

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS Y QUÍMICAS DE NOPAL VERDURA (*Opuntia ficus-indica*) PARA EXPORTACIÓN Y CONSUMO NACIONAL

PHYSICAL AND CHEMICAL CHARACTERISTICS OF CACTUS STEMS (*Opuntia ficus-indica*) FOR EXPORTATION AND DOMESTIC MARKETS

Griselda Maki-Díaz¹, Cecilia B. Peña-Valdivia^{2*}, Rodolfo García-Nava², M. Lourdes Arévalo-Galarza¹,
Guillermo Calderón-Zavala¹, Socorro Anaya-Rosales³

¹Posgrado de Recursos Genéticos y Productividad-Fruticultura. ²Posgrado de Botánica y ³Posgrado de Fitopatología. Campus Montecillo. Colegio de Postgraduados. 56230. Montecillo, Estado de México. (cecilia@colpos.mx) (cecibetipv@gmail.com).

RESUMEN

El nopal verdura (*Opuntia* spp.) se consume y produce en México y los criterios de selección para su exportación incluyen únicamente el color, el tamaño y la ausencia de deformaciones visualizadas por los productores al momento de la cosecha. El objetivo de este estudio fue evaluar las características físicas y químicas del nopal verdura para exportación y contrastarlas con las de los nopales para consumo nacional. La hipótesis fue que la selección subjetiva de las dos clases de nopal por los productores está relacionada con características físicas e indirectamente con la composición. El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial con dos factores y dos niveles (factor 1: destino, nopal para consumo nacional y para exportación; factor 2: grupos de productores Grupo PRONACUA y Grupo Agrícola Ixquiltán) y 50 repeticiones (cada una representada por un nopal). El estudio se realizó en Otumba y San Martín de las Pirámides, Estado de México, México. Los resultados se analizaron con ANDEVA y comparación múltiple de medias de Tukey. Las características de los nopales evaluadas fueron: peso, longitud, anchura, espesor, firmeza, número de hojas, y contenido de humedad, de mucílago, de ácido málico, de clorofila y de carotenoides. También se determinó la presencia de plaguicidas. Los nopales para exportación tuvieron peso (38 g), longitud (2.2 cm), anchura (1 cm), grosor apical (0.8 cm), grosor basal (0.8 cm), humedad (0.3 %) y acidez titulable expresada en contenido de ácido málico (0.2 %), significativamente menor ($p \leq 0.05$) y contenido de clorofila ($0.46 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) y de carotenoides (0.1 mmol g^{-1}) mayor que los seleccionados para consumo nacional; y ambos grupos estuvieron libres de

ABSTRACT

Nopal (edible cactus stems, *Opuntia* spp.) is consumed and produced in México and the selection criteria for its export include only color, size and the absence of deformations seen by producers at the time of harvest. The objective of this study was to evaluate the physical and chemical characteristics of nopal for export and to contrast them with those of nopal for national consumption. The hypothesis was that the subjective selection of the two types of nopal by producers is related to physical characteristics and indirectly, to composition. The experimental design was completely random with factorial arrangement, with two factors and two levels (factor 1: destination, nopal for national consumption and for export; factor 2: groups of producers, Grupo PRONACUA and Grupo Agrícola Ixquiltán), and 50 repetitions (each one represented by one nopal). The study was performed in Otumba and San Martín de las Pirámides, Estado de México, México. The results were analyzed with ANOVA and Tukey's multiple means comparison. The characteristics of the nopal samples evaluated were: weight, length, width, thickness, firmness and number of leaves, and content of moisture, mucilage, malic acid, chlorophyll and carotenoids. The presence of pesticides was also determined. Export nopales had significantly lower ($p \leq 0.05$) weight (38 g), length (2.2 cm), width (1 cm), apical thickness (0.8 cm), basal thickness (0.8 cm), moisture (0.3 %) and titratable acidity expressed as the malic acid content (0.2 %), and content of chlorophyll ($0.46 \text{ mg } 100 \text{ g}^{-1}$) and carotenoids (0.1 mmol g^{-1}) higher than those selected for national consumption; and both groups were free from the 20 most common pesticides used in vegetables. The physical characteristics and chemical composition of nopales for export are different than those destined for national consumption, and they could be used to complement the quality norms to help producers secure and increase the international market.

*Autor responsable ❖ Author for correspondence.

Recibido: mayo, 2014. Aprobado: diciembre, 2014.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 49: 31-51. 2015.

los 20 plaguicidas más comunes usados en las hortalizas. Las características físicas y la composición química de los nopales para exportación son diferentes a las mostradas por los destinados al consumo nacional y podrían usarse para complementar las normas de calidad para ayudar a los productores a asegurar y aumentar el mercado internacional.

Palabras clave: Acidez, calidad, cladodio, clorofila, mucílago, residuos químicos.

INTRODUCCIÓN

México es uno de los centros de origen del nopal (*Opuntia* spp.). El consumo de sus tallos modificados (nopalitos), frutos y flores en México es ancestral (Reyes-Agüero *et al.*, 2005; Peña-Valdivia *et al.*, 2012). Los nopales se consumen como verdura y la superficie cosechada con nopal incrementó más del doble (de 5269 a 12 105 ha) entre los años 1990 y 2012 (SIAP-SAGARPA, 2013). Las plantas de nopal por su adaptación al déficit de humedad y climas semidesértico y desértico son un recurso con gran potencial para el desarrollo de plantaciones (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). México es el productor principal de nopal verdura (74 %) en el mundo y el consumidor más importante en su forma fresca y procesada, pero el mercado extranjero, principalmente el de EE.UU. y Canadá, es una oportunidad creciente. Las características nutraceuticas de los nopales han despertado interés en mercados europeos y asiáticos (Peña-Valdivia *et al.*, 2012) pues son benéficos para el tratamiento de diversos padecimientos (Stintzing y Carle, 2005), y además son fuente de vitamina C (Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006), minerales (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988) y fibra soluble e insoluble (Peña-Valdivia *et al.*, 2012).

La calidad de los productos hortofrutícolas es relevante para la aceptabilidad y éxito en su comercialización en los mercados nacionales e internacionales; dentro de las características de calidad, la inocuidad resalta debido a la importancia que en el comercio global se da a la producción de alimentos libres de contaminantes biológicos, químicos y físicos (Avenidaño *et al.*, 2007). La calidad del nopal verdura incluye características físicas y químicas, como su apariencia (frescura, turgencia y color), sus dimensiones (delgados, chicos o medianos) y su forma (de raqueta) (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988). Además, debería incluirse su contenido de mucílago y su acidez

Keywords: Acidity, quality, cladode, chlorophyll, mucilage, chemical residues.

INTRODUCTION

México is one of the centers of origin of nopal (*Opuntia* spp.). The consumption of its modified stems (nopalitos), fruits and flowers in México is ancestral (Reyes-Agüero *et al.*, 2005; Peña-Valdivia *et al.*, 2012). Nopal is consumed as a vegetable and the surface cultivated with nopal more than doubled (from 5269 to 12 105 ha) between 1990 and 2012 (SIAP-SAGARPA, 2013). Nopal plants are a resource of great potential for the development of plantations, due to their adaptation to the moisture deficit and to semi-desert and desert climates (Reyes-Agüero *et al.*, 2005). México is the principal producer of nopal (edible cactus stems) (74 %) in the world and the most important consumer in its fresh and processed presentations; however, foreign markets, primarily USA and Canada, are a growing opportunity. The nutraceutical characteristics of nopal have raised interest in European and Asian markets (Peña-Valdivia *et al.*, 2012), since they are beneficial for the treatment of various diseases (Stintzing and Carle, 2005), and they are also a source of vitamin C (Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006), minerals (Rodríguez-Félix and Cantwell, 1988) and soluble and insoluble fiber (Peña-Valdivia *et al.*, 2012).

The quality of the vegetable-fruit products is important for the acceptability and success of commercialization in national and international markets; among the characteristics of quality, innocuousness stands out because of the importance given in global trade to the production of foods free of biological, chemical and physical contaminants (Avenidaño *et al.*, 2007). The quality of nopal includes physical and chemical characteristics, such as its appearance (freshness, turgidity and color), its dimensions (thin, small or medium) and its shape (racket) (Rodríguez-Félix and Cantwell, 1988). In addition, its mucilage content and acidity should be included because they are characteristics that consumers observe in nopal.

In México, two official norms for quality are applied, the Mexican one NMX-FF-068-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2013) and the international one from Codex Alimentarius (2007). The first includes: classification of nopal by degree of quality

porque son características que los consumidores observan en los nopales.

En México se aplican dos normas de calidad oficiales, la mexicana NMX-FF-068-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2013) y la internacional del Codex Alimentarius (2007). La primera incluye: clasificación del nopal por grado de calidad (México extra, México 1, México 2), tamaño (A: 25.1 o más, B: 18.1 a 25.0, C: 11.1 a 18.0, y Cambray: 7.0 a 11.0 cm) y variedad; además, deben ser frescos, estar limpios, sanos, libres de pudrición, enteros, bien formados, con coloración, sabor y olor característicos de la especie y variedad, con consistencia firme y estar exentos de humedad exterior anormal. La segunda indica que los nopales deben estar exentos de espinas, manchas, daños causados por plagas y temperaturas bajas, olor y sabor extraños, y deben estar suficientemente desarrollados, con grado de madurez satisfactorio según la naturaleza del producto. Ambas normas difieren en las categorías de clasificación, tamaños o grado de calidad y apariencia (Cuadro 1). Ninguna de las normas hace referencia a las características específicas que debe presentar el nopal verdura para exportación, aunque un apartado en la norma del Codex Stan 185-1993 (Codex Alimentarius, 2007) menciona: "...los gobiernos, al indicar su aceptación de la norma del Codex 185-1993 (Codex Alimentarius, 2007) para el Nopal, deberán notificar a la Comisión

(México extra, México 1, México 2), size (A: 25.1 or more, B: 18.1 to 25.0, C: 11.1 to 18.0, and Cambray: 7.0 to 11.0 cm) and variety; also, they should be fresh, clean, healthy, free of rotting, whole, well-formed, with color, taste and scent characteristic of the species and variety, firm consistency, and free of abnormal exterior moisture. The second indicates that nopal should be free of spines, stains, damage caused by plagues and low temperatures, strange odor or flavor, and should be sufficiently developed, with a satisfactory degree of maturity depending on the nature of the product. Both norms differ in the categories of classification, sizes or degree of quality and appearance (Table 1). None of the norms refer to the specific characteristics that nopal should present for export, although a section in the Codex Stan 185-1993 norm (Codex Alimentarius, 2007) mentions: "...governments, when indicating their acceptance of the Codex 185-1993 (Codex Alimentarius, 2007) norm for Nopal, should notify the Commission on which dispositions of the Norm will be accepted to be applied at the import point and which to be applied at the export point".

In México, producers-exporters of nopal from the region of Otumba and San Martín de las Pirámides, Estado de México, select nopales for export based only on their appearance (color, size and absence of deformations) and size (Table 1), which contributes

Cuadro 1. Componentes de la calidad de nopal verdura incluidos en la norma mexicana NMX-FF-068-SCFI-2006 y la norma internacional Codex Stan 185-1993.

Table 1. Quality components of nopal included in the Mexican norm NMX-FF-068-SCFI-2006 and the international norm Codex Stan 185-1993.

Característica	Norma Mexicana [†]	Norma Internacional [‡]
Calidad	En función de sus especificaciones México Extra; México 1; México 2	En función de sus defectos Categoría Extra; Categoría I; Categoría II
Tamaño/calibre (cm)	A (25.1 o más); B (18.1 a 25); C (11.1 a 18); Cambray (7 a 11)	A (9 a 13); B (13 a 17); C (17 a 21); D (21 a 25); E (25 a 30)
Intervalos de calidad	Por tamaño México Extra: 10 % [§] ; México 1: 15 %; México 2: 20 % Por defectos y por número de piezas	Calidad y calibre Categoría Extra: 5 %; Categoría I: 10 %; Categoría II: 10 %
Disposiciones sobre la presentación	Marcado y etiquetado Envase y embalaje	Homogeneidad, envasado; marcado o etiquetado; identificación, naturaleza y origen del producto; higiene, residuos de plaguicidas

[†]Secretaría de Economía (2013); [‡]Codex Alimentarius (2007); [§]Tolerancia permitida en cada categoría ❖ [†]Secretaría de Economía (2013); [‡]Codex Alimentarius (2007); [§]Tolerance allowed in each category.

cuáles disposiciones de la Norma serán aceptadas para aplicarlas en el punto de importación y cuáles para aplicarlas en el punto de exportación”.

En México, los productores-exportadores de nopal verdura de la región de Otumba y San Martín de las Pirámides, Estado de México, seleccionan los nopales para exportación basándose sólo en su apariencia (color, tamaño y ausencia de deformaciones) y tamaño (Cuadro 1), lo cual contribuye a las pérdidas cuando el producto es rechazado en frontera (comunicación personal con los productores de las cooperativas PRONACUA de Cuautlacingo, Otumba y Grupo Agrícola Ixquiltán de San Pablo Ixquiltán en San Martín de las Pirámides, Estado de México).

El objetivo de este estudio fue cuantificar las características físicas y químicas del nopal verdura para exportación y compararlas con las de los nopales para consumo nacional, e identificar algunas que pudieran incluirse en las normas de calidad de este producto. La hipótesis fue que la selección subjetiva de las dos clases de nopal por los productores está relacionada con características físicas y composicionales que permitirán clasificar objetivamente los nopales.

MATERIALES Y MÉTODOS

Material vegetal

El estudio se realizó en la zona productora de *Opuntia* spp. de Cuautlacingo, Otumba (19° 41' 49" N, 98° 45' 17" O, 2365 m de altitud, clima templado, subhúmedo con temperatura media anual de 14.8 °C) y San Pablo Ixquiltán, San Martín de las Pirámides (19° 46' 20" N, 98° 38' 48" O, 2300 m de altitud, clima templado con temperatura media anual de 17 °C), Estado de México. En esta zona se produce nopal verdura para consumo nacional y para exportación de *O. ficus-indica*, cultivar Atlixco (Reyes-Agüero *et al.*, 2009). Dos grupos de productores (Grupo Agrícola Ixquiltán y Grupo PRONACUA) accedieron a participar en el estudio y donaron el material utilizado. Los muestreos se realizaron durante 7.5 meses, entre el 25 de noviembre de 2011 y el 6 de julio de 2012.

Los nopales fueron cosechados entre las 09:00 y 10:00 horas por los productores, quienes utilizando cuchillo hicieron un sólo corte en la base del nopal. Las muestras se transportaron en cajas de cartón al laboratorio de Biofísica Vegetal del Posgrado de Botánica del Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, y se evaluaron inmediatamente las características físicas y químicas; otro grupo similar se trasladó al laboratorio Análisis Técnicos S.A. de C.V., en Pachuca, Hidalgo, donde se cuantificaron plaguicidas.

to losses when the product is refused at the border (personal communication with producers from cooperatives PRONACUA from Cuautlacingo, Otumba and Grupo Agrícola Ixquiltán from San Pablo Ixquiltán in San Martín de las Pirámides, Estado de México).

The objective of this study was to quantify the physical and chemical characteristics of nopal for export and to compare them with nopal for national consumption, and to identify some that could be included in the quality norms of this product. The hypothesis was that the subjective selection of the two classes of nopal by producers is related to the physical and compositional characteristics that will allow classifying nopal objectively.

MATERIALS AND METHODS

Plant material

The study was performed in the *Opuntia* spp. producing zone of Cuautlacingo, Otumba (19° 41' 49" N, 98° 45' 17" W, 2365 m of altitude, temperate climate, sub-humid with mean annual temperature of 14.8 °C) and San Pablo Ixquiltán, San Martín de las Pirámides (19° 46' 20" N, 98° 38' 48" W, 2300 m of altitude, temperate climate with mean annual temperature of 17 °C), Estado de México. In this zone, nopal is produced for national consumption and for export of *O. ficus-indica*, cultivar Atlixco (Reyes-Agüero *et al.*, 2009). Two groups of producers (Grupo Agrícola Ixquiltán and Grupo PRONACUA) agreed to participate in the study and donated the material used. The samples were carried out during 7.5 months, between November 25, 2011, and July 6, 2012.

The nopal was harvested between 09:00 and 10:00 hours by the producers, who made a single cut at the base of the nopal using a knife. The samples were transported in carton boxes to the Plant Biophysics Laboratory of the Department of Botany at Colegio de Postgraduados, Campus Montecillo, and the physical and chemical characteristics were evaluated immediately; another similar group was transported to the lab of Análisis Técnicos S.A. de C.V., in Pachuca, Hidalgo, where the pesticides were quantified.

Methods

The weight (g) of the whole nopal was obtained on a scale with digital screen (± 0.01 g; Precisa XB2200C). The length (cm) was measured from the base to the apex, and the width (cm) at the widest central zone of the cladode. The thickness (mm) was measured with a digital vernier (± 0.001 mm; Mitutuyo) at the

Métodos

El peso (g) de los nopales enteros se obtuvo en una balanza con pantalla digital (± 0.01 g; Precisa XB2200C). La longitud (cm) se midió de la base al ápice y la anchura (cm) en la zona central más ancha del cladodio. El grosor (mm) se midió con un vernier digital (± 0.001 mm; Mitutoyo) en la base y el ápice de ambos lados (izquierdo y derecho). La resistencia a la penetración o firmeza (N) se midió con un penetrómetro manual (FT 327, QA Supplies LLC, Inglaterra) en los nopales intactos, con el puntal del penetrómetro colocado en la zona central de los mismos, en las áreas libres de espinas y hojas. Las hojas se contabilizaron manualmente.

Las espinas y hojas se removieron con un cuchillo, y mediante un bisturí se tomaron muestras de 10 g del área central de cada nopal, las cuales se envolvieron en papel aluminio, se congelaron por inmersión en nitrógeno líquido y se liofilizaron (-41 °C y 1.8×10^{-2} mbar) en un equipo LABCONCO (Freeze Dry System 7 LyphLock 4.5, Labconco Corporation) por 72 h hasta peso constante. Las muestras deshidratadas se pesaron en una balanza analítica (Scientech SA 120) y el contenido de humedad se calculó por diferencia de peso.

Para cuantificar el mucílago, 1 g de muestra liofilizada y triturada de cada unidad experimental se mantuvo 15 min en baño María en ebullición después de adicionar 50 mL de agua destilada; el líquido sobrenadante se separó por centrifugación a 2500 g por 5 min; la extracción se repitió otras dos veces con 25 mL de agua. Los sobrenadantes de las extracciones se reunieron y el mucílago se precipitó con etanol absoluto (enfriado previamente a -18 °C) en proporción 1 (volumen de muestra): 3 (volumen de etanol) y enfriando 24 h a 5 °C. El mucílago se separó por centrifugación a 2500 g por 5 min, se purificó por diálisis (Membra-cel md44 14x100 CLR) contra agua destilada durante 4 d, se liofilizó y pesó (Álvarez y Peña-Valdivia, 2009).

La acidez titulable se cuantificó en muestras de 1 g tomadas del área central de cada nopal, seccionadas con ayuda de un bisturí, utilizando el método de titulación con NaOH 0.01 N y fenolftaleína como indicador descrito por la AOAC (1990), y se expresó como porcentaje de ácido málico.

El contenido de pigmentos fotosintéticos fue evaluado por el método espectrofotométrico descrito por Inskeep y Bloom (1985). Los pigmentos de 0.5 g de tejido fresco obtenido de la zona central de cada unidad experimental con un bisturí, se extrajeron con 3 mL de N,N-dimetilformamida ($((\text{CH}_3)_2\text{NCHO})$). La absorbancia de las clorofilas y carotenoides se midieron a cuatro longitudes de onda (450, 647, 664.5 y 750 nm) y las concentraciones (mg L^{-1}) se calcularon con las siguientes ecuaciones:

$$\begin{aligned}\text{Clorofila } a &= (12.7 \times A_{664.5}) - (2.79 \times A_{647}) \\ \text{Clorofila } b &= (20.7 \times A_{647}) - (4.612 \times A_{664.5})\end{aligned}$$

base and the apex on both sides (left and right). The resistance to penetration or firmness (N) was measured with a manual penetrometer (FT 327, QA Supplies LLC, England) on intact nopal samples, with the tip of the penetrometer placed on the central zone, on areas free of spines and leaves. The leaves were counted manually.

The thorns and leaves were removed with a knife and samples of 10 g were extracted from the central area of each nopal with a scalpel, they were wrapped in aluminum foil, frozen by immersion in liquid nitrogen and lyophilized (-41 °C and 1.8×10^{-2} mbar) in a LABCONCO equipment (Freeze Dry System 7 LyphLock 4.5, Labconco Corporation) for 72 h until constant weight. The dehydrated samples were weighed in an analytical scale (Scientech SA 120) and the moisture content was calculated by weight difference.

In order to quantify the mucilage, 1 g of lyophilized and crushed sample from each experimental unit was kept for 15 min in boiling bain-marie after adding 50 mL of distilled water; the supernatant liquid was separated by centrifuge at 2500 g for 5 min; the extraction was repeated two more times with 25 mL of water. The supernatants from the extractions were gathered and the mucilage was precipitated with absolute ethanol (previously cooled at -18 °C) in a proportion of 1 (volume of sample): 3 (volume of ethanol) and cooled for 24 h at 5 °C. The mucilage was separated by centrifuge at 2500 g for 5 min, purified by dialysis (Membra-cel md44 14x100 CLR) against distilled water for 4 d, then lyophilized and weighed (Álvarez and Peña-Valdivia, 2009).

The titratable acidity was quantified in samples of 1 g taken from the central area of each nopal, selected with the help of a scalpel, using the titrating method with NaOH 0.01 N and phenolphthalein as indicator described by the AOAC (1990), and it was expressed as percentage of malic acid.

The content of photosynthetic pigments was evaluated by the spectrophotometric method described by Inskeep and Bloom (1985). The pigments of 0.5 g of fresh tissue obtained from the central zone of each experimental unit with a scalpel were extracted with 3 mL of N,N-dimethylformamide ($((\text{CH}_3)_2\text{NCHO})$). The absorbance of the chlorophylls and carotenoids were measured at four wave lengths (450, 647, 664.5 and 750 nm) and the concentrations (mg L^{-1}) were calculated with the following equations:

$$\begin{aligned}\text{Chlorophyll } a &= (12.7 \times A_{664.5}) - (2.79 \times A_{647}) \\ \text{Chlorophyll } b &= (20.7 \times A_{647}) - (4.612 \times A_{664.5}) \\ \text{Total chlorophyll} &= (17.90 \times A_{647}) - (8.08 \times A_{664.5}) \\ \text{Carotenoids} &= 0.25 \times (A_{450} - A_{750}) \\ \text{Concentration} &= \text{Carotenoids} \times V\end{aligned}$$

where: V is the extraction volume and A is the absorbance at the corresponding wave length.

$$\text{Clorofila total} = (17.90 \times A_{647}) - (8.08 \times A_{664.5})$$

$$\text{Carotenoides} = 0.25 \times (A_{450} - A_{750})$$

$$\text{Concentración} = \text{Carotenoides} \times V$$

donde: V es el volumen de extracción y A es la absorbancia a la longitud de onda respectiva.

En el estudio se incluyó la detección y la cuantificación de 90 plaguicidas; de los cuales 18 eran fungicidas, 11 herbicidas y 11 insecticidas, 6 carbamatos, 16 organoclorados, 23 organofosforados y 5 organonitrogenados. Los plaguicidas y su concentración en el tejido se determinó mediante extracción en fase sólida dispersiva QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe) y cromatografía de gases-masa/masa usando un equipo Ion Trap Mass Spectrometer (Agilent 225/MS, 240/MS GC, Agilent Technologies, Alemania) en el laboratorio agrícola Análisis Técnicos Agrolab, en Pachuca, Hidalgo, México, de la siguiente manera: de 1.5 kg de muestra de nopal se obtuvieron de 5 a 10 g de tejido homogeneizado que se mezclaron con 10 a 20 mL de acetato de etilo; la fase orgánica se extrajo y se llevó a sequedad en rotavapor (39-40 °C, con vacío); para disminuir la disolución de co-extraídos (pigmentos y ácidos grasos) y minimizar interferencias en el equipo GC-MS/MS, el extracto se resuspendió en hexano (1000-2000 μ L) y se filtró (filtros con poro de 0.45 μ m y 0.20 μ m); el disolvente se evaporó a sequedad con una corriente de aire y se agregó etanol (200 μ L); alícuotas de 1 μ L de este extracto se inyectaron directamente en el GC-MS/MS en el cual se usó He como gas portador, un programa de temperatura de 100 a 280 °C en la columna analítica y un tiempo total de corrida de 40 min. Con estas condiciones de operación se separaron los plaguicidas en las muestras y con estándares se identificaron en los cromatogramas y cuantificaron (Martínez-Vidal *et al.*, 2006).

Diseño experimental y análisis de resultados

El diseño experimental fue completamente al azar con arreglo factorial 2 $\times$ 2 (consumo nacional, tratamiento 1, y para exportación, tratamiento 2), dos grupos de productores (Grupo PRONACUA y Grupo Agrícola Ixquiltán), con 50 repeticiones (cada una representada por un nopal). Con los datos se realizó un ANDEVA y las medias se compararon con la prueba de Tukey ($p \leq 0.05$) usando SAS (versión 9.3).

De cada grupo se muestrearon al azar 100 nopales, 50 con características de calidad para exportación (tratamiento 1) y 50 con características para consumo nacional (tratamiento 2). Así, se muestrearon y analizaron 200 nopales.

The detection and quantification of 90 insecticides was included in the study, of which 18 were fungicides, 11 herbicides and 11 insecticides, 6 carbamates, 16 organochlorides, 23 organophosphorous and 5 organonitrogens. The pesticides and their concentration in the tissue was determined through extraction in the dispersive solid phase QuEChERS (Quick, Easy, Cheap, Effective, Rugged, and Safe) and gas-mass/mass chromatography, using an Ion Trap Mass Spectrometer (Agilent 225/MS, 240/MS GC, Agilent Technologies, Germany) equipment at the agricultural lab Análisis Técnicos Agrolab, in Pachuca, Hidalgo, México. It was done in the following manner: out of 1.5 kg of nopal sample, 5 to 10 g of homogenized tissue were obtained, which were mixed with 10 to 20 mL ethyl acetate; the organic phase was extracted and taken to dryness in a rotary evaporator (39-40 °C, with vacuum); to decrease the dissolution of co-extracts (pigments and fatty acids) and to minimize interferences in the GC-MS/MS equipment, the extract was re-suspended in hexane (1000-2000 μ L) and filtered (filters with pores of 0.45 μ m and 0.20 μ m); the solvent was evaporated at dryness with an air current and ethanol was added (200 μ L); aliquots of 1 μ L of this extract were injected directly into the GC-MS/MS in which He was used as carrier gas, with a temperature program of 100 to 280 °C in the analytical column and a total running time of 40 min. With these operation conditions, the pesticides in the samples were separated and they were identified with standards in the chromatograms and quantified (Martínez-Vidal *et al.*, 2006).

Experimental design and analysis of results

The experimental design was completely random with a factorial arrangement of 2 $\times$ 2 (national consumption, treatment 1, and for export, treatment 2), two groups of producers (Grupo PRONAGUA and Grupo Agrícola Ixquiltán), with 50 repetitions (each one represented by one nopal). With the data an ANOVA was performed and the means were compared with the Tukey test ($p < 0.05$) using SAS (version 9.3).

From each group, 100 nopales were randomly taken, 50 with characteristics for export (treatment 1) and 50 with characteristics for national consumption (treatment 2). Thus, 200 nopal plants were sampled and analyzed.

RESULTS AND DISCUSSION

Physical characteristics of the nopales

There were highly significant or significant differences in the physical characteristics: weight,

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Características físicas de los nopales

Hubo diferencias altamente significativas o significativas en las características físicas: peso, longitud, anchura, grosor, número total de hojas y firmeza de los nopales entre las clases o los grupos de productores (Cuadro 2) y, salvo en el grosor apical, las interacciones entre los factores no fueron significativas. Además, todas las variables físicas fueron significativamente diferentes ($p \leq 0.05$) entre las clases (Cuadro 3).

length, width, thickness, total number of leaves and firmness between the classes or groups of producers (Table 2), and, except for the apical thickness, the interactions between the factors were not significant. In addition, all physical variables were significantly different ($p \leq 0.05$) between the classes (Table 3).

Weight, length, width and thickness

The weight of nopales for the national market was 23 % higher than of those destined for export. This difference was related with the greater dimensions of the former, since they were 7.4 % wider at the central

Cuadro 2. Análisis de varianza e interacciones clase×grupo (C×G) de las características físicas del nopal verdura Atlixco para consumo nacional y exportación producido en Otumba y San Martín de las Pirámides, Estado de México.

Table 2. Variance analysis and class×group (C×G) interactions of the physical characteristics of nopal Atlixco for national consumption and export, produced in Otumba and San Martín de las Pirámides, Estado de México.

Variable	Factor	G.L.	C.M.	F	Significancia	C.V.
Peso (g)	Clase	1	69955.38	100.58	**	18.31
	Grupo	1	3123.07	0.03	*	
	C×G	1	1014.94	0.22	NS	
Longitud (cm)	Clase	1	244.36	62.42	*	8.69
	Grupo	1	21.67	5.54	**	
	C×G	1	0.16	0.04	NS	
Anchura (cm)	Clase	1	40.55	30.53	**	9.68
	Grupo	1	0.01	0.01	NS	
	C×G	1	0.06	0.05	NS	
Grosor apical (mm)	Clase	1	31.97	111.35	**	10.94
	Grupo	1	13.37	46.58	**	
	C×G	1	1.54	5.39	*	
Grosor basal (mm)	Clase	1	27.50	14.81	**	10.39
	Grupo	1	1.34	0.73	NS	
	C×G	1	1.20	0.65	NS	
Firmeza (Newton)	Clase	1	67.28	3.90	*	11.71
	Grupo	1	704.29	40.86	**	
	C×G	1	17.66	1.02	NS	
Hojas (Núm.)	Clase	1	59787.26	105.32	**	21.09
	Grupo	1	16366.51	28.83	**	
	C×G	1	2200.27	3.88	NS	

G.L.: grados de libertad; C.M.: cuadrado medio del error; F: distribución F de Fisher; C.V.: coeficiente de variación ♦ G.L.: degrees of freedom; C.M.: square mean of the error; F: Fisher's F distribution; C.V.: coefficient of variation.

Cuadro 3. Comparación de medias de las características físicas del nopal verdura Atlixco para exportación y consumo nacional, producido en Otumba y San Martín de las Pirámides, Estado de México.

Table 3. Means comparison of the physical characteristics of nopal Atlixco for export and national consumption, produced in Otumba and San Martín de las Pirámides, Estado de México.

Variable	Media [†]	Clase [†]
Peso (g)	163.04 a 125.35 b	Nacional Exportación
Longitud (cm)	23.86 a 21.66 b	Nacional Exportación
Anchura (cm)	12.36 a 11.44 b	Nacional Exportación
Grosor apical (mm)	5.30 a 4.50 b	Nacional Exportación
Grosor basal (mm)	13.49 a 12.73 b	Nacional Exportación
Firmeza (Newton)	36.03 a 34.86 b	Nacional Exportación
Hojas (número)	95.14 b 130.40 a	Nacional Exportación

[†] Las medias de cada variable con letra diferente entre clases son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); n: 98 nacional y 100 exportación. [‡] The means for each variable with different letter within classes are statistically different ($p \leq 0.05$); n: 98 national and 100 export.

Peso, longitud, anchura y grosor

El peso de los nopales para el mercado nacional fue 23 % mayor que el de aquellos destinados a la exportación. Esta diferencia estuvo relacionada con las dimensiones mayores de los primeros, pues fueron 7.4 % más anchos en la zona central, y entre 5.6 y 15.1 % más gruesos entre la base y el ápice; además, los nopales para exportación tuvieron 37 % más hojas, y aunque su longitud fue sólo de unos milímetros, la diferencia en cantidad (35 en promedio) también debió repercutir en el peso total (Cuadro 3). En ambas clases el peso fue mayor que el obtenido (100 g) en nopales de la cultivar Atlixco por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), pero su longitud sí fue similar (20 cm) a los de este estudio. Ambas clases de nopal tuvieron un peso mayor que el señalado por Rodríguez-Félix (1999) en los nopales con tamaño comercial (de 100 a 120 g) y las normas oficiales no lo especifican, por lo

zone, and between 5.6 and 15.1 % thicker between the base and the apex; also, nopales for export had 37 % more leaves, and although their length was only millimeters, the difference in quantity (35 in average) also had a repercussion on the total weight (Table 3). In both classes the weight was greater than that obtained (100 g) in nopal plants of the cultivar Atlixco by Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), but their length was similar (20 cm) to those from this study. Both classes of nopal had a higher weight than the one described by Rodríguez-Félix (1999) in nopales with commercial size (100 to 120 g) and the official norms do not specify this, so that weight is not considered as a quality parameter for commercialization of nopal.

The nopales selected for export by Grupo Agrícola Ixquitlán were in average light, but significantly longer (0.6 cm), and their basal and apical thickness was greater (0.16 and 0.50 mm) than those from Grupo PRONACUA (Table 2). This result showed

cual el peso no está considerado como un parámetro de calidad para la comercialización del nopal.

Los nopales seleccionados para exportación del Grupo Agrícola Ixquiltán fueron en promedio ligeros pero significativamente más largos (0.6 cm) y su grosor basal y apical fue mayor (0.16 y 0.50 mm) que los del Grupo PRONACUA (Cuadro 2). Este resultado mostró que aunque la selección y cosecha la hacen los productores sin mediciones directas, la experiencia les permite seleccionar nopales con peso similar y que el crecimiento desigual puede ser efecto de las condiciones de cultivo parcialmente diferentes, como la precipitación pluvial, o la época de cosecha entre los grupos de productores.

El tamaño, además de la apariencia, es el carácter principal en el que los productores basan la selección (a simple vista) de los nopales para exportación; sin medirlos, los productores los cosechan con una longitud aproximada de 20 cm y los de tamaño mayor son asignados al mercado nacional. Conviene señalar que los productores indicaron su preferencia por los nopales de tamaño mayor porque los recipientes para cosecha en los que se colocan se llenan con menos unidades; sin embargo, los consumidores son los que modulan las tendencias del mercado. Sobresalió el tamaño relativamente homogéneo de los nopales de cada clase entre los grupos de productores (anchura y grosor basal NS; Cuadro 2). Los resultados de la longitud y anchura coincidieron con los obtenidos por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) en nopales del cultivar Atlixco, de 30 d de edad, con alrededor de 20 y 11 cm de longitud y anchura.

Los nopales para exportación correspondieron al tipo C (17 a 21 cm) y los seleccionados para consumo nacional al D (21 a 25 cm) según la clasificación por calibre del CODEX STAN-185 para nopal (Codex Alimentarius, 2007). En contraste, con base en la Norma Mexicana NMX-FF-068-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2013) ambas clases fueron del tipo B, pues su longitud estuvo entre los 18.1 y 25 cm. A diferencia de las especificaciones de longitud, ninguna de las normas incluye el grosor para clasificar los nopales, el cual podría ser un indicador confiable de su tamaño y desarrollo (Cuadro 1).

Firmeza

La firmeza o resistencia de los tejidos del nopal a la penetración varió significativamente ($p \leq 0.05$)

that although the selection and harvest is made by producers without direct measurements, experience allows them to select nopales with similar weight, and the unequal growth can be the result of partially different cultivation conditions between the groups of producers, such as rainfall or harvesting season.

The size, in addition to appearance, is the principal character (at plain sight) that producers base their selection on of nopales for export; without measuring, producers harvest them with an average length of 20 cm and those of greater size are assigned to the national market. It is worth pointing out that producers indicated their preference for nopales with a greater size because the harvest containers that they place them in are filled with fewer units; however, consumers are the ones who modulate the market trends. The relatively homogeneous size of nopales from each class among producers' groups stood out (width and basal thickness NS; Table 2). The results from length and width coincided with those obtained by Aguilar-Sánchez *et al.* (2007) in nopales of the cultivar Atlixco, 30 d old, with around 20 and 11 cm of length and width.

Nopales for export corresponded to the type C (17 to 21 cm) and those selected for national consumption to type D (21 to 25 cm), according to the classification by caliber made in the CODEX STAN-185 for nopal (Codex Alimentarius, 2007). In contrast, based on the Mexican Norm NMX-FF-068-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2013), both classes were type B, because their length was between 18.1 and 25 cm. Compared to the length specifications, none of the norms include the thickness to classify the nopales, which could be a reliable indicator of their size and development (Table 1).

Firmness

Firmness or resistance of nopal tissues to penetration varied significantly ($p \leq 0.05$) between classes (Table 2); it was significantly ($p \leq 0.05$) lower in those from Grupo Agrícola Ixquiltán and only in this group there was a difference (5 %) among the classes. The 5 % higher firmness in nopales for national consumption compared to those destined for export could be due to various factors, since this characteristic is determined by the shape of the organ, the anatomy of the tissue, the thickness of the cuticle, the size of the cells, their turgidity, the

entre las clases (Cuadro 2), fue significativamente ($p \leq 0.05$) menor en los del Grupo Agrícola Ixquiltán y sólo en este grupo presentó diferencia (5 %) entre las clases. La firmeza 5 % mayor de los nopales para consumo nacional respecto a los destinados a la exportación, pudo deberse a factores diversos, pues esta característica está determinada por la forma del órgano, la anatomía del tejido, el grosor de la cutícula, el tamaño de las células, su turgencia, la resistencia y espesor de las paredes celulares y la adhesión entre las células, debida a la presencia de la lámina media (abundante en los nopales) (López-Palacios *et al.*, 2012; Peña-Valdivia *et al.*, 2012). A la vez, lo anterior está definido por factores genéticos y su interacción con el ambiente (Toivonen y Brummell, 2008).

La norma NMX-FF-068-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2013) incluye entre las especificaciones de madurez de consumo el tamaño, la edad, el grosor de la cutícula y el color, pues indica que "...se considera apto para consumo al nopal tierno o brote (cladodio joven o inmaduro), de 7 a 30 cm de longitud, de 10 a 40 d de edad, que presenta cutícula delgada...". Lo anterior se relaciona con el hecho de que la textura y las características visuales como el color son, entre otras, las variables que tienen influencia mayor en la aceptación por el consumidor de las frutas y hortalizas (Toivonen y Brummell, 2008; Calvo-Arriaga *et al.*, 2010) y por lo tanto son de gran importancia en los análisis de calidad de estos productos hortofrutícolas (Harker *et al.*, 1997). Además, en términos sensoriales de aceptabilidad de un producto, la firmeza y la fibrosidad del tejido se asocian con la 'masticabilidad' que se refiere al número de veces que el alimento debe masticarse para poder ser tragado (Calvo-Arriaga *et al.*, 2010) y de acuerdo con Ruiz *et al.* (2006) los nopales del cultivar Atlixco son más fáciles de masticar en comparación con otros cultivares.

Cantidad de hojas

El número de hojas (118 a 143) en los nopales para exportación fue en promedio 37 % mayor ($p \leq 0.05$) que el de los destinados al mercado nacional; aunque, las variables del tamaño (que determinan parte del área en la que se encuentran las hojas), como la anchura y longitud fueron únicamente 7 y 9 % menores (Cuadros 2 y 3).

Las hojas en los cladodios son estructuras cilíndricas, pequeñas (3 o 4 mm) comparadas con la longitud

resistencia and thickness of the cellular walls and the adhesion between cells, due to the presence of the middle lamella (abundant in nopal plants) (López-Palacios *et al.*, 2012; Peña-Valdivia *et al.*, 2012). At the same time, this is defined by genetic factors and their interaction with the environment (Toivonen and Brummell, 2008).

The norm NMX-FF-068-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2013) includes among specifications of maturity for consumption, the size, the age, the thickness of the cuticle and the color, because it indicates that "...the tender nopal or shoot (young or immature cladode) is considered suitable for consumption when it is 7 to 30 cm long, 10 to 40 d old, presenting a thin cuticle...". This is related to the fact that the texture and the visual characteristics such as color are, among others, the variables that have the greatest influence on the acceptance by consumer of fruits and vegetables (Toivonen and Brummell, 2008; Calvo-Arriaga *et al.*, 2010) and, therefore, they are of great importance in the quality analyses of these fruit and vegetable products (Harker *et al.*, 1997). Also, in sensorial terms for acceptability of a product, firmness and fibrousness of the tissue are related to "chewability", which refers to the number of times food must be chewed to be able to be swallowed (Calvo-Arriaga *et al.*, 2010) and according to Ruiz *et al.* (2006), nopales of the cultivar Atlixco are the easiest to chew in comparison to other cultivars.

Number of leaves

The number of leaves (118 to 143) in nopals for export was in average 37 % higher ($p \leq 0.05$) than those destined to the national market; however, the variants in size (which determine part of the area where the leaves are found), such as in width and length, were only 7 and 9 % lower (Tables 2 and 3).

The leaves in the cladodes are cylindrical structures, small (3 or 4 mm) compared to the length of the nopal; they are present only in young nopal plants (of some weeks), since they expire (Flores *et al.*, 2008) and detach in a period of 3 to 5 weeks. This could be the explanation for the higher number of leaves in nopales for export, since they are significantly younger, as indicated by their weight, length and thickness which were lower than in those destined to national consumption. In the

del nopal, están presentes únicamente en los nopales jóvenes (de algunas semanas), pues son caducas (Flores *et al.*, 2008), y se desprenden en un periodo de 3 a 5 semanas. Esta puede ser la explicación de la cantidad mayor de hojas en los nopales para exportación, pues son significativamente más jóvenes, según lo indican su peso, longitud y anchura que resultaron menores que los destinados al consumo nacional. En la axila de cada una de estas estructuras está una areola, de la que brotan las espinas con el crecimiento del nopal. En la mayoría de las especies de *Opuntia*, las hojas han sido sustituidas por espinas, lo que disminuye la pérdida de humedad por transpiración (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988).

Composición química del nopal verdura

Hubo diferencias altamente significativas en las variables de composición química entre las clases de nopal, salvo en el contenido de mucílago; entre los grupos de productores también fueron significativas (Cuadro 4). Además, la interacción entre clase

axil of each one of these structures there is an areola, from which the spines sprout with the growth of the nopal. In most of the *Opuntia* species, leaves have been substituted by spines, decreasing the loss of moisture from transpiration (Rodríguez-Félix and Cantwell, 1988).

Chemical composition of nopal (edible cactus stems)

There were highly significant differences in the chemical composition variables between the nopal classes, except with the mucilage content; among the groups of producers they were also significant (Table 4). In addition, the interaction between class of nopal and group of producers was significant ($p \leq 0.01$) for content of moisture and carotenoids.

Moisture

Both classes of nopal had more than 94 % moisture (Table 5) and were within the specification

Cuadro 4. Análisis de varianza e interacciones clase×grupo (C×G) de la composición química de nopal verdura para exportación y consumo nacional, producido en Otumba y San Martín de las Pirámides, Estado de México.

Table 4. Variance analysis and class×group (C×G) interactions of the chemical composition of nopales for export and national consumption, produced in Otumba and San Martín de las Pirámides, Estado de México.

Variable	Factor	G.L.	C.M.	F	Significancia	C.V.
Humedad (%)	Clase	1	4.80	24.17	**	0.47
	Grupo	1	18.89	95.09	**	
	C×G	1	2.16	10.88	**	
Acidez (%)	Clase	1	0.80	10.04	**	26.74
	Grupo	1	13.80	172.95	**	
	C×G	1	0.16	2.05	NS	
Mucilago (%)	Clase	1	1.32	1.56	NS	19.98
	Grupo	1	40.79	47.77	**	
	C×G	1	1.60	1.87	NS	
Clorofila total (mg 100 g ⁻¹)	Clase	1	10.20	8.31	**	4.86
	Grupo	1	8.55	6.97	**	
	C×G	1	0.02	1.90	NS	
Carotenoides (mmol g ⁻¹)	Clase	1	0.70	11.19	**	14.81
	Grupo	1	0.40	6.47	*	
	C×G	1	0.02	1.90	NS	

G.L.: grados de libertad; C.M.: cuadrado medio del error; distribución F de Fisher; C.V.: coeficiente de variación ♦ G.L.: degrees of freedom; C.M.: square mean of the error; F: Fisher's F distribution; C.V.: coefficient of variation.

de nopal y grupo de productores fue significativa ($p \leq 0.01$) para el contenido de humedad y de carotenoides.

Humedad

Ambas clases de nopal tenían más de 94 % de humedad (Cuadro 5) y estaban dentro de la especificación de la norma mexicana de "...el contenido de agua del producto debe ser mayor a 90 %". La humedad de los nopales reportada por otros autores parece variar en algunas unidades; por ejemplo, los cultivares evaluados por Betancourt-Domínguez *et al.* (2006) tuvieron 91.5 a 94.2 % de humedad, Rodríguez-Félix y Cantwell (1988) señalaron 92.0 %, y 88.0 a 95.0 % según Mizrahi *et al.* (1997). Estas diferencias de hasta 7 % en la humedad contrastaron con la diferencia pequeña (0.28 %), pero significativa ($p \leq 0.05$) obtenida entre las clases (Cuadro 5). La humedad mayor de los nopales para consumo nacional pudo haber repercutido en los valores mayores de firmeza obtenidos (Cuadro 3).

La diferencia del contenido de humedad entre los nopales puede deberse al tamaño desigual o

by the Mexican norm of "...the water content of the product should be higher than 90 %". Moisture in nopales reported by other authors seems to vary in some units; for example, cultivars evaluated by Betancourt-Domínguez *et al.* (2006) showed between 91.5 and 94.2 % moisture, Rodríguez-Félix and Cantwell (1988) mentioned 92.0 %, and 88.0 to 95.0 % according to Mizrahi *et al.* (1997). These differences of up to 7 % in moisture contrasted with the small difference (0.28 %), although significant ($p \leq 0.05$) obtained between classes (Table 5). The higher moisture of nopales for national consumption could have had a repercussion on the higher firmness values obtained (Table 3).

The difference in moisture content between nopales could be due to the unequal size or growth, since it has been pointed out that moisture increases with it as the result of the development of parenchyma that leads to an increase in the capacity for water storage (Rodríguez Félix and Cantwell, 1988; Meraz-Maldonado *et al.*, 2012). The water content of cladodes can also vary with the water availability in the soil during cultivation (Acevedo *et al.*, 1983) and its decrease in the tissues caused by vapor loss due to

Cuadro 5. Comparación de medias de la composición química de nopal verdura para exportación o consumo nacional, producido en Otumba y San Martín de las Pirámides, Estado de México.

Table 5. Means comparison of the chemical composition of nopales for export or national consumption, produced in Otumba and San Martín de las Pirámides, Estado de México.

Variable	Media	Clase
Humedad (%)	94.84a	Nacional
	94.56b	Exportación
Acidez (%)	1.11a	Nacional
	0.99b	Exportación
Mucílago (%)	4.50a	Nacional
	4.73a	Exportación
Clorofila (mg 100 g ⁻¹)	8.50b	Nacional
	8.96a	Exportación
Carotenoides (mmol g ⁻¹)	1.63b	Nacional
	1.75a	Exportación

Las medias de cada variable con letra distinta son estadísticamente diferentes ($p \leq 0.05$); n: 98 para consumo nacional y 100 para exportación ♦ The means for each variable with different letter within classes are statistically different ($p \leq 0.05$); n: 98 national and 100 export.

crecimiento, pues se ha señalado que con éste la humedad aumenta como resultado del desarrollo del parénquima que conduce a un incremento en la capacidad de almacenamiento de agua (Rodríguez Félix y Cantwell, 1988; Meraz-Maldonado *et al.*, 2012). El contenido de agua de los cladodios también puede variar con la disponibilidad de agua del suelo durante el cultivo (Acevedo *et al.*, 1983) y su disminución en los tejidos ocasionada por la pérdida de vapor debida a la transpiración (Kader, 1992), lo que afecta la apariencia del cladodio.

La interacción altamente significativa ($p \leq 0.0001$) de esta variable entre la clase de nopal y el grupo de productores (Cuadro 4) confirmó la dependencia del crecimiento de las condiciones de cultivo.

Acidez titulable (AT)

En promedio, las diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en la AT se detectaron entre las clases (Cuadros 4 y 5). Debido a una interacción altamente significativa ($p \leq 0.0001$) entre clase y grupo se realizó un análisis de esta variable entre grupos, la diferencia entre clases fue significativa solo en el grupo PRONACUA. Este resultado indicó que la AT fue una característica estable en los nopales del Grupo Agrícola Ixquiltán; aunque, diferencias en esta característica se atribuyen a la edad del cladodio, el manejo del cultivo, el área de producción y, de manera importante, a la hora en que se realiza el corte (López-Palacios *et al.*, 2010; Meraz-Maldonado *et al.*, 2012). En oposición al Grupo Agrícola Ixquiltán, las diferencias significativas dentro del grupo PRONACUA podrían deberse a diferencias en el área de producción o de la hora de muestreo y análisis, ya que se presentan cambios en la acidez en periodos menores a una hora, debido al metabolismo tipo MAC de los nopales, que se caracteriza por variaciones de la acidez debido a la acumulación de ácidos orgánicos durante la tarde y noche y su degradación acelerada durante el amanecer (Acevedo *et al.*, 1983; Corrales-García *et al.*, 2004). Las diferencias en acidez afectan la calidad gustativa de los nopales y, sin embargo, esta característica no está normalizada (Codex Alimentarius, 2007; Secretaría de Economía, 2013); en relación con el sabor, la norma NMX-FF-068-SCFI-2006 solo señala que los nopales deben “tener sabor y olor característico de la especie y variedad” (Secretaría de Economía, 2013).

transpiration (Kader, 1992), affecting the appearance of the cladode.

The highly significant interaction ($p \leq 0.0001$) of this variable between class of nopal and group of producers (Table 4) confirmed the dependence of growth on the cultivation conditions.

Titrateable acidity (TA)

In average, the significant differences ($p \leq 0.05$) in the TA were detected between the classes (Tables 4 and 5). Because of a highly significant interaction ($p \leq 0.0001$) between class and group, an analysis of this variable within groups was performed; the difference between classes was significant in Grupo PRONACUA. This result indicated that the TA was a stable characteristic in nopales from Grupo Agrícola Ixquiltán; however, differences in this characteristic are attributed to the age of the cladode, the management of the crop, the production area and, importantly, the hour when the cut is made (López-Palacios *et al.*, 2010; Meraz-Maldonado *et al.*, 2012). In opposition to Grupo Agrícola Ixquiltán, the significant differences within Grupo PRONACUA could be due to differences in the production area or the time of sampling and analysis, since changes in the acidity are present during periods of less than one hour, due to the type MAC metabolism of nopal plants, which is characterized by variations in the acidity due to the accumulation of organic acids during the afternoon and night, and their accelerated degradation during dawn (Acevedo *et al.*, 1983; Corrales-García *et al.*, 2004). The differences in acidity affect the gustatory quality of nopal and, nevertheless, this characteristic is not regulated (Codex Alimentarius, 2007; Secretaría de Economía, 2013); with regard to the flavor, the norm NMX-FF-068-SCFI-2006 only states that nopal should “have the flavor and odor characteristic of the species and variety” (Secretaría de Economía, 2013).

The higher TA of nopales for national consumption was only 0.12 % in absolute value and 12 % in relative value (Table 5). As was mentioned, the acidity affects the flavor of the nopal; however, Calvo-Arriaga *et al.* (2010) reported that the difference in acidity was detected by an evaluating panel, formed by 100 consumers, only when the relative difference was 23 %, indicating that the Copena V1 and Milpa Alta cultivars are significantly more acidic (0.1 % in

La AT mayor de los nopales para consumo nacional fue solo 0.12 % en valor absoluto y 12 % en valor relativo (Cuadro 5). Como se mencionó, la acidez afecta el sabor de los nopales; sin embargo, Calvo-Arriaga *et al.* (2010) reportaron que la diferencia de acidez fue detectada por un panel evaluador, formado por 100 consumidores, solo cuando la diferencia relativa fue 23 %, indicando que los cultivares Copena VI y Milpa Alta son significativamente más ácidos (0.1 % en valor absoluto y 23 % en valor relativo) que los cultivares Copena F1 y Tovarito.

Los valores de acidez titulable del presente estudio son mayores que los cuantificados por otros autores. Calvo-Arriaga *et al.* (2010) obtuvieron valores entre 0.41 y 0.55 % en nopales de los cultivares Milpa Alta, COPENA y Tovarito. Meraz-Maldonado *et al.* (2012) señalaron que la acidez de los nopales Atlixco varió en dependencia del tamaño durante 6 d de almacenamiento, aquellos con 17 a 22 cm de longitud tuvieron 0.20 % de ácido málico cuando la media general fue 0.16 a 0.80 % en los de 5 hasta 22 cm. Corrales-García *et al.* (2004) encontraron acidez de 0.28 a 0.76 % en nopales de 10 cultivares cosechados a las 06:00 horas, y para nopales Atlixco fue 0.41 % lo cual favorece su aceptación por un grupo amplio de consumidores, comparados con otros cultivares.

Mucílago

Aunque el contenido de mucílago de los nopales fue diferente entre los grupos, la diferencia entre las clases no fue significativa ($p > 0.05$) (Cuadros 4 y 5). En contraste con la acidez, los nopales del grupo PRONACUA tuvieron una concentración menor de mucílago (2.3 %) que los del Grupo Agrícola Ixquiltán. Las diferencias pueden atribuirse a la época y ambiente de cultivo, pues este grupo de polisacáridos amortigua las fluctuaciones del ambiente y su concentración se modifica por factores como la caída del potencial de agua del suelo (Acevedo *et al.*, 1983). Como en el caso de otros polisacáridos estructurales de nopal, el contenido de mucílago es dependiente del cultivar, la especie, el manejo del cultivo y el ambiente (López-Palacios *et al.* 2012; Peña-Valdivia *et al.*, 2012).

El contenido de mucílago de los nopales de este estudio (Cuadro 5) estuvo en el intervalo reportado para un grupo de 11 cultivares (3.8 a 8.6 %), y fue ligeramente mayor al del nopal Atlixco (3.8 %) de este

absolute value and 23 % in relative value) than the Copena F1 and Tovarito cultivars.

The titratable acidity values of this study are higher than those quantified by other authors. Calvo-Arriaga *et al.* (2010) obtained values between 0.41 and 0.55 % in nopales from Milpa Alta, COPENA and Tovarito cultivars. Meraz-Maldonado *et al.* (2012) stated that the acidity of nopal Atlixco varied depending on the size during 6 d of storage; those with 17 to 22 cm of length had 0.20 % of malic acid when the general mean was 0.16 to 0.80 % in those of 5 to 22 cm. Corrales-García *et al.* (2004) found acidity of 0.28 to 0.76 % in nopal from 10 cultivars harvested at 06:00 hours, and for Atlixco nopal it was 0.41 %, which favored its acceptance by a broad group of consumers, compared with other cultivars.

Mucilage

Although the mucilage content of nopales was different among groups, the difference between classes was not significant ($p > 0.05$) (Tables 4 and 5). In contrast with acidity, the nopal samples from Grupo PRONACUA had a lower concentration of mucilage (2.3 %) than those from Grupo Agrícola Ixquiltán. The differences could be attributed to the season and environment for cultivation, since this group of polysaccharides buffers the fluctuations in the environment and their concentration is modified by factors such as the fall in the soil's water potential (Acevedo *et al.*, 1983). As in the case of other structural polysaccharides in nopal, the mucilage content is dependent on the cultivar, the species, the crop management and the environment (López-Palacios *et al.* 2012; Peña-Valdivia *et al.*, 2012).

The mucilage content of nopal plants in this study (Table 5) was within the interval reported for a group of 11 cultivars (3.8 to 8.6 %), and was slightly higher than the nopal Atlixco (3.8 %) from this group (Peña-Valdivia *et al.*, 2012). The content of this polysaccharide was similar to that of nopales Cardona de Castilla (*O. streptacantha*), San Pedreña (*O. hyptiacantha*) and Naranjón Legítimo (*O. albicarpa*), but represented around a third of that reported for Atlixco and Copena VI by López-Palacios *et al.* (2012); also, it was almost five times lower (19.4 %) than the cladodes from *Opuntia* spp. evaluated by Sepúlveda *et al.* (2007).

grupo (Peña-Valdivia *et al.*, 2012). El contenido de este polisacárido fue similar al de los nopales Cardona de Castilla (de *O. streptacantha*), San Pedreña (de *O. hyptiacantha*) y Naranjón Legítimo (*O. albicarpa*), pero representó alrededor de un tercio del reportado para Atlixco y Copena VI por López-Palacios *et al.* (2012); además, fue casi cinco veces menor (19.4 %) que el de los cladodios de *Opuntia* spp. evaluados por Sepúlveda *et al.* (2007).

La viscosidad del mucílago en los nopales es una de las características más distintiva del cultivo y uno de los criterios principales de aceptación por los consumidores (López-Palacios *et al.*, 2012; Peña-Valdivia *et al.*, 2012), pues la sensación que generan en la boca es poco agradable para algunos consumidores (Calvo-Arriaga *et al.*, 2010).

Clorofila y carotenoides

Hubo diferencias en el contenido de clorofila total de los nopales entre las clases y los grupos (Cuadro 4). En promedio, en los nopales para consumo nacional la clorofila total fue 5 % mayor que en los destinados a la exportación (Cuadro 6); la diferencia entre las clases fue significativa solo en el grupo PRONACUA

The viscosity of the mucilage in nopales is one of the most distinctive characteristics of the crop and one of the principal criteria for acceptance by consumers (López-Palacios *et al.*, 2012; Peña-Valdivia *et al.*, 2012), since the sensation that it generates in the mouth is not pleasant for some consumers (Calvo-Arriaga *et al.*, 2010).

Chlorophyll and carotenoids

There were differences in the total chlorophyll content of nopales between classes and groups (Table 4). In average, the total chlorophyll was 5 % higher in nopales for national consumption than in those destined for export (Table 6); the difference between classes was significant only in Grupo PRONACUA (8.52 and 9.35 mg 100 g⁻¹ in nopales for national consumption and for export). In addition, in this group the contents of chlorophyll *a* (5.81 for national consumption and 6.27 mg 100 g⁻¹ for export) and chlorophyll *b* (2.71 for national consumption and 3.08 mg 100 g⁻¹ for export) were also significantly different between classes. In contrast, nopales for national consumption from Grupo Agrícola Ixquitél had a similar average

Cuadro 6. Plaguicidas evaluados en nopal verdura para exportación y consumo nacional producido en 2011 y 2012 en el Estado de México.

Table 6. Pesticides evaluated in nopales for export and national consumption produced in 2011 and 2012 in Estado de México.

Clasificados por su acción	
Fungicidas	Azoxistrobina, benalaxil, captafol, captan, ciprodinil, clorotalonil, fludioxonil, folpet, metalaxil, miclobutanil, procimidona, propiconazole, quintozeno, tebuconazole, tetrahidroftalimida, tiabendazol, triadimefon y vinclozolin.
Herbicidas	2,4-D, ametrina, atrazina, desmetrina, oxifluorfen, prometón, prometrina, propazina, simazina, terbutilazina y terbutrina (prebanc).
Insecticidas	Bifentrina, buprofezina, ciflutrina, L-cihalotrina, a-cipermetrina, esfenvalerato, fenpropatrina, fluvalinato, malatión, permetrina y piriproxifen.
Clasificados por su constitución química	
Carbamatos	Carbofuran, carbaryl, metiocarb, methmyl, promecarb y propoxur
Organoclorados	Aldrin, a-clordano, dieldrina, endosulfan I, endosulfan II, endosulfan sulfato, endrin aldehído, endrin, heptacloro, heptacloro epóxido-isómero B, alfa-lindano, beta-lindano, gamma-lindano, delta-lindano, PP-DDD y PP-DDT.
Organofosforados	Acefato, bolstar, clorpirifós, O-demeton, S-demeton, diazinon, diclorvos, dimetoato, disulfoton, etil paration, etion, etoprofos, fention, forato, naled, metil paratión, mevinfos, monocrotofos, ometoato, ronnel, tetraclorvinfos, tokution y tricloronato.
Organonitrogenados	Bromacil, dietiltoluidamida, hexazinona, metribuzina y terbacil.

(8.52 y 9.35 mg 100 g⁻¹ en los nopales para consumo nacional y para exportación). Además, en este grupo los contenidos de clorofila *a* (5.81 para consumo nacional y 6.27 mg 100 g⁻¹ para exportación) y clorofila *b* (2.71 para consumo nacional y 3.08 mg 100 g⁻¹ para exportación) también fueron significativamente diferentes entre las clases. En contraste, los nopales para consumo nacional del Grupo Agrícola Ixquiltán tuvieron contenido promedio similar de clorofila *a* (5.84 mg 100 g⁻¹), *b* (2.69 mg 100 g⁻¹) y total (8.53 mg 100 g⁻¹) a los destinados a la exportación.

Los contenidos de clorofila *a* y *b* y su variación repercuten en la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. La clorofila *b* es sintetizada a partir de clorofila *a* y su función principal es capturar energía luminosa y transferirla a la clorofila *a*. La sobreacumulación de clorofila *b* hace a las plantas vulnerables al fotodaño, por exposición a intensidad lumínica alta o baja. En general, el exceso no regulado de clorofila *b* es deletéreo para las plantas, su incremento y la disminución del índice clorofila *a/b* en iluminación alta y baja, modifica la cantidad de proteína del complejo cosechador de luz, la captura eficiente de energía solar y la tasa del transporte fotosintético de electrones y esto, a la vez, repercute en la fijación de carbono, síntesis de polisacáridos y acumulación de materia seca (Biswal *et al.*, 2012). Los valores óptimos del índice clorofila *a/b* de nopal se desconocen; en el presente estudio los valores fueron diferentes ($p \leq 0.05$) entre las clases (2.08 para exportación y 2.17 para consumo nacional) y los grupos de productores (en ambos el índice fue menor en los nopales para exportación, 2.03 y 2.14, que para consumo nacional, 2.20 y 2.14). Así, el contenido de clorofila *a* representó más del doble de la clorofila *b* en los nopales de las dos clases de ambos grupos. Esta relación es común en varias especies, fue documentada por Guevara *et al.* (2001) en nopales, y contrasta con lo reportado por Meraz-Maldonado *et al.* (2012), quienes detectaron un contenido mayor de clorofila *b* que de clorofila *a* en nopales con 5 a 21 cm de longitud, y sugirieron que la concentración de ambos pigmentos aumenta con el tamaño del cladodio. La clorofila total de los nopales con déficit severo de humedad disminuyó en el clorénquima de 19.6 a 11.3 mg 100 g⁻¹ de tejido fresco y en el parénquima de 9.1 a 5.5 mg 100 g⁻¹ de tejido fresco (Aguilar-Becerril y Peña-Valdivia, 2006). Estos estudios confirman que las diferencias en la concentración de clorofila de los nopales entre

content of chlorophyll *a* (5.84 mg 100 g⁻¹), *b* (2.69 mg 100 g⁻¹) and total (8.53 mg 100 g⁻¹) to those destined for export.

The contents of chlorophyll *a* and *b*, and their variation, influence photosynthesis and plant growth. Chlorophyll *b* is synthesized from chlorophyll *a* and its main function is to capture light energy and transfer it to chlorophyll *a*. The over-accumulation of chlorophyll *b* makes plants vulnerable to photo damage, from exposure to high or low light intensity. In general, the unregulated excess of chlorophyll *b* is deleterious to plants, its increase and the decrease in the *a/b* chlorophyll index in high and low illumination modify the amount of protein from the light-harvesting complex, the efficient capture of solar energy and the rate of photosynthetic transport of electrons and this, in turn, has a repercussion in carbon fixation, polysaccharide synthesis and accumulation of dry matter (Biswal *et al.*, 2012). The optimal values of the *a/b* chlorophyll index in nopal are unknown; in this study the values were different ($p \leq 0.05$) between classes (2.08 for export and 2.17 for national consumption) and groups of producers (in both, the index was lower in nopales for export, 2.03 and 2.14, than for national consumption, 2.20 and 2.14). Thus, the chlorophyll *a* content represented more than double the chlorophyll *b* content in nopales from both classes from both groups. This relation is common in several species and was documented by Guevara *et al.* (2001) in nopal plants, and it differs from what was reported by Meraz-Maldonado *et al.* (2012), who detected a higher content of chlorophyll *b* than chlorophyll *a* in nopales of 5 to 21 cm length, and suggested that the concentration of both pigments increases with the size of the cladode. Total chlorophyll of nopal plants with a severe moisture deficit decreased in the chlorenchyma from 19.6 to 11.3 mg 100 g⁻¹ of fresh tissue and in the parenchyma from 9.1 to 5.5 mg 100 g⁻¹ of fresh tissue (Aguilar-Becerril and Peña-Valdivia, 2006). These studies confirm that the differences in chlorophyll concentration in nopales between classes are an effect of the environmental factors during development and age.

The appearance of fruit and vegetable products, which includes color, is one of the important characteristics for their acceptance by consumers (Calgo-Arriaga *et al.*, 2010). In green vegetables, the color change that occurs during senescence is due to

las clases es efecto de los factores ambientales durante el desarrollo y de la edad.

La apariencia de los productos hortofrutícolas, que incluye el color, es una de las características importantes para su aceptación por los consumidores (Calvo-Arriaga *et al.*, 2010). En las hortalizas verdes el cambio de color que ocurre durante la senescencia se debe a la degradación de clorofila y síntesis de carotenoides o desenmascaramiento de éstos o ambos (Heaton *et al.*, 1996). Entre los cultivares comerciales de nopal verdura, Atlixco destaca por sus cladodios de color verde oscuro y es uno de los preferidos por los consumidores (Cervantes *et al.*, 2006). Las normas de calidad se refieren a esta característica indirectamente, pues indican que los nopales “deben presentar coloración característica de la variedad” (NMX-FF-068-SCFI-2006, Secretaría de Economía, 2013) y color característico de la especie (Codex Stan 185-1993, Codex Alimentarius, 2007).

El contenido de carotenoides fue significativamente diferente entre las clases y los grupos (Cuadro 5). La interacción entre grupo y clase fue significativa para el contenido de estos pigmentos. Los nopales para exportación presentaron 7 % más carotenoides que los seleccionados para consumo nacional. La interacción altamente significativa entre grupo y clase ($p \leq 0.001$) correspondió al contenido menor de carotenoides en los nopales para exportación cultivados por el Grupo Agrícola Ixquiltán. El contenido de carotenoides en los productos hortofrutícolas es de interés por su actividad antioxidante (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003) y porque estos pigmentos son precursores de la vitamina A (principalmente el β -caroteno) (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988). Los carotenoides de los nopales son diversos, pues están compuestos por β -caroteno (36 %), luteína (46 %) y criptocianina (18 %) (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003). Rodríguez-Félix y Cantwell (1988) observaron un incremento en el contenido de carotenoides de 25 a 44 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ en seis etapas del crecimiento de nopales, que coincidió con el aumento de la clorofila total. Betancourt-Domínguez *et al.* (2006) cuantificaron concentraciones de carotenos totales, obteniendo valores entre 330 y 380 $\mu\text{g g}^{-1}$ de tejido fresco, y señalaron que el contenido de β -caroteno depende del cultivar y varía entre 14.5 y 32.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ de tejido fresco. Otros autores obtuvieron concentraciones de carotenoides entre 200 y 247 $\mu\text{g g}^{-1}$ de nopal fresco (Jaramillo-Flores *et al.* 2003; González-Cruz *et al.*, 2012).

the degradation of chlorophyll and the synthesis of carotenoids or dismasking of these or both (Heaton *et al.*, 1996). Among the commercial cultivars of nopal, Atlixco stands out because of its cladodes of dark green color and it is one of the consumers' favorites (Cervantes *et al.*, 2006). The quality norms refer to this characteristic indirectly, since they indicate that nopal “should have the coloring characteristic of the variety” (NMX-FF-068-SCFI-2006, Secretaría de Economía, 2013) and color characteristic of the species (Codex Stan 185-1993, Codex Alimentarius, 2007).

The carotenoid content was significantly different between classes and groups (Table 5). The interaction between group and class was significant for the content of these pigments. Nopales for export presented 7 % more carotenoids than those selected for national consumption. The highly significant interaction between group and class ($p \leq 0.001$) corresponded to the lower content of carotenoids in nopal for export cultivated by Grupo Agrícola Ixquiltán. The carotenoid content in fruit and vegetable products is of interest because of its antioxidant activity (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003) and because these pigments are precursors of vitamin A (primarily β -carotene) (Rodríguez-Félix and Cantwell, 1988). Carotenoids in nopal are diverse, since they are made up of β -carotene (36 %), lutein (46 %) and cryptocyanine (18 %) (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003). Rodríguez-Félix and Cantwell (1988) observed an increase in the carotenoid content of 25 to 44 $\mu\text{g } 100 \text{ g}^{-1}$ in six stages of nopal growth, which coincided with the increase in total chlorophyll. Betancourt-Domínguez *et al.* (2006) quantified total concentrations of carotenoids, obtaining values between 330 and 380 $\mu\text{g g}^{-1}$ of fresh tissue, and they pointed out that the content of β -carotene depends on the cultivar and varies between 14.5 and 32.5 $\mu\text{g g}^{-1}$ of fresh tissue. Other authors obtained carotenoid concentrations between 200 and 247 $\mu\text{g g}^{-1}$ of fresh nopal (Jaramillo-Flores *et al.*, 2003; González-Cruz *et al.*, 2012).

Pesticides

The absence of 90 pesticides evaluated in the nopal plants analyzed confirmed that the producers do not apply agrichemicals on the crop (Table 6). There was a sole exception, since omethoate was detected

Plaguicidas

La ausencia de 90 plaguicidas evaluados en los nopales analizados confirmó que los productores no aplican agroquímicos en el cultivo (Cuadro 6). Hubo solo una excepción, se detectó ometoato (0.031 ppm) en una muestra del grupo PRONACUA, pero la cantidad detectada fue menor al límite permitido en productos hortofrutícolas para exportación y consumo nacional (Agrolab, 2013).

La norma mexicana NMX-FF-068-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2013) indica que los límites del contenido de plaguicidas en el nopal verdura están sujetos a las especificaciones establecidas por la Comisión Federal para la Prevención contra Riesgos Sanitarios (COFEPRIS, 2004) y la lista de plaguicidas autorizados por SENASICA (2012). Pero la COFEPRIS no señala los límites para el uso de ometoato en nopal y tampoco está incluido entre los plaguicidas prohibidos o con uso restringido (COFEPRIS, 2004). La norma Codex Stan 185-1993 para el nopal tampoco especifica la concentración permisible de contaminantes ni de residuos de plaguicidas (Codex Alimentarius, 2007).

El límite máximo de residuos (LMR) es la concentración máxima de residuos de algún plaguicida que recomienda la Comisión del Codex Alimentarius, y se expresa en mg kg^{-1} (o ppm) (Codex Alimentarius, 2007). El Centro Nacional de Referencia de Plaguicidas y Contaminantes (CNRPyC) señaló que en el año 2007 los plaguicidas de mayor incidencia en el nopal fueron monocrotophos, ometoato y dimetoato (SENASICA, 2012). En EE.UU. la Agencia de Protección Ambiental (EPA, 2013) autoriza el uso de plaguicidas en nopal, como carbaril, diurón, glifosato y metaldehído, y restringe el uso de etilclorpirifós, bifentrina y paratión metílico.

El ometoato no está en la lista de productos autorizados (EPA, 2013); el LMR registra 0.5 y 0.05 ppm para glifosato y diurón. La Comunidad Económica Europea no tiene registro de plaguicidas autorizados para nopal verdura, pero para tuna indica los siguientes: clorfevinfos (0.02 ppm), etil clorpirifós (0.05 ppm), diazinon (0.05 ppm), metil clorpirifós (0.05 ppm), paratión metílico (0.02 ppm), malatión (0.02 ppm) y paratión (0.05 ppm); así, el valor LMR es propio de cada plaguicida y depende de lo establecido por cada país que autorice su uso (Muller, 2007).

(0.031 ppm) in a sample from Grupo PRONACUA, although the amount detected was less than the limit allowed in fruit and vegetable products for export and national consumption (Agrolab, 2013).

The Mexican norm NMX-FF-068-SCFI-2006 (Secretaría de Economía, 2013) indicates that the limits for pesticide content in nopal are subject to the specifications established by the Federal Commission for the Prevention against Sanitary Risks (Comisión Federal para la Prevención contra Riesgos Sanitarios, COFEPRIS, 2004) and the list of pesticides authorized by SENASICA (2012). However, the COFEPRIS does not establish the limits for the use of omethoate in nopal and it is also not included among the pesticides prohibited or with restricted use (COFEPRIS, 2004). The Codex Stan 185-1993 norm for nopal also doesn't specify the concentration allowed of contaminants or pesticide residues (Codex Alimentarius, 2007).

The maximum residue limit (MRL) is the maximum residue concentration of some pesticide that the Codex Alimentarius Commission recommends, and it is expressed in mg kg^{-1} (or ppm) (Codex Alimentarius, 2007). The National Center for Pesticide and Contaminant Reference (Centro Nacional de Referencia de Plaguicidas y Contaminantes, CNRPyC) pointed out that in 2007 the pesticides of greatest incidence in nopal were monocrotophos, omethoate and dimethoate (SENASICA, 2012). In the US, the Environmental Protection Agency (EPA, 2013) authorized the use of pesticides in nopal, such as carbaryl, DCMU, glyphosate and metaldehyde, and restricted the use of ethyl-chlorpyrifos, bifenthrin and methyl parathion.

The omethoate is not in the list of authorized products (EPA, 2013); the MRL shows 0.5 and 0.05 ppm for glyphosate and DCMU. The European Economic Community does not have a record of pesticides authorized for nopal, but for prickly pear it indicates the following: chlorfenvinphos (0.02 ppm), ethyl chlorpyrifos (0.05 ppm), diazinon (0.05 ppm), methyl chlorpyrifos (0.05 ppm), methyl parathion (0.02 ppm), malathion (0.02 ppm) and parathion (0.05 ppm); thus, the MRL value is specific to each pesticide and depends on what's established by each country that authorizes its use (Muller, 2007).

Martínez-Martínez *et al.* (2012) performed sampling of nopales between January and May of 2009 in Otumba, Estado de México, and they

Martínez-Martínez *et al.* (2012) realizaron un muestreo de nopales entre enero y mayo de 2009 en Otumba, Estado de México, y detectaron residuos de ometoato (0.121 mg kg^{-1}) y presencia de etil clorpirifós, dimetoato, paratión metílico, malatión y bifentrina; además, confirmaron el uso de ometoato y dimetoato para controlar el trips del nopal (*Sericotrips opuntia* Hood) entre febrero y abril de 2009. Aldana *et al.* (2008) encontraron residuos de diazinón, malatión, etil clorpirifós y paratión metílico en nopal fresco, en plantaciones de Hermosillo, Sonora.

La inocuidad alimentaria se puede entender como la implementación de medidas para reducir los riesgos provenientes de contaminantes biológicos, químicos y físicos para proteger la salud de los consumidores (Roberts, 1999). Los gobiernos de los países importadores establecen regulaciones estrictas para los productos importados y exigen el cumplimiento de las normas de calidad, para evitar riesgos en la salud de los consumidores (Avendaño *et al.*, 2007). La inocuidad es un aspecto importante para el consumo de nopal, tanto el producido para exportación, en el que se tiene cuidado especial con la restricción del uso de plaguicidas y la calidad, como el producido para el mercado nacional, aunque en este caso el uso de plaguicidas parece estar menos controlado. El nopal no está en la lista de cultivos con restricción del uso de plaguicidas autorizados (COFEPRIS, 2004), ni en el catálogo de plaguicidas de uso agrícola de SENASICA (2012). El destino principal de las exportaciones de nopal verdura mexicano es EE.UU. Al respecto, en 1998 el Departamento de Salud y Servicios Humanos (HHS), en coordinación con la Administración de Medicamentos y Alimentos (FDA) y el Departamento de Agricultura de EE.UU. (USDA), publicó la guía para la minimización del riesgo de contaminación microbiana en frutas y hortalizas frescas, en ella están las directrices de inocuidad alimentaria para hortalizas (Avendaño *et al.*, 2007). Aunque el principal requisito para su exportación es que los nopales estén libres de residuos de plaguicidas, no figuran en las listas de los cultivos principales de las agencias o secretarías encargadas de las regulaciones en materia de plaguicidas. Los estudios de reportes de residuos indican un uso relativamente común de estos agentes (Aldana *et al.*, 2008).

detected omethoate residues (0.121 mg kg^{-1}) and presence of ethyl chlorpyrifos, dimethoate, methyl parathion, malathion and bifenthrin; in addition, they confirmed the use of omethoate and dimethoate to control thrips (*Sericothrips opuntiae* Hood) between February and April, 2009. Aldana *et al.* (2008) found residues of diazinon, malathion, ethyl chlorpyrifos and methyl parathion in fresh nopal, in plantations in Hermosillo, Sonora.

Food innocuousness can be understood as the implementation of measures to reduce the risks from biological, chemical and physical contaminants to protect consumers' health (Roberts, 1999). The governments of importing countries establish strict regulations for imported products and demand the compliance with quality norms, to avoid risks in the consumers' health (Avendaño *et al.*, 2007). Innocuousness is an important aspect for nopal consumption, both in that produced for export, where there is special care with the restriction of pesticide use and quality, and for that produced for the domestic market, although in this case the use of pesticides seems to be less controlled. Nopal is not on the list of crops with restriction in the use of authorized pesticides (COFEPRIS, 2004), or in the catalogue of SENASICA's (2012) pesticides for agricultural use. The main destination of Mexican nopal exports is USA. In this regard, in 1998 the Department of Health and Human Services (HHS), in coordination with the US Food and Drug Administration (FDA) and the US Department of Agriculture (USDA), published the guide to minimize the risks of microbe contamination in fresh fruits and vegetables, where the guidelines for food innocuousness for vegetables are found (Avendaño *et al.*, 2007). Although the principal requirement for its export is that nopal is free of pesticide residues, they are not in the lists of principal crops of the agencies or ministries in charge of regulations in matters of pesticides. The studies of reports of residues indicate a relatively common use of these agents (Aldana *et al.*, 2008).

CONCLUSIONS

The subjective selection of the two classes of nopal made by producers in the study areas is related to physical and compositional characteristics that allow classifying nopales objectively for national consumption or for export. These characteristics

CONCLUSIONES

La selección subjetiva de las dos clases de nopal verdura por los productores de las zonas de estudio está relacionada con características físicas y composicionales que permiten clasificar objetivamente los nopales para consumo nacional o exportación. Estas características difieren de acuerdo al destino del producto, así los destinados a la exportación tienen valores menores en peso, longitud, anchura, grosor basal y apical, humedad, firmeza y acidez que los destinados al consumo nacional.

Los productores incluidos en el estudio mantienen la calidad fitosanitaria como una de las principales características del nopal verdura para exportación y consumo nacional; además, sus huertas cumplen con la restricción del uso de plaguicidas y agroquímicos.

Las características físicas y químicas del nopal verdura como peso, longitud, anchura, grosor, número de hojas, acidez, contenido de humedad, clorofila y carotenoides son variables que podrían usarse como parámetros para complementar la normativa de calidad del nopal verdura.

LITERATURA CITADA

- Acevedo, E., I. Badilla, and P. S. Nobel. 1983. Water relations, diurnal acidity changes and productivity of a cultivated cactus, *O. ficus-indica*. *Plant Physiol.* 72: 775-780.
- Agrolab. 2013. <http://www.agrolab.com.mx> (Consulta: abril 2013).
- Aguilar-Becerril, G., y C. B. Peña-Valdivia. 2006. Alteraciones fisiológicas provocadas por sequía en nopal (*Opuntia ficus-indica*). *Rev. Fitotec. Mex.* 29: 231-237.
- Aguilar-Sánchez, L., M. A. Martínez-Damián, A. F. Barrientos-Priego, N. Aguilar-Gallegos, y C. Gallegos-Vázquez. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalito. *J. Prof. Assoc. Cactus Develop.* 9: 165-184.
- Aldana M. M. L., M. del C. García M., G. Rodríguez O., M. I. Silveira G., y A. I. Valenzuela Q. 2008. Determinación de insecticidas organofosforados en nopal verdura fresco y deshidratado. *Rev. Fitotec. Mex.* 31: 133-139.
- Álvarez, A., and Peña-Valdivia, C. B. 2009. Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. *J. Prof. Assoc. Cactus Develop.* 11: 26-44.
- AOAC. 1990. Official method of analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, D. C. 1141 p.
- Avendaño, R. B. D., R. Schwentesius, y S. Lugo M. 2007. La inocuidad alimentaria en la exportación de hortalizas mexicanas a Estados Unidos. *Comercio Exterior* 57: 6-18.
- Betancourt-Domínguez, M. A., T. Hernández-Pérez, P. García-Saucedo, A. Cruz-Hernández, and O. Paredes-López. 2006. differ according to the destination of the product, so those destined to export have lower values in weight, length, width, basal and apical thickness, moisture, firmness and acidity, than those destined for national consumption.
- The producers included in this study maintain the plant phytosanitary quality as one of the principal characteristics of nopal for export and national consumption; in addition, their vegetable plots comply with the restriction of use of pesticides and agrichemicals.
- The physical and chemical characteristics of nopal, such as weight, length, width, thickness, number of leaves, acidity, moisture content, chlorophyll and carotenoids, are variables that could be used as parameters to complement the quality norms for nopal.
- End of the English version—
- ✱
- Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods Hum. Nutr.* 61: 115-119.
- Biswal, A. K., G. K. Pattanayak, S. S. Pandey, S. Leelavathi, V. S. Reddy, Govindjee, and B. C. Tripathy. 2012. Light intensity-dependent modulation of chlorophyll *b* biosynthesis and photosynthesis by overexpression of chlorophyllide *a* oxygenase in tobacco. *Plant Physiol.* 159: 433-449.
- Calvo-Arriaga, A. O., A. Hernández-Montes, C. B. Peña-Valdivia, J. Corrales-García, and E. Aguirre-Mandujano. 2010. Preference mapping and rheological properties of four nopal (*Opuntia* spp.) cultivars. *J. Prof. Assoc. Cactus Develop.* 12: 127-142.
- Cervantes-Herrera, J., J. A. Reyes-Agüero, C. Gallegos-Vázquez, R. Fernández-Montes, C. Mondragón-Jacobo, J. C. Martínez-González, and J. Luna-Vázquez. 2006. Mexican cultivars of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. with economic importance. *Acta Horticulturae* 728: 29-36.
- COFEPRIS (Comisión Federal para la Protección contra Riesgos Sanitarios). 2004. Catálogo de plaguicidas. CICOPLAFEST. SSA, SAGARPA, SEMARNAT, SE. México, D.F.
- Codex Alimentarius, 2007. Codex Stan 185-1993, Fresh fruits and vegetables. World health organization. Food and Agriculture Organization of the United Nations. Roma.
- Corrales-García, J., C. B. Peña-Valdivia, Y. Razo-Martínez, and M. Sánchez-Hernández. 2004. Acidity modification associated to hour of the day of cut and elapsed time since harvest, and pH-buffer capacity in nopalitos (*Opuntia* spp.). *Postharvest Biol. Tec.* 32: 169-174.
- EPA. 2013. Title 40: Protection of Environment. Code of Federal Regulations. United States Environmental Protection Agency. Electronic code of federal regulations. En Línea: <http://www.ecfr.gov/cgi-bin/text-idx?c=ecfr&sid>

- =1c8cd959ef0d373fb7620f42c8445cca&tpl=/ecfrbrowse/Title40/40cfr180_main_02.tpl (Consulta: abril 2013).
- Flores, V. C. A., G. Aranda O., y P. Ponce J. 2008. Uso del nopal en la reforestación y conservación de suelos. VI Simposium taller producción y aprovechamiento del nopal en el noreste de México. Rev. Salud Pública Nutr. 5: 198-210.
- González-Cruz, L., S. Filardo-Kerstupp, L. A. Bello-Pérez, N. Güemes-Vera, and A. Bernardino-Nicanor 2012. Carotenoid content, antioxidant activity and sensory evaluation of low-calorie nopal (*Opuntia ficus-indica*) marmalade. J. Food Process. Preserv. 36: 267-275.
- Guevara, J. C., E. M. Yahia, and E. Brito de la Fuente. 2001. Modified atmosphere packaging of prickly pear cactus stems (*Opuntia* spp.) Lebensm. Wiss. Technol. 34: 445-451.
- Harker, F. R., R. J. Redgwell, I. C. Hallett, S. Murray, and G. Carter. 1997. Texture of fresh fruit. Horticultural Rev. 20: 121-224.
- Heaton, J. W., R. Y. Yada, and A. G. Marangoni. 1996. Discoloration of coleslaw is caused by chlorophyll degradation. J. Agr. Food Chem. 44: 395-398.
- Jaramillo-Flores, M. E., L. González-Cruz, M. Cornejo-Mazón, L. Dorantes-Álvarez, G. F. Gutiérrez-López, and H. Hernández-Sánchez. 2003. Effect of thermal treatment on the antioxidant activity and content of carotenoids and phenolic compounds of cactus pear cladodes (*Opuntia ficus indica*). Food Sci. Technol. 9: 271-278.
- Kader, A. A. 1992. Postharvest technology of horticultural crops. University of California, Special publication 3311, Oakland, CA.
- López-Palacios, C., C. B. Peña-Valdivia, J. A. Reyes-Agüero, and A. I. Rodríguez-Hernández. 2012. Effects of domestication on structural polysaccharides and dietary fiber in nopalitos (*Opuntia* spp.). Gen. Res. Crop Evol. 59: 1015-1026.
- Martínez-Martínez, T.O., M.E. Ramírez-Guzmán, S. Anaya-Rosales, M.L. Arévalo-Galarza., G. Leyva-Ruelas. 2012. Estimación del nivel de calidad de dos sistemas de producción de nopal verdura (*Opuntia* sp.). Agrociencia 46: 567-578.
- Martínez-Vidal, J. L., F. J. Arrebola-Liébanas, M. J. González-Rodríguez, A. Garrido-Frenich, and J. L. Fernández-Moreno. 2006. Validation of a gas chromatography/triple quadrupole mass spectrometry based method for the quantification of pesticides in food commodities. Rapid Commun. Mass Spectrom. 20: 365-375.
- Meraz-Maldonado, N., S. Valle-Guadarrama, J. Hernández-Morales, S. Anaya-Rosales, J. C. Rodríguez-Macié, and G. Leyva-Ruelas. 2012. Quality of three sizes of prickly pear cactus stems (*Opuntia ficus indica* L. 'Atlixco'). Afr. J. Agric. Res. 7: 4512-4520.
- Mizrahi, Y., A. Nerd, and P. S. Nobel. 1997. Cacti as crops. Hort. Rev. 18: 291-320.
- Muller, E. 2007. Establishment of maximum residue levels for minor uses. Bulletin OEPP/EPPO Bulletin. 37: 215-218.
- Peña-Valdivia, C. B., C. Trejo L, V. B. Arroyo-Peña, A. Sánchez U., and R. Balois M. 2012. Diversity of unavailable polysaccharides and dietary fiber in domesticated nopalito and cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). Chem. Biodivers. 9: 1599-1610.
- Reyes-Agüero, J. A., J. R. Aguirre R., and H. M. Hernández. 2005. Systematic notes and a detailed description of *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). Agrociencia 39: 395-408.
- Reyes-Agüero, J.A., J.R. Aguirre R., F. Carlín C., A. González D. 2009. Catálogo de las principales variantes silvestres y cultivadas de *Opuntia* en la Altiplanicie Meridional de México. UASLP, SAGARPA y CONACYT San Luis Potosí, S.L.P. México. 350 p.
- Roberts, D. 1999. Analyzing technical trade barriers in agricultural markets: challenges and priorities. Agribusiness 15: 335-354.
- Rodríguez-Félix, A., and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). Plant Food Hum. Nutr. 38: 83-93.
- Rodríguez-Félix, A. 1999. Fisiología y tecnología postcosecha de nopalitos. Memoria del VIII Congreso Nacional y VI Internacional sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. pp: 211-227.
- Ruiz Pérez-Cacho, M. P., H. Galán-Sevilla, J. Corrales G., and A. Hernández M. 2006. Sensory characterization of nopalitos (*Opuntia* spp.). Food Res. Int. 39: 285-293.
- Secretaría de Economía. 2013. Catálogo de normas mexicanas. <http://www.economia-nmx.gob.mx/normasmx/index.nmx> (Consulta: abril 2013).
- Sepúlveda, E., C. Saénz, and E. Aliaga; C. Aceituno. 2007. Extraction and characterization of mucilage in *Opuntia* spp. J. Arid Environ. 68: 534-545.
- SENASICA (Servicio Nacional de Sanidad, Inocuidad y Calidad Agroalimentaria). 2012. Listado de plaguicidas de uso agrícola. <http://www.senasica.gob.mx> (Consulta: abril 2013).
- SIAP-SAGARPA (Sistema de Información Agroalimentaria y Pesquera- Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y Alimentación). 2013. <http://www.siap.gob.mx/agricultura-produccion-anual/> (Consulta: abril 2013).
- Stintzing, F. C., and R. Carle. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. Mol. Nutr. Food Res. 49: 175-194.
- Toivonen, P. M. A., and D. A. Brummell. 2008. Biochemical bases of appearance and texture changes in fresh-cut fruit and vegetables. Postharv. Biol. Tec. 48: 1-14.