†]Medias con letras diferentes indican diferencia estadística (Tukey; $p \leq 0.05$) ♦ Means with different letters indicate statistical difference (Tukey; $p \leq 0.05$).

kg⁻¹ en la cascara y en la pulpa de 1.21 a 1.61 g kg⁻¹ en calabazas cultivadas, y una gran variabilidad entre sus características físicas y fisicoquímicas.

Las concentraciones de P en semillas enteras fueron 1.75 (CA1) a 4.37 (CA4) g kg⁻¹ en peso seco. Las concentraciones de P en el pericarpio fueron 0.05 (CA5) a 3.61 (CA3) g kg⁻¹ en peso seco y para el mesocarpio 0.08 (CA2) a 2.52 (CA4) g kg⁻¹ en peso seco. Martínez-Valdivieso *et al.* (2015) reportaron concentraciones de 3.9 a 8.3 g kg⁻¹ en mesocarpio de 34 genotipos de calabaza.

El potasio fue el mineral más abundante en semillas y pulpa, de acuerdo con lo reportado para semillas de *Cucurbita* spp. (Karanja *et al.*, 2013) y la pulpa de *C. moschata* (Priori *et al.*, 2017). La concentración de K en semillas varió de 172.13 (CA2) a 715.68 (CA4) g kg⁻¹ en peso seco, y estos resultados son mayores a los reportados por Bouazzaoui y Mulengi (2018) en *C. moschata* de 3.94 g kg⁻¹. Concentraciones de K fueron 5.9 (CA5) a 72.93 (CA6) g kg⁻¹ en peso seco en el pericarpio y el mesocarpio con valores de 11.7 (CA2) a 122.81 (CA4) g kg⁻¹ en peso seco.

Los resultados de nuestro estudio demostraron que el contenido de K es mayor a lo encontrado por Priori *et al.* (2017) de 33.9 y 94.6 mg kg⁻¹ en peso seco de pulpa de *C. moschata*. En otro estudio para *C. moschata* cv. "Cehualca" los valores del contenido de K fueron similares: 22.55 g kg⁻¹ en cáscara y

Potassium was the most abundant mineral in seeds and pulp, as reported for *Cucurbita* spp. seeds (Karanja *et al.*, 2013) and the pulp of *C. moschata* (Priori *et al.*, 2017). The concentration of K in seeds varied from 172.13 (CA2) to 715.68 (CA4) g kg⁻¹ dry weight, and these results are higher than those reported by Bouazzaoui and Mulengi (2018) in *C. moschata* of 3.94 g kg⁻¹. Potassium concentrations were 5.9 (CA5) to 72.93 (CA6) g kg⁻¹ dry weight in the pericarp and values from 11.7 (CA2) to 122.81 (CA4) g kg⁻¹ dry weight in mesocarp.

The results of our study showed that the K content is higher than that found by Priori *et al.* (2017) of 33.9 and 94.6 mg kg⁻¹ dry weight of *C. moschata* pulp. In another study for *C. moschata* cv. "Cehualca" the K content values were similar: 22.55 g kg⁻¹ in shell and 42.19 g kg⁻¹ in pulp (Jacobo-Valenzuela *et al.*, 2011). The concentration of Ca in whole seeds varied from 41.0 (CA5) to 103.51 (CA6) g kg⁻¹. In the pericarp, Ca concentrations were 0.39 (CA5) to 19.24 (CA3) g kg⁻¹ dry weight and 3.07 (CA4) to 10.96 (CA3) g kg⁻¹ in mesocarp dry weight. Regarding Ca concentrations, Jacobo-Valenzuela *et al.* (2011) found 4.35 to 6.86 g kg⁻¹ in the shell, lower values than in our study, and similar values from 3.11 to 9.85 g kg⁻¹ in the pulp of *C. moschata* cv. "Cehualca".

Iron was the only microelement detected in all the samples analyzed. The Fe concentrations in

Cuadro 3. Análisis de mineral en el pericarpio (Pc) y mesocarpio (Mc) en frutos de calabaza mediante μ -XRF.

Table 3. Analysis of mineral in pericarp (Pc) and mesocarp (Mc) in squash fruits by μ -XRF.

Variantes/Zona	Macroelementos (g kg ⁻¹ peso seco)				Microelementos (mg kg ⁻¹ peso seco)			
	Mg	P	K	Ca	Fe	Mn	Cu	Zn
CA1 Pc	1.63a [†]	1.95b	11.8f	7.03d	45.3g	0.0 e	0.0d	0.0j
Mc	0.36b	1.31c	36.3d	6.91d	249.4b	22.7c	22.7b	22.7f
CA2 Pc	0.37b	0.07f	12.1f	4.78e	30.9h	0.0 e	0.0d	0.0 j
Mc	0.18c	0.08f	11.7f	3.82e	41.3g	0.0e	10.31c	5.2i
CA3 Pc	0.00 e	3.61a	59.8d	19.24a	159.2d	26.5b	26.52a	53.1b
Mc	0.05d	0.58d	93.2b	10.96b	199.0c	13.27d	26.51a	26.6e
CA4 Pc	0.20 c	1.52c	41.0d	10.37b	82.0 e	40.9a	0.0d	41.0c
Mc	1.70a	2.52b	122.8a	3.07e	389.9a	40.9a	20.5b	163.9a
CA5 Pc	0.00e	0.05f	5.9g	0.39 f	27.4i	0.0e	0.0d	9.1h
Mc	0.01d	0.22e	25.0e	7.37 d	27.4i	0.0e	0.0d	4.6i
CA6 Pc	0.00e	1.58c	72.93c	8.35c	175.1c	0.0e	0.0d	29.2d
Mc	0.29b	0.90d	72.54c	6.19d	73.0f	0.0e	0.0d	14.59g
DHS	0.16	0.36	13.45	1.97	37.58	4.52	3.24	12.06

[†]Medias con letras diferentes en una columna son estadísticamente diferentes (Tukey; $p \leq 0.05$) ♦ Means with different letters indicate statistical difference (Tukey; $p \leq 0.05$).

42.19 g kg⁻¹ en pulpa (Jacobo-Valenzuela *et al.*, 2011). La concentración de Ca en semillas enteras varió de 41.0 (CA5) a 103.51 (CA6) g kg⁻¹. En el pericarpio las concentraciones de Ca fueron 0.39 (CA5) a 19.24 (CA3) g kg⁻¹ en peso seco y 3.07 (CA4) a 10.96 (CA3) g kg⁻¹ en peso seco de mesocarpio. Respecto a las concentraciones de Ca, Jacobo-Valenzuela *et al.* (2011) encontraron 4.35 a 6.86 g kg⁻¹ en la cáscara, valores menores a los de nuestro estudio, y valores similares de 3.11 a 9.85 g kg⁻¹ en la pulpa de *C. moschata* cv. "Cehualca".

El Fe fue el único microelemento detectado en todas las muestras analizadas. Las concentraciones de Fe en semillas fueron 0.93 (CA6) a 13.75 (CA5) mg kg⁻¹ en peso seco. Los datos obtenidos en nuestro estudio son inferiores a los reportados por Karanja *et al.* (2013), quienes encontraron 137 y 356.5 mg kg⁻¹ de Fe en 13 diferentes accesiones de *Cucurbita* spp. Las concentraciones de Fe en peso seco fueron 27.42 (CA5) a 175.10 (CA6) mg kg⁻¹ en pericarpio y 27.42 (CA5) a 389.28 (CA4) mg kg⁻¹ en el mesocarpio. Los resultados obtenidos en las seis variantes evaluadas son mayores a lo reportado para pulpa de *C. moschata* de 1.8 a 5.9 mg kg⁻¹ (Priori *et al.*, 2017) y 7.76 a 29.69 mg kg⁻¹ (Jacobo-Valenzuela *et al.*, 2011).

Para Mn, Cu y Zn en semillas enteras se obtuvieron concentraciones de 0.93 (CA6) a 4.38 (CA1) mg kg⁻¹, de 0.59 (CA5) a 3.3 (CA3) mg kg⁻¹, y de 3.1 (CA5) a 65.54 (CA4) mg kg⁻¹ en peso seco, respectivamente, y en la variante CA6 no se detectó Cu ni Zn (Cuadro 3). Karanja *et al.* (2013) reportan la presencia de los tres minerales en todas las muestras de semillas de *Cucurbita* spp. analizadas y en concentración más altas para Mn. Para frutos, solo en la variante CA3 se detectó Mn, Cu y Zn, tanto en el pericarpio como mesocarpio. El Zn se detectó en el mesocarpio de las seis variantes y en el pericarpio en cuatro variantes de *C. moschata*; el Cu fue el elemento menor detectado entre las variantes. Las concentraciones más altas de Mn se detectaron en la variante CA4 (40.98 mg kg⁻¹ en peso seco), de Cu en la variante CA3 (26.5 mg kg⁻¹ en peso seco) y de Zn en el mesocarpio de la variante CA4 (163.9 mg kg⁻¹ en peso seco) (Cuadro 3). La ausencia de Cu se observó en el mesocarpio de una accesión de *C. pepo* por Martínez-Valdivieso *et al.* (2015). Las concentraciones reportadas para fruto de *C. moschata* (Priori *et al.*, 2017) son menores a las de nuestra investigación, pero en ambos casos hubo diferencias significativas

seeds were 0.93 (CA6) to 13.75 (CA5) mg kg⁻¹ dry weight. The data obtained in our study are lower than those reported by Karanja *et al.* (2013), who found 137 and 356.5 mg kg⁻¹ Fe in 13 different accessions of *Cucurbita* spp. Iron concentrations in dry weight were 27.42 (CA5) to 175.10 (CA6) mg kg⁻¹ in pericarp and 27.42 (CA5) to 389.28 (CA4) mg kg⁻¹ in mesocarp. The results obtained in the six variants evaluated are higher than those reported for *C. moschata* pulp of 1.8 to 5.9 mg kg⁻¹ (Priori *et al.*, 2017) and 7.76 to 29.69 mg kg⁻¹ (Jacobo-Valenzuela *et al.*, 2011).

For Mn, Cu and Zn in whole seeds, concentrations of 0.93 (CA6) to 4.38 (CA1) mg kg⁻¹, 0.59 (CA5) to 3.3 (CA3) mg kg⁻¹, and 3.1 (CA5) to 65.54 (CA4) mg kg⁻¹ dry weight, respectively, were obtained, and in the CA6 variant no Cu or Zn was detected (Table 3). Karanja *et al.* (2013) report the presence of all three minerals in all *Cucurbita* spp. seed samples analyzed and the higher concentration is Mn. Only Mn, Cu and Zn were detected in both pericarp and mesocarp of fruits in CA3 variant. Zinc was detected in the mesocarp of all six variants and in the pericarp in four variants of *C. moschata*; Cu was the less detected element among the variants. The highest concentrations of Mn were detected in CA4 variant (40.98 mg kg⁻¹ dry weight), Cu in CA3 variant (26.5 mg kg⁻¹ dry weight) and Zn in the mesocarp of CA4 variant (163.9 mg kg⁻¹ dry weight) (Table 3). The absence of Cu was observed in the mesocarp of a *C. pepo* accession by Martínez-Valdivieso *et al.* (2015). The concentrations reported for *C. moschata* fruit (Priori *et al.*, 2017) are lower than those of our research, but in both cases there were significant differences in the content of microelements among the variants evaluated; this indicates the morphological variability that exists among *C. moschata* variants and the potential they have as sources of micronutrients (Darrudi *et al.*, 2018).

Martínez-Valdivieso *et al.* (2015) demonstrated different patterns of P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn and Na mineral accumulation between genotypes and their origin in *C. pepo*, and provided valuable material for generating lines with significant long-term impact on human health. Soil or climatic factors (Astudillo and Blair 2008, Chávez-Mendoza and Sánchez, 2017) and between genotypes (Martínez-Valdivieso *et al.*, 2015) can affect mineral concentrations.

del contenido de microelementos entre las variantes evaluadas; esto indica la variabilidad morfológica que existe entre variantes de *C. moschata* y el potencial que tienen como fuentes de micronutrientes (Darrudi *et al.*, 2018).

Martínez-Valdivieso *et al.* (2015) demostraron patrones distintos de acumulación de minerales de P, K, Ca, Mg, Fe, Cu, Mn, Zn y Na entre genotipos y su lugar de origen de *C. pepo*, y proporcionan un material valioso para generar líneas con un impacto significativo a largo plazo en la salud humana. Factores edáficos o climáticos (Astudillo y Blair 2008, Chávez-Mendoza y Sánchez, 2017) y entre genotipos (Martínez-Valdivieso *et al.*, 2015) pueden afectar las concentraciones de los minerales.

En Yucatán hay características edáficas particulares, las cuales son heterogéneas por las concentraciones de minerales y pH (Borges-Gómez *et al.*, 2014). Éstas podrían afectar o favorecer la absorción de minerales por la planta que intervienen en procesos como la fotosíntesis, síntesis de proteínas, producción de fitohormonas de crecimiento, estimulación del crecimiento de las plantas, retraso de la senescencia de las hojas y promoción del crecimiento y desarrollo de los frutos y semillas (Nieder *et al.*, 2018). El cultivo de calabaza *C. moschata* en Yucatán se presenta todo el año; por lo tanto, este producto se puede adquirir con facilidad para el consumo en la población rural, quienes puede disponer así de una fuente rica en nutrientes.

CONCLUSIONES

El análisis mineral en semillas y pulpa de las variantes de calabaza mostraron diferencias en el contenido de macro y micronutrientes. La calabaza *Cucurbita moschata* presenta composiciones minerales distintas; las variantes CA1, CA2 y CA5 carecen de Mn, Cu y Zn.

La variante CA4 sobresalió por su contenido mineral principalmente en el pericarpio, por lo tanto, puede ser una fuente importante de micronutrientes para la dieta de la población de la Península de Yucatán. La variante CA6 por su tamaño de semillas puede usarse para establecer un programa de mejora genética.

In Yucatan, there are particular soil characteristics that are heterogeneous due to the concentrations of minerals and pH (Borges-Gómez *et al.*, 2014). These could affect or favor the absorption of minerals by the plant that intervene in processes such as photosynthesis, protein synthesis, production of growth hormones, stimulation of plant growth, delaying the senescence of leaves and promoting the growth and development of fruits and seeds (Nieder *et al.*, 2018). *Cucurbita moschata* squash cultivation in Yucatan occurs year-round; therefore, this product is readily available for consumption by the rural population, who can thus provide a rich source of nutrients.

CONCLUSIONS

Mineral analysis in seeds and pulp of the squash variants showed differences in macro and micronutrient content. *Cucurbita moschata* pumpkin has different mineral compositions; CA1, CA2 and CA5 variants lack Mn, Cu and Zn.

The CA4 variant stood out for its mineral content mainly in the pericarp; therefore, it can be an important source of micronutrients for the diet of the population of the Yucatan Peninsula. Due to its seed size, the CA6 variant can be used to establish a genetic improvement program.

—End of the English version—



LITERATURA CITADA

- Astudillo C., y M. W. Blair. 2008. Contenido de hierro y zinc en la semilla y su respuesta al nivel de fertilización con fósforo en 40 variedades de frijol colombianas. *Agron. Colomb.* 26: 471-476.
- Borges-Gómez L., C. Moo-Kauil, J. Ruíz-Novelo, M. Osalde-Balam, C. González-Valencia, C. Yam-Chimal, y F. Can-Puc. 2014. Suelos destinados a la producción de chile habanero en Yucatán: características físicas y químicas predominantes. *Agrociencia* 48: 347-59.
- Bouazzaoui, N., and J. K. Mulengi. 2018. Fatty acids and mineral composition of melon (*Cucumis Melo*) and pumpkin

- (*Cucurbita moschata*) seeds. J. Herbs Spices Med. Plants. 24: 315-322.
- Canul-Ku, J., P. Ramírez-Vallejo, R. Castillo-González, y J. L. Chávez-Servia. 2005. Diversidad morfológica de calabaza cultivada en el centro-oriente de Yucatán, México. Rev. Fitotec. Mex. 28: 339-349.
- Chávez-Mendoza C., and E. Sánchez. 2017. Bioactive compounds from mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. Molecules 22: 1360.
- Chávez-Mendoza C., and E. Sánchez. 2017. Bioactive compounds from mexican varieties of the common bean (*Phaseolus vulgaris*): Implications for health. Molecules. 22(8): 1360. doi: 10.3390/molecules22081360.
- Darrudi, R., V. Nazeri, F. Soltani, M. Shokrpour, and M. R. Ercolano. 2018. Genetic diversity of *Cucurbita pepo* L. and *Cucurbita moschata* Duchesne accessions using fruit and seed quantitative traits. J. Appl. Res. Med. Aromat. Plants. 9: 70-77.
- Elfiky, S. A., I. A. Elelaimy, A. M. Hassan, H. M. Ibrahim, and R. I. Elsayad, 2012. Protective effect of pumpkin seed oil against genotoxicity induced by azathioprine. J. Basic Appl. Zool. 65: 289-98.
- Esquinas-Alcazar, J. T., and P. J. Gulick. 1983. Genetic Resources of Cucurbitaceae. Rome: IBPGR Secretarial. 101 p.
- Jacobo-Valenzuela, N., J. J. Zazueta-Morales, J. A. Gallegos-Infante, F. Aguilar-Gutierrez, I. L. Camacho-Hernández, N. E. Rocha-Guzman, and R. F. Gonzalez-Laredo. 2011. Chemical and physicochemical characterization of winter squash (*Cucurbita moschata* D.). Not. Bot. Hort. Agrobot. Cluj. 39: 34-40.
- Karanja, J. K., B. J. Mugendi, F. M. Khamis, and A. N. Muchugi. 2013. Nutritional composition of the pumpkin (*Cucurbita* spp.) seed cultivated from selected Regions in Kenya. J. Hortic. Lett. 3:17-22.
- Martínez-Valdivieso, D., P. Gómez, R. Font, and M. D. Río-Celestino. 2015. Mineral composition and potential nutritional contribution of 34 genotypes from different summer squash morphotypes. Eur. Food Res. Technol. 240: 71-81.
- Moo-Huchin, V., I. Estrada-Mota, R. Estrada-León, L. F. Cuevas-Glory, and E. Sauri-Duch. 2013. Chemical composition of crude oil from the seeds of pumpkin (*Cucurbita* spp.) and mamey sapota (*Pouteria sapota* Jacq.) grown in Yucatan Mexico. CYTA J. Food. 11: 324-27.
- Nieder, R., D. H. Benbi, and F. X. Reichl. 2018. Macro- and secondary elements and their role in human health. In: Soil Components and Human Health. Springer Netherlands. pp: 257-315.
- Nwofia, G. E., N. V. Nwogu, and N. Blessing. 2012. Nutritional variation in fruits and seeds of pumpkins (*Cucurbita* spp.) accessions from Nigeria. Pak. J. Nutr. 11: 946-56.
- Paris, H. S. 2017. Genetic resources of pumpkins and squash, *Cucurbita* spp. In: Grumet, R., N. Katzir, and J. Garcia-Mas (eds). Genetics and Genomics of Cucurbitaceae. Plant Genetics and Genomics: Crops and Models. Springer. pp:111-129.
- Priori, D., E. Valdua, J. C. B. Villela, C. C. Mistura, M. Vizzotto, R. A. Valgas, and R. L. Barbieri. 2017. Characterization of bioactive compounds, antioxidant activity and minerals in landraces of pumpkin (*Cucurbita moschata*) cultivated in Southern Brazil. Food Sci. Technol. (Campinas). 37: 33-40.