

POLISACÁRIDOS ESTRUCTURALES Y FIBRA DIETÉTICA EN BROTES FLORALES (TUNITAS) DE *Nopalea cochenillifera* (L.) SALM-DICK DE DIFERENTE ESTADIO DE DESARROLLO

STRUCTURAL POLYSACCHARIDES AND DIETARY FIBER IN FLORAL BUDS (TUNITAS) OF *Nopalea cochenillifera* (L.) SALM-DICK FROM DIFFERENT GROWTH STAGES

Juan A. Reyes-Agüero¹, Cristian López-Palacios^{2*}, María E. Romero-Hernández²,
Hugo M. Ramírez-Tobías³, Christian Michel-Cuello²

¹Instituto de Investigación de Zonas Desérticas. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Altair 200. Colonia del Llano. 78377. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México. ²Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera Rioverde-San Ciro Km 4. Puente del Carmen. 79617. Rioverde, San Luis Potosí, México. (cristian.lopez@uaslp.mx), (c.lopezpalacios@gmail.com). ³Facultad de Agronomía y Veterinaria. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. Carretera San Luis Potosí-Matehuala Km 14.5. Ejido Palma de la Cruz. Apartado. Postal 32. 78321. Soledad de Graciano Sánchez, San Luis Potosí, México.

RESUMEN

En México, los cladodios jóvenes (nopalitos) y los brotes florales (tunitas) de *Nopalea cochenillifera* se consumen como vegetales, pero no hay información del contenido de polisacáridos estructurales y de fibra dietética en los brotes florales. El objetivo de este estudio fue extraer, purificar y cuantificar los polisacáridos estructurales (mucílagos, pectinas, hemicelulosas débilmente y fuertemente unidas a la celulosa y celulosa) y fibra dietética (soluble, insoluble y total) en brotes florales de *N. cochenillifera* de cuatro estadios de desarrollo. La hipótesis fue que los polisacáridos estructurales solubles se incrementan durante el desarrollo de los brotes florales. Los brotes florales se cosecharon entre las 06:00 y las 09:00 h en el municipio de San Ciro de Acosta, San Luis Potosí, México, se clasificaron por su longitud y desarrollo en cuatro estadios (ED), se eliminaron las espinas, se liofilizaron y trituraron. Los polisacáridos estructurales se extrajeron en secuencia con disolventes acuosos (agua, oxalato de amonio e hidróxido de potasio). La fibra dietética soluble se determinó como la suma de mucílago, pectina y hemicelulosas débilmente unidas y la insoluble como la suma de hemicelulosas fuertemente unidas y celulosa. La fibra dietética total fue la suma de todos los polisacáridos estructurales. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro repeticiones por tratamiento. El contenido de mucílago y hemicelulosas débilmente unidas varió entre los ED, de 5.6 a 9.8 % y de 3.1 a 15.0 %. Las pectinas, hemicelulosas fuertemente unidas y la celulosa se mantuvieron estables durante el desarrollo de los brotes florales (6.4, 12.4 y 12.7 %). El ED2

ABSTRACT

In Mexico, the young cladodes (nopalitos) and floral buds (tunitas) of *Nopalea cochenillifera* are consumed as vegetables, but there is no information on the content of structural polysaccharides and dietary fiber in floral buds. The objective of this study was to extract, purify and quantify the structural polysaccharides (mucilages, pectins, loosely and tightly hemicelluloses bound to cellulose, and cellulose) and dietary fiber (soluble, insoluble and total) in floral buds of *N. cochenillifera* in four stages of development. The hypothesis was that soluble structural polysaccharides increase during the development of floral buds. Floral buds were harvested between 06:00 and 09:00 h in the municipality of San Ciro de Acosta, San Luis Potosí, Mexico; they were classified by their length and development in four stages (GS); thorns were eliminated, lyophilized and crushed. The structural polysaccharides were extracted in sequence with aqueous solvents (water, ammonium oxalate and potassium hydroxide). Soluble dietary fiber was determined as the sum of mucilage, pectin and loosely bound hemicelluloses, and insoluble as the sum of tightly bound hemicelluloses and cellulose. Total dietary fiber was the sum of all structural polysaccharides. The experimental design was completely randomized with four replications per treatment. The content of mucilage and loosely bound hemicelluloses varied between GS, from 5.6 to 9.8 % and from 3.1 to 15.0 %. Pectins, tightly bound hemicelluloses and cellulose remained stable during the development of floral buds (6.4, 12.4 and 12.7 %). The GS2 had the highest dietary fiber content (46.3 %). The content of mucilages, loosely bound hemicelluloses and total and soluble dietary fiber increased in floral buds of *N. cochenillifera* in GS2, followed by their decrease in GS3 and GS4.

* Autor responsable ♦ Author for correspondence.

Recibido: marzo, 2018. Aprobado: julio, 2018.

Publicado como ARTÍCULO en *Agrociencia* 53: 605-616. 2019.

presentó el contenido de fibra alimentaria mayor (46.3 %). El contenido de mucílagos, hemicelulosas débilmente unidas y fibra dietética total y soluble aumentó en los brotes florales de *N. cochenillifera* en ED2 seguido de su decremento en ED3 y ED4.

Palabras clave: fibra soluble, hemicelulosas débilmente unidas, mucílago, *Nopalea cochenillifera*.

INTRODUCCIÓN

La fibra dietética es un grupo de sustancias que pasan a través del intestino sin sufrir alteraciones y que se asocian con beneficios a la salud humana como la reducción en el contenido o la digestibilidad de macronutrientes de los alimentos naturales o procesados, además de tener efecto hipolipidémico, hipoglucémico e hipocolesterómico (Brownlee *et al.*, 2017). La composición química, ubicación en la pared celular y solubilidad de estas macromoléculas son criterios para diferenciarla en fibra dietética soluble (pectinas, mucílagos y algunos tipos de hemicelulosas) e insoluble (celulosa, hemicelulosas fuertemente unidas a la celulosa y lignina) (Zhao *et al.*, 2007).

El mucílago se localiza en los espacios extracelulares y se sintetiza a partir de la polimerización de varios monosacáridos asociados con ácidos urónicos (Bayar *et al.*, 2016). Las pectinas se localizan en la pared celular primaria y en la lámina media de las células y se conforman por largas cadenas de α -D-(1 $\rightarrow$ 4) ácido galacturónico unidas a residuos de L-ramnosa con cadenas laterales de azúcares neutrales. Estos polisacáridos se usan en la industria alimentaria y farmacéutica como gelificantes, espesantes y emulsificantes (García y Peña, 1995; Bayar *et al.*, 2016). Las hemicelulosas son heteropolisacáridos compuestos por xilosa, glucosa, manosa, galactosa arabinosa, fucosa y ácido 4-*o*-metilglucurónico (García y Peña, 1995) y se usan principalmente en la elaboración de papel y como fuente de energía renovable (Hoch, 2007). La celulosa es una molécula lineal de β -1,4-glucanas (García y Peña, 1995). Este compuesto no se aprovecha directamente en la industria; sin embargo, sus derivados como la carboximetilcelulosa se usan como espesantes en la industria alimentaria (Habibi *et al.*, 2009). La lignina no se clasifica como polisacárido, pero es parte de la fibra dietética. En nopalitos de *Opuntia* está ausente en el tejido (Álvarez y Peña-Valdivia, 2009; López-Palacios *et al.*, 2012).

Keywords: Soluble fiber, loosely bound hemicelluloses, mucilage, *Nopalea cochenillifera*.

INTRODUCTION

Dietary fiber is a group of substances that pass through the intestine without undergoing alterations and are associated with benefits to human health such as reduction in the content or digestibility of macronutrients of natural or processed foods, in addition to having a hypolipidemic, hypoglycemic and hypocholesterolemic effect (Brownlee *et al.*, 2017). The chemical composition, location in the cell wall and solubility of these macromolecules are criteria to differentiate them into soluble (pectins, mucilages and some types of hemicelluloses) and insoluble dietary fiber (cellulose, hemicelluloses strongly bound to cellulose and lignin) (Zhao *et al.*, 2007).

Mucilages are located in the extracellular spaces and are synthesized from the polymerization of several monosaccharides associated with uronic acids (Bayar *et al.*, 2016). Pectins are located in the primary cell wall and in the middle lamina of the cells and are formed by long chains of α -D-(1 $\rightarrow$ 4) galacturonic acid linked to L-rhamnose residues with side chains of neutral sugars. These polysaccharides are used in the food and pharmaceutical industry as gelling agents, thickeners and emulsifiers (García and Peña, 1995, Bayar *et al.*, 2016).

Hemicelluloses are heteropolysaccharides composed of xylose, glucose, mannose, galactose arabinose, fucose and 4-*o*-methylglucuronic acid (García and Peña, 1995) and are used mainly in papermaking and as a source of renewable energy (Hoch, 2007). Cellulose is a linear molecule of β -1,4-glucans (García and Peña, 1995). This compound is not directly used in the industry; however, its derivatives such as carboxymethylcellulose are used as thickeners in the food industry (Habibi *et al.*, 2009). Lignin is not classified as a polysaccharide, but is part of dietary fiber. It is absent in the tissue of *Opuntia* nopalitos (Álvarez and Peña-Valdivia, 2009, López-Palacios *et al.*, 2012).

In the Cactaceae family, the *Nopalea* genus is considered paraphyletic with the *Opuntia* genus due to the morpho-anatomical similarities between them (Majure and Puente, 2014). There are nine *Nopalea* species of which *N. cochenillifera* (L.) Salm-

En la familia Cactaceae, el género *Nopalea* es considerado parafilético junto al género *Opuntia* debido a las similitudes morfo-anatómicas entre ambos (Majure y Puente, 2014). Hay nueve especies de *Nopalea* de las cuales *N. cochenillifera* (L.) Salm-Dyck es la de mayor interés antropocéntrico y de distribución amplia en las regiones tropicales de México (Puente-Martínez, 2006). Las plantas de *N. cochenillifera* son arborescentes, con tronco bien definido y poseen tallos modificados, aplanados, de color verde llamados cladodios de hasta 25 cm de longitud, con hojas pequeñas y caducas y espinas ausentes, flores rojas de 5.0 cm de longitud, el ovario es tuberculado con numerosas gloquidias, los estambres son exertos, rosados y los lóbulos del estigma son verdosos (Bravo, 1978; Nerd *et al.*, 1997; Reyes-Agüero y Aguirre-Rivera, 2017).

Los cladodios jóvenes (llamados nopalitos) y los brotes florales (llamados tunitas) de *N. cochenillifera* se consumen y comercializan como vegetales en la región subhúmeda de San Luis Potosí, México (Reyes-Agüero y Aguirre-Rivera, 2017). Además, en diversas partes del mundo las plantas se usan como cerco vivo y sus cladodios maduros como forraje (Alonso-Castro *et al.*, 2012; Marques *et al.*, 2013; Reyes-Agüero y Aguirre-Rivera, 2017).

Los polisacáridos estructurales de los cladodios jóvenes y de los frutos de *Opuntia* de consumo humano se han caracterizado ampliamente (Álvarez y Peña-Valdivia, 2009; Calvo-Arriaga *et al.*, 2010; Peña-Valdivia *et al.*, 2012; López-Palacios *et al.*, 2012 y 2016). En contraste, en *Nopalea* solo se ha registrado el contenido de mucílago en nopalitos producidos en un sistema hidropónico (de 5.4 a 8.3 %) (López-Palacios *et al.*, 2010) y en estudios de calidad postcosecha (20.4 %) (Nerd *et al.*, 1997). Así, el objetivo de este estudio fue extraer, purificar y cuantificar el contenido de polisacáridos estructurales (mucílagos, pectinas, hemicelulosas débilmente y fuertemente unidas a la celulosa y celulosa) y fibra dietética (soluble, insoluble y total) e identificar la presencia de lignina en brotes florales, conocidos comúnmente como tunitas, de cuatro estadios de desarrollo de *N. cochenillifera*. La hipótesis fue que los polisacáridos estructurales solubles (mucílagos, pectinas y hemicelulosas débilmente unidas) aumentan durante el desarrollo de los brotes florales.

Dyck is the one of the greatest anthropocentric interest and wide distribution in the tropical regions of Mexico (Puente-Martínez, 2006). The plants of *N. cochenillifera* are arborescent, with well defined trunk and have modified, flattened, green stems called cladodes up to 25 cm in length, with small and deciduous leaves and no thorns, red flowers of 5.0 cm long, the ovary is tuberculated with numerous glochids, the stamens are exerted, pink and the stigma lobes are greenish (Bravo, 1978, Nerd, *et al.*, 1997, Reyes-Agüero and Aguirre-Rivera, 2017).

The young cladodes (called nopalitos) and the floral buds (called tunitas) of *N. cochenillifera* are consumed and marketed as vegetables in the sub-humid region of San Luis Potosí, Mexico (Reyes-Agüero and Aguirre-Rivera, 2017). In addition, in various parts of the world, plants are used as live fences and mature cladodes as fodder (Alonso-Castro *et al.*, 2012, Marques *et al.*, 2013, Reyes-Agüero and Aguirre-Rivera, 2017).

The structural polysaccharides of the young cladodes and fruits from *Opuntia* for human consumption have been widely described (Álvarez and Peña-Valdivia, 2009, Calvo-Arriaga *et al.*, 2010, Peña-Valdivia *et al.*, 2012, López-Palacios *et al.*, 2012 and 2016). In contrast, in *Nopalea* only the mucilage content was detected in nopalitos produced using a hydroponic system (from 5.4 to 8.3 %) (López-Palacios *et al.*, 2010) and in post-harvest quality studies (20.4 %) (Nerd *et al.*, 1997). Thus, the objective of this study was to extract, purify and quantify the content of structural polysaccharides (mucilages, pectins, loosely and tightly hemicellulose bound to cellulose, and cellulose) and dietary fiber (soluble, insoluble and total) and to identify the presence of lignin in floral buds, commonly known as tunitas, from four growth stages of *N. cochenillifera*. The hypothesis was that soluble structural polysaccharides (mucilages, pectins and loosely bound hemicelluloses) increase during the development of floral buds.

MATERIALS AND METHODS

Floral buds or tunitas of *N. cochenillifera* were harvested between 06:00 and 09:00 h in the municipality of San Ciro de Acosta, San Luis Potosí, Mexico (21° 39' N, 99° 49' W, 900 masl), with climate BS₁ (h') hw (warm semi-dry with rain in summer)

MATERIALES Y MÉTODOS

Los brotes florales o tunitas de *N. cochenillifera* se cosecharon entre las 06:00 y 09:00 h en el municipio de San Ciro de Acosta, San Luis Potosí, México (21° 39' N, 99° 49' O, 900 msnm), con clima BS₁(h') hw (semiseco cálido con lluvias en verano) (García, 2004; INEGI, 2002), durante febrero de 2016. Los brotes se trasladaron en hielera al laboratorio de Ingeniería Agroindustrial de la Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media de la Universidad Autónoma de San Luis Potosí y se separaron en cuatro estadios de desarrollo (ED) de acuerdo con su longitud y características visuales de desarrollo (*i.e.* color de brácteas del perianto, antesis, etcétera) (Cuadro 1).

En los brotes se registró su peso en g (Ohaus®, NVL2101/1, EUA), se eliminaron las glóquidas, se cortaron en segmentos pequeños (cerca de 1 cm) y se congelaron a -15 °C en un congelador doméstico (Acros® AT9007T, México). Las muestras congeladas se deshidrataron durante 72 h en un liofilizador (Labconco® Freezone 2.5, EUA). La cinética de secado se realizó con presión de vacío de 280 mbar y -50 °C en el condensador. Los segmentos deshidratados se pesaron para obtener el peso seco, y se trituraron en un mortero hasta obtener un polvo fino.

La extracción, purificación y cuantificación de los polisacáridos estructurales se realizó en secuencia con el método descrito por Álvarez y Peña-Valdivia (2009) y López-Palacios *et al.* (2012). El mucílago se solubilizó en 500 mg de la harina de los brotes con 10 mL de agua destilada y colocado en baño de agua hirviendo 30 min, luego se centrifugó (Hermle Z206A, Alemania) 10 min a 1400 x g para separar el sobrenadante del residuo sólido, y la fase líquida contenía el mucílago. Al tejido sin mucílago se adicionaron 5 mL de C₂H₁₀O₅N₂ (Merk®) al 0.5 % en agua (w:v), se calentó en baño de agua 30 min y se centrifugó 5 min a 1400 x g para separar las pectinas en la fase líquida. Las hemicelulosas débilmente unidas se solubilizaron con de 5 mL de KOH (Merk®) al 5 % en agua (w:v) en el tejido sin mucílagos ni pectinas y se agitaron (826 x g) 24 h en un agitador orbital

(García, 2004; INEGI, 2002), during February 2016. They were transferred in an ice-cooler to the Agroindustrial Engineering Laboratory of the Unidad Académica Multidisciplinaria Zona Media of the Universidad Autónoma de San Luis Potosí and separated them into four growth stages (GS) according to their length and visual characteristics of development (*i.e.* color of perianth bracts, anthesis, etc.) (Table 1).

The floral bud weight in g (Ohaus®, NVL2101 / 1, USA) was recorded, glochid were eliminated, cut into small segments (about 1 cm) and frozen at -15 °C in a domestic freezer (Acros® AT9007T, Mexico). The frozen samples were dehydrated for 72 h (Labconco® Freezone 2.5, USA). The drying kinetics was carried out with a vacuum pressure of 280 mbar and at -50 °C in the condenser. The dehydrated segments were weighed to obtain dry weight, and ground them in a mortar to a fine powder.

The extraction, purification and quantification of the structural polysaccharides was carried out in sequence with the method described by Álvarez and Peña-Valdivia (2009) and López-Palacios *et al.* (2012). The mucilage was solubilized in 500 mg of buds flour with 10 mL of distilled water and placed in a boiling water bath for 30 min, then centrifuged (Hermle Z206A, Germany) for 10 min at 1400 x g to separate the supernatant from the solid residue; and the liquid phase contained the mucilage. Five milliliters of C₂H₁₀O₅N₂ (Merk®) were added to the tissue without mucilage, at 0.5 % in water (w:v), heated it in a water bath for 30 min and centrifuged for 5 min at 1400 x g to separate the pectins in the liquid phase. The loosely bound hemicelluloses were solubilized with 5 mL of 5 % KOH (Merk®) in water (w:v) in the tissue without mucilage or pectin and shaken (826 x g) for 24 h in an orbital shaker (Chincan, TS-1000, China) at room temperature. The solid phase was separated by centrifugation for 5 min at 1400 x g. Then 5 mL of 24 % KOH in water (w:v) were added to the remaining tissue and kept it in constant agitation (826 x g) for 24 h at room temperature. The tightly bound hemicelluloses were separated from the tissue by centrifugation (5 min at 1400 x g).

Cuadro 1. Longitud (cm) ($\pm$ desviación estándar) y biomasa fresca (g) ($\pm$ desviación estándar) de los brotes florales de *Nopalea cochenillifera*.

Table 1. Length (cm) ($\pm$ standard deviation) and fresh biomass (g) ($\pm$ standard deviation) of the floral buds of *Nopalea cochenillifera*.

Estadio de desarrollo (ED)	Longitud (cm)	Biomasa fresca (g)	Características
ED1	2.9 $\pm$ 0.3	5.4 $\pm$ 0.5	Brácteas del perianto de color verde de longitud menor que 1.5 cm
ED2	3.5 $\pm$ 0.3	6.9 $\pm$ 1.4	Brácteas del perianto con color rosado en un 50 % de su superficie
ED3	4.1 $\pm$ 0.3	7.8 $\pm$ 1.1	Brácteas del perianto de color rosado y de longitud mayor que 1.5 cm
ED4	4.7 $\pm$ 0.3	10.3 $\pm$ 1.7	Comienzo de la antesis

(Chincan, TS-1000, China) a temperatura ambiente. La fase sólida se separó mediante centrifugación por 5 min a 1400 x g. Al tejido restante se añadieron 5 mL de KOH al 24 % en agua (w:v) y mantenidos en agitación constante (826 x g) 24 h a temperatura ambiente. Las hemicelulosas fuertemente unidas se separaron del tejido mediante centrifugado (5 min a 1400 x g).

Cada tipo de polisacárido se extrajo tres veces consecutivas para asegurar la efectividad de remover los carbohidratos previos a la extracción del siguiente tipo de polisacárido. Para precipitar los polisacáridos se añadió etanol de 96 % a -20°C en una relación 1:4 y se mantuvieron en refrigeración 24 h a 4°C ; en el caso de las hemicelulosas se adicionó una gota de HCl concentrado. Cada polisacárido se recuperó por precipitado mediante centrifugación (1400 x g por 5 min). Los polisacáridos se purificaron con diálisis (MWCO 12-14 kDa, Spectrum Laboratories, EUA) contra agua destilada durante 72 h con cambios de agua cada 4 h para remover todos los contaminantes de peso molecular bajo. El tejido restante después de la extracción de mucílagos, pectinas y hemicelulosas constituye la celulosa cruda, la cual se purificó con lavados acuosos constantes hasta alcanzar un pH de 7. Todos los polisacáridos dializados se secaron en estufa a 70°C (Thermo Scientific, Heratherm, Alemania) y se pesaron para obtener su rendimiento. La presencia o ausencia de lignina se determinó por tinción con fluoroglucinol acuoso en el tejido identificado como celulosa. Los resultados se expresaron como $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$.

La fibra dietética soluble se determinó como la suma de mucílago, pectina y hemicelulosas débilmente unidas a la celulosa. La suma de hemicelulosas fuertemente unidas a la celulosa y celulosa constituyó la fibra alimentaria insoluble. La fibra alimentaria total se calculó con la suma de la soluble y la insoluble. El diseño experimental fue completamente al azar con cuatro tratamientos (cuatro estadios de desarrollo floral) y cuatro repeticiones por tratamiento, y la unidad experimental fue un brote floral (tunita). La normalidad se determinó con base en el análisis gráfico de residuales y la prueba Shapiro-Wilks con el programa InfoStat (Versión 2016e) (Balzarini *et al.*, 2008; Di-Rienzo *et al.*, 2011). Los datos de fibra dietética soluble, insoluble y total se transformaron con arcoseno para que cumplieran con el supuesto de normalidad. Los resultados se sometieron a ANDEVA y prueba de comparación múltiple de medias de Tukey ($p \leq 0.05$) con el software SAS System (versión 9).

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Polisacáridos estructurales

Los brotes florales contenían en promedio 7.7 % de mucílago, aunque su contenido varió entre los estadios de desarrollo ($p \leq 0.05$). Los brotes florales

Each type of polysaccharide was extracted three consecutive times to ensure the effectiveness of removing carbohydrates prior to the extraction of the next type of polysaccharide. To precipitate the polysaccharides, 96 % ethanol at -20°C was added in a 1:4 ratio, and kept them in refrigeration for 24 h at 4°C ; in the case of the hemicelluloses a drop of concentrated HCl was added. Each polysaccharide was recovered by precipitate by means of centrifugation (1400 x g for 5 min). The polysaccharides were purified with dialysis (MWCO 12-14 kDa, Spectrum Laboratories, USA) against distilled water for 72 h with water changes every 4 h to remove all low molecular weight contaminants. The remaining tissue after the extraction of mucilages, pectins and hemicelluloses constitutes raw cellulose, which was purified with constant aqueous washes until reaching a pH of 7. All the dialyzed polysaccharides were oven dried at 70°C (Thermo Scientific, Heratherm, Germany) and weighed them to obtain their yield. The presence or absence of lignin was determined by staining with aqueous fluoroglucinol the tissue identified as cellulose. The results were expressed as $\text{g } 100 \text{ g}^{-1} \text{ MS}$.

Soluble dietary fiber was determined as the sum of mucilage, pectin and hemicelluloses loosely bound to cellulose. The addition of hemicelluloses tightly bound to cellulose, and cellulose constituted the insoluble dietary fiber. Total dietary fiber was calculated as the sum of the soluble and the insoluble. The experimental design used was completely randomized with four treatments (four growth stages) and four repetitions per treatment, and the experimental unit was a floral bud (tunita). Normality was determined based on the graphical residual analysis and the Shapiro-Wilks test with the InfoStat program (Version 2016e) (Balzarini *et al.*, 2008; Di-Rienzo *et al.*, 2011). Data of soluble, insoluble and total dietary fiber were transformed with arcsine, to have them fulfill the assumption of normality. The results were subjected to ANOVA and Tukey's multiple means comparison test ($p \leq 0.05$) with the SAS System software (version 9).

RESULTS AND DISCUSSION

Structural polysaccharides

Floral buds contained on average 7.7 % mucilage, although its content varied among growth stages ($p \leq 0.05$). Floral buds showed a gradient $\text{GS2} > \text{GS1} > \text{GS3} > \text{GS4}$, in which the relative differences between GS2 and GS4 were up to 40% (Table 2).

The results obtained in mucilage were similar to those registered for nopalitos of several *Opuntia* species, with values between 6.9 and 11.7 %

mostraron un gradiente $ED2 > ED1 > ED3 > ED4$, en los cuales las diferencias relativas entre el ED2 y el ED4 fueron de hasta 40 % (Cuadro 2).

Los resultados obtenidos en mucílago fueron similares a los registrados para nopalitos de varias especies de *Opuntia*, con valores entre 6.9 y 11.7 % (López-Palacios *et al.*, 2012). Nerd *et al.* (1997) observaron 4.6 % de mucílago en nopalitos frescos de *N. cochenillifera* y registraron un aumento de hasta 20.4 % de este compuesto después de 20 d de almacenado el producto se infirió que algunas condiciones de almacenado, como la humedad relativa y la temperatura pueden propiciar este aumento. López-Palacios *et al.* (2010) en un estudio comparativo de calidad en nopalitos de *N. cochenillifera*, *O. ficus-indica* y *O. robusta* ssp. *larreyi* y con tres estadios de desarrollo observaron que el contenido relativo de este compuesto decrecía al aumentar su desarrollo (de 9.1 a 7.7 %). Este resultado fue similar a los de nuestro estudio.

El aumento de mucílago en el ED2 puede estar relacionado con el proceso de desarrollo celular. En varias especies de *Nopalea* hay canales mucilaginosos en brotes vegetativos y florales en desarrollo, lo que indica la biosíntesis de mucílago en las células jóvenes de estos tejidos (Mauseth, 1980a). Esto podría explicar el aumento de mucílago en el ED2 de los brotes florales. Durante el desarrollo, las células de los tejidos jóvenes acumulan mucílago hasta un punto máximo, lo que permite la formación de células epiteliales y la elongación celular, sin embargo, estos compuestos extracelulares se degradan parcialmente y se forman compuestos de importancia fisiológica para la planta (Mauseth, 1980b; Wakabayashi, 2000). Esto explica

(López-Palacios *et al.*, 2012). Nerd *et al.* (1997) observó 4.6 % de mucílago en nopalitos de *N. cochenillifera* y registró un aumento de hasta 20.4 % de este compuesto después de 20 d de almacenamiento del producto y inferió que las condiciones de almacenamiento, como la humedad relativa y la temperatura, podrían causar este aumento. López-Palacios *et al.* (2010) en un estudio comparativo de calidad en nopalitos de *N. cochenillifera*, *O. ficus-indica* y *O. robusta* ssp. *larreyi* y con tres etapas de crecimiento observó que el contenido relativo de este compuesto disminuyó con su desarrollo (de 9.1 a 7.7 %). Este resultado fue similar al de nuestro estudio.

El aumento de mucílago en GS2 puede estar relacionado con el proceso de desarrollo celular. En varias especies de *Nopalea* hay canales mucilaginosos en brotes vegetativos y florales en desarrollo, lo que indica la biosíntesis de mucílago en las células jóvenes de estos tejidos (Mauseth, 1980a). Esto podría explicar el aumento de mucílago en el GS2 de los brotes florales. Durante el desarrollo, las células de los tejidos jóvenes acumulan mucílago hasta un punto máximo, lo que permite la formación de células epiteliales y la elongación celular; sin embargo, estos compuestos extracelulares se degradan parcialmente y se forman compuestos de importancia fisiológica para la planta (Mauseth, 1980b; Wakabayashi, 2000). Esto explica la tendencia observada en GS2, en la que la concentración de mucílago disminuye y nos llevó a inferir que este compuesto se degradó por el proceso de antesis y la posterior formación del fruto. Sin embargo, se necesitan más estudios para evaluar los cambios en el contenido de este compuesto y otros como terpenos, flavonoides, pectinas y

Cuadro 2. Contenido de polisacáridos estructurales en brotes florales (tunitas) de *Nopalea cochenillifera* de cuatro estadios de desarrollo. **Table 2.** Content of structural polysaccharides in floral buds (tunitas) of *Nopalea cochenillifera* from four growth stages.

Polisacárido (g 100 g ⁻¹ MS)	Estadio de desarrollo				DMS [†]
	ED1	ED2	ED3	ED4	
Mucílago	7.43±0.87 ab	9.83±0.49 a	8.03±1.09 ab	5.60±1.0 b	4.04
Pectina	6.20±1.29 a	5.47±0.52 a	6.00±1.59 a	8.13±1.21 a	5.52
Hemicelulosas					
Débilmente unidas	3.13±0.27 c	15.00±1.39 a	7.37±0.35 b	5.83±0.49 bc	3.48
Fuertemente unidas	2.20±0.40 a	2.50±0.52 a	3.30±0.31 a	4.43±0.85 a	2.53
Celulosa	12.80±0.50 a	13.53±1.99 a	10.70±0.35 a	13.90±1.27 a	5.52

Medias con letras distintas en una hilera indican diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0.05$) $\pm$ error estándar. [†]DMS: Diferencia mínima significativa. ♦ Means with different letters in a row indicate significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$) $\pm$ standard error. [†]LSD: Least significant difference.

la tendencia observada a partir del ED2, en la cual decrece la concentración de mucílago y permite inferir que este compuesto se degradó por efecto del proceso de antesis y posterior formación del fruto. Más estudios serán necesarios para evaluar los cambios en el contenido de este compuesto y de otros como terpenos, flavonoides, pectinas y polisacáridos no estructurales durante la antesis y la formación del fruto.

Las características fisicoquímicas de los mucílago también pueden haber cambiado durante el desarrollo de los brotes florales. Al respecto, en un estudio realizado por Contreras-Padilla *et al.* (2016) en nopalitos de *O. ficus-indica* de 50, 100 y 150 d de madurez, se encontró que en los de 100 d de madurez producían mucílago capaces de formar fluidos más viscosos y con propiedades viscoelásticas mejores en comparación con los nopalitos de 50 y 150 d, lo que se relaciona con los cambios estructurales en estos compuestos durante el desarrollo de los cladodios. Aunque en nuestro estudio no se evaluaron los cambios fisicoquímicos de los mucílago de los brotes florales durante su desarrollo, no se descarta que pueda ocurrir un cambio estructural y composicional de este compuesto que prepare a estos tejidos para la antesis.

Durante el desarrollo floral no se observaron diferencias en el contenido de pectinas ($p > 0.05$), el cual fue de 6.4 % en promedio. El contenido de pectinas fue mayor a lo registrado en nopalitos de *Opuntia* spp. (2.1 %) (López-Palacios *et al.*, 2010) y similares a los encontrados en frutos tipo xoconostle (*O. matudae* Sheinvar) (de 2 a 8 %) (Álvarez y Peña-Valdivia, 2009). Esta divergencia entre los valores obtenidos en nuestro experimento y los reportados en otros estudios puede deberse al proceso de expansión celular en el cual ocurre un rápido incremento en la velocidad de desarrollo (Bertin *et al.*, 2009), como sucede con el desarrollo de los frutos de *Opuntia ficus-indica* (Barbera *et al.*, 1994). Los cambios rápidos en el número y volumen celular sugieren un cambio dinámico en el metabolismo de la pared celular en los primeros estadios de desarrollo del fruto (Terao *et al.*, 2013), lo cual podría presentarse en el desarrollo de los brotes florales de *N. cochenillifera*. Al respecto, Prasanna *et al.* (2007) mencionaron que las homogalacturanas presentes en las pectinas son responsables de la firmeza de muchos frutos y hortalizas, lo cual podría explicar la concentración mayor de este tipo

non-structural polysaccharides, during the anthesis and formation of the fruit.

The physicochemical characteristics of mucilages may also have changed during the development of flower buds. In this regard, in a study conducted by Contreras-Padilla *et al.* (2016) in nopalitos of *O. ficus-indica* of 50, 100 and 150 d of maturity, those of 100 d of maturity produced mucilages capable of forming more viscous fluids and with better viscoelastic properties compared to the nopalitos of 50 and 150 d, which relates to the structural changes in these compounds during the development of cladodes. Although in our study the physicochemical changes of the mucilages of floral buds during their development was not evaluated, it is not ruled out that a structural and compositional change of this compound can occur on preparing these tissues for anthesis.

During floral development, no differences were observed in pectin content ($p > 0.05$), which was 6.4 % on average. The content of pectins was higher than that registered in nopalitos of *Opuntia* spp. (2.1 %) (López-Palacios *et al.*, 2010) and similar to those found in type xoconostle (*O. matudae* Sheinvar) fruits (from 2 to 8 %) (Álvarez and Peña-Valdivia, 2009). This divergence between the values obtained in our experiment and those reported in other studies may be due to the cell expansion process characterized by a rapid increase in the speed of development (Bertin *et al.*, 2009), as is the case with the development of fruits of *Opuntia ficus-indica* (Barbera *et al.*, 1994). Rapid changes in cell number and volume suggest a dynamic change in the cell wall metabolism in the early stages of fruit development (Terao *et al.*, 2013), which could occur in the development of floral buds of *N. cochenillifera*. In this regard, Prasanna *et al.* (2007) mentioned that the homogalacturanas present in pectins are responsible for the firmness of many fruits and vegetables, which could explain the higher concentration of this type of polysaccharides in floral buds with respect to that registered in *Opuntia* nopalitos (López-Palacios *et al.*, 2012), although further studies will be necessary to prove it.

Hemicelluloses, together with celluloses, were the most abundant compound in floral buds with 38 % of the structural polysaccharides present. The floral buds of GS2 had 17.5 % more hemicelluloses, in contrast with the GS1 that presented a third of

de polisacáridos en los brotes florales con respecto a lo registrado en nopalitos de *Opuntia* (López-Palacios *et al.*, 2012), aunque serán necesarios más estudios que lo comprueben.

Las hemicelulosas, junto con las celulosas, fueron el compuesto más abundante en los brotes florales con 38 % de los polisacáridos estructurales presentes. Los brotes florales del ED2 tuvieron 17.5 % más hemicelulosas en contraste con el ED1 que presentó un tercio de este compuesto (5.3 %) ($p \leq 0.05$). Además, se observaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) en el contenido de hemicelulosas débilmente unidas entre los ED de los brotes florales, y el ED2 tuvo el contenido mayor (15 %) de este tipo de polisacáridos y el ED1 el menor (3.13 %). Pero en las hemicelulosas fuertemente unidas no hubo diferencias estadísticas entre los estadios de desarrollo con un valor promedio de 12.4 % (Cuadro 2). Estos resultados fueron similares a los encontrados en xoconostle (Álvarez y Peña-Valdivia, 2009) e inferiores a los registrados en nopalitos de *Opuntia* de diferentes variedades (López-Palacios *et al.*, 2012).

Los cambios en la estructura de la pared celular están relacionados con los que ocurren en compuestos como la pectina y las hemicelulosas débilmente unidas (De Vries *et al.*, 1986), lo cual puede explicar las divergencias observadas durante el desarrollo de los brotes florales de *N. cochenillifera* (Cuadro 2). Las células de tejidos jóvenes acumulan sustancias pépticas y hemicelulosas débilmente unidas a las celulosas (De Vries *et al.*, 1986) como sustancia de reserva de carbono en una etapa de su desarrollo, el cual es reutilizado por la célula para la biosíntesis de compuestos no estructurales (Hoch, 2007) o como producto de la elongación y expansión celular (García y Peña, 1995). Sin embargo, para especies de la familia Cactaceae no hay registros de estos cambios, pero sí en especies de las familias Fagaceae (*Fagus silvatica* L.), Pinaceae (*Pinus banksiana* Lamb. y *Picea glauca* [Moench] Voss) y Fabaceae (*Vigna radiata* [L.] R. Wilczek), en las cuales se reduce el contenido de hemicelulosas en células de madurez fisiológica de los tejidos jóvenes (Renault y Zwiazek, 1997; Botten *et al.*, 2004; Hoch, 2007). Esto permite inferir que los brotes florales de *Nopalea* probablemente acumulen hemicelulosas débilmente unidas como reserva en las primeras etapas de desarrollo (de ED1 a ED2), seguidos de un decremento (de ED2 a ED4), debidos a su degradación para la síntesis de otros compuestos de

this compound (5.3 %) ($p \leq 0.05$). In addition, significant differences were observed ($p \leq 0.05$) in the content of loosely bound hemicelluloses between the GS from floral buds, and GS2 had the highest content (15 %) of this type of polysaccharides and GS1 the lowest (3.13 %). However, in tightly bound hemicelluloses there were no statistical differences between the growth stages with an average value of 12.4 % (Table 2). These results were similar to those found in xoconostle (Álvarez and Peña-Valdivia, 2009) and lower than those recorded in *Opuntia* nopalitos of different varieties (López-Palacios *et al.*, 2012).

Changes in the cell wall structure relate to those that occur in compounds such as pectin and loosely bound hemicelluloses (De Vries *et al.*, 1986), which may explain the divergences observed during the development of the floral buds of *N. cochenillifera* (Table 2). The cells of young tissues accumulate peptic substance and loosely bound hemicellulose (De Vries *et al.*, 1986) as carbon storage substance in a stage of its development, which is reused by cells for the biosynthesis of non-structural compounds (Hoch, 2007) or as a product of cell elongation and expansion (García and Peña, 1995). However, for species of the Cactaceae family there are no records of these changes, but they do appear in species of the families Fagaceae (*Fagus silvatica* L.), Pinaceae (*Pinus banksiana* Lamb. and *Picea glauca* [Moench] Voss) and Fabaceae (*Vigna radiata* [L.] R. Wilczek), in which the content of hemicelluloses is lower in cells of physiological maturity of young tissues (Renault and Zwiazek, 1997; Botten *et al.*, 2004; Hoch, 2007). This allows to infer that *Nopalea* floral buds probably accumulate loosely bound hemicelluloses as reserves in the early stages of development (from GS1 to GS2), followed by a decrease (from GS2 to GS4) due to their degradation for the synthesis of other compounds of physiological importance for the anthesis and the formation of the fruit. Hemicelluloses tightly bound to cellulose have a structural function in cells maintaining the rigidity and structure of the cell wall during the development of tissues (Botten *et al.*, 2004), which would explain the absence of statistical differences of this polysaccharide among GS (Table 2).

Like the strongly bound pectins and hemicelluloses, cellulose remained constant during the development of floral buds ($p > 0.05$) with an

importancia fisiológica para la antesis y la formación del fruto. Las hemicelulosas fuertemente unidas a la celulosa tienen una función estructural en las células manteniendo la rigidez y la estructura de la pared celular durante el desarrollo de los tejidos (Botten *et al.*, 2004), lo cual explicaría la ausencia de diferencias estadísticas de este polisacárido entre los ED (Cuadro 2).

Al igual que las pectinas y las hemicelulosas fuertemente unidas, la celulosa se mantuvo constante durante el desarrollo de los brotes florales ($p > 0.05$) con valor promedio de 12.7 % (Cuadro 2). La celulosa fue el polisacárido estructural más abundante de los brotes florales en desarrollo ya que constituyó hasta 40 % de los polisacáridos estudiados. Es probable que durante el desarrollo de los brotes florales no se modificaron los grados de polimerización de las celulosas (García y Peña, 1995), lo cual explicaría la ausencia de diferencias significativas. La celulosa también se ha relacionado con ciertas sustancias pépticas de la pared celular y no se modifica durante el desarrollo de los tejidos jóvenes, mientras que las sustancias pépticas aumentan su concentración y su estructura durante el desarrollo (Phyo *et al.*, 2017). Esto tiene concordancia parcial con nuestros resultados, ya que las pectinas también fueron constantes durante el desarrollo de los brotes florales (Cuadro 2). Pero será necesario realizar estudios detallados para dilucidar la función de compuestos como los mucílagos en el desarrollo de los tejidos en *N. cochenillifera* y su relación con las celulosas.

La lignina no es un polisacárido, pero es un componente presente en la fibra dietética (Zhao *et al.*, 2007). En nuestro estudio se confirmó la ausencia de este compuesto en los cuatro estadios de desarrollo de los brotes florales de *Nopalea*, similar a lo observado en nopalitos de *Opuntia* (López-Palacios *et al.*, 2012). Las auxinas pueden inhibir la biosíntesis de esta macromolécula fenólica en la morfogénesis de órganos florales (Rogers y Campbell, 2004), lo que explicaría su ausencia en los brotes florales, pero serán necesarios más estudios para probar que las auxinas inhiben la presencia de lignina en brotes florales de *Nopalea*.

Fibra dietética

El contenido de fibra dietética total mostró un gradiente $ED1 < ED3 < ED4 < ED2$ ($p \leq 0.05$). Así,

average value of 12.7 % (Table 2). Cellulose was the most abundant structural polysaccharide of floral buds in development, making up 40 % of the polysaccharides studied. It is likely that during the development of floral buds the polymerization degrees of celluloses did not change (García and Peña, 1995), which would explain the absence of significant differences. Cellulose has also been related to certain peptic substances of the cell wall and is not modified during the development of young tissues, while peptic substances increase their concentration and structure during development (Phyo *et al.*, 2017). This partially agrees with our results, since pectins were also constant during the development of floral buds (Table 2). Further studies are necessary to elucidate the role of compounds such as mucilages in the development of tissues in *N. cochenillifera* and its relationship with celluloses.

Although lignin is not a polysaccharide, it is actually a component present in dietary fiber (Zhao *et al.*, 2007). In our study, the absence of this compound was confirmed in the four growth stages of the *Nopalea* floral buds, similar to that observed in *Opuntia* nopalitos (López-Palacios *et al.*, 2012). Auxins can inhibit the biosynthesis of this phenolic macromolecule in the morphogenesis of floral organs (Rogers and Campbell, 2004), which would explain its absence in floral buds, but further studies will be needed to prove that auxins inhibit the presence of lignin in *Nopalea* floral buds.

Dietary fiber

The total dietary fiber content showed a gradient $GS1 < GS3 < GS4 < GS2$ ($p \leq 0.05$). Thus, GS2 had the highest concentration of fiber with 46.3 %, while GS1 represented a sixth part (31.8 %) (Table 3). The values observed were similar to those registered for xoconostle (20-34 %) (Álvarez and Peña-Valdivia, 2009).

The soluble fiber showed variations among the GS ($p \leq 0.05$). The GS2 presented the highest soluble fiber content (30 %) in contrast with GS1 (17 %), and the insoluble fiber content was on average 16 % among the four GS, without significant differences ($p > 0.05$) (Table 3).

In different plant structures there is an inversely proportional gradient between the soluble and insoluble compounds of the cell wall (Wakabayashi *et*

el ED2 tuvo la concentración mayor de fibra con 46.3 %, mientras que el ED1 representó una sexta parte (31.8 %) (Cuadro 3). Los valores observados fueron similares a los registrados para xoconostle (20 – 34 %) (Álvarez y Peña-Valdivia, 2009).

La fibra soluble presentó variaciones entre los diferentes ED ($p \leq 0.05$). El ED2 tuvo el contenido de fibra soluble mayor (30 %) en contraste con el ED1 (17 %), y el contenido de fibra insoluble fue en promedio de 16 % entre los cuatro ED, sin diferencias significativas ($p > 0.05$) (Cuadro 3).

En diversas estructuras vegetales hay un gradiente inversamente proporcional entre los compuestos solubles e insolubles de la pared celular (Wakabayashi *et al.*, 2000), en nuestro estudio la fibra insoluble se mantuvo estable durante el desarrollo del brote floral. Al respecto, en flores de *Solanum lycopersicum* L. los componentes hemicelulósicos y celulósicos se mantienen estables en los periodos pre-antesis (Terao *et al.*, 2013). Esto concuerda con nuestros resultados, ya que no hubo diferencias significativas ($p > 0.05$) en hemicelulosas fuertemente unidas ni en las celulosas durante el desarrollo de los brotes florales de *N. cochenillifera* (Cuadro 2), aunque es posible que los cambios más evidentes en fibra insoluble ocurran post-antesis durante la formación del fruto.

Los cambios observados en el contenido de fibra soluble pueden ser efecto del proceso de desarrollo y formación de los brotes florales en preparación para la antesis y al incremento de tamaño de las estructuras florales. El decremento observado en el contenido de fibra de los brotes florales a partir del ED2 (Cuadro 3) se puede relacionar con el aumento de

al., 2000); in our study, the insoluble fiber remained stable during the development of the floral bud. In this respect, in flowers of *Solanum lycopersicum* L. the hemicellulosic and cellulose components remain stable in the pre-anthesis periods (Terao *et al.*, 2013). This agrees with our results, since there were no significant differences ($p > 0.05$) in strongly bound hemicelluloses nor in celluloses during the development of *N. cochenillifera* floral buds (Table 2), although it is possible that the most evident changes in insoluble fiber occur post-anthesis during the formation of the fruit.

The changes observed in the soluble fiber content can be an effect of the process of development and formation of floral buds in preparation for the anthesis and increase in size of floral structures. The decrease observed in the fiber content of floral buds from GS2 (Table 3) can be related to the increase in the parenchyma/collenchyme ratio and the decrease in mucilage content during development (Rodríguez-Félix and Cantwell, 1988). In fact, mucilage content was also reduced from GS2 (Table 2), which agrees with the report released by the authors cited. In nopalitos of *Opuntia* spp. and *N. cochenillifera* grown in hydroponics similar trends were observed in the content of neutral detergent fiber (Ramírez-Tobías *et al.*, 2006) and mucilage (López-Palacios *et al.*, 2010). This leads us to conclude that during the development of floral buds of *N. cochenillifera* the composition of the cell wall is modified by the same physiological and biochemical pathways, independent of the type of organ, and its composition depends on its maturity.

Cuadro 3. Contenido de fibra dietética en brotes florales (tunitas) de *Nopalea cochenillifera* de cuatro estadios de desarrollo.

Table 3. Dietary fiber content in floral buds (tunitas) of *Nopalea cochenillifera* in four growth stages.

Estadio de desarrollo (ED)	Fibra dietética (g 100 g ⁻¹ MS)		
	Soluble	Insoluble	Total
ED1	16.77 ± 1.93 b	15.00 ± 0.75 a	31.77 ± 1.68 b
ED2	30.30 ± 1.46 a	16.03 ± 2.49 a	46.33 ± 3.53 a
ED3	21.47 ± 2.15 b	14.07 ± 0.20 a	35.50 ± 2.13 b
ED4	19.57 ± 0.91 b	18.33 ± 2.07 a	37.90 ± 1.24 ab
DMS [†]	7.61	7.54	10.46

Medias con letras distintas en una columna indican diferencias significativas (Tukey; $p \leq 0.05$) ± error estándar. [†]DMS: Diferencia mínima significativa. ♦ Means with different letters in a column indicate significant differences (Tukey; $p \leq 0.05$) ± standard error. [†]LSD: Least significant difference.

la proporción parénquima/colénquima y la disminución del contenido de mucílago durante el desarrollo (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988). En efecto, el contenido de mucílago también se redujo a partir del ED2 (Cuadro 2) lo cual concuerda con lo reportado por los autores citados. En nopalitos de *Opuntia* spp. y *N. cochenillifera* producidos en hidroponía se observaron tendencias similares en el contenido de fibra detergente neutro (Ramírez-Tobías *et al.*, 2006) y de mucílago (López-Palacios *et al.*, 2010). Esto permite inferir que durante el desarrollo de los brotes florales de *N. cochenillifera* la composición de la pared celular se modifica por las mismas rutas fisiológicas y bioquímicas, independiente del tipo de órgano, y su composición está en función de su madurez.

CONCLUSIONES

El contenido de mucílagos, hemicelulosas débilmente unidas y fibra dietética total y soluble aumenta en los brotes florales (tunitas) de *Nopalea cochenillifera* en el estadio de desarrollo 2 seguido de su decremento en los estadios de desarrollo 3 y 4. Esto sugiere que la planta emplea estos compuestos como reserva para la síntesis de otros compuestos relacionados con el desarrollo de los brotes florales y la antesis.

La fibra dietética insoluble, sus componentes (hemicelulosas fuertemente unidas y celulosas) y la pectina fueron compuestos estables durante el desarrollo de los brotes florales (tunitas) de *Nopalea cochenillifera*.

Agradecimientos

Los autores agradecen al Programa para el Desarrollo Profesional Docente (DSA/103.5/16/10419) por el financiamiento del presente estudio.

LITERATURA CITADA

- Alonso-Castro, A. J., J. J. Maldonado-Miranda, A. Zarate-Martínez, M. del R. Jacobo-Salcedo, C. Fernández-Galicia, L. A. Figueroa-Zúñiga, N. A. Ríos-Reyes, M. A. De León-Rubio, N. A. Medellín-Castillo, A. Reyes-Munguía, R. Méndez-Martínez, and C. Carranza-Álvarez. 2012. Medicinal plant used in the Huasteca Potosina, Mexico. *J. Ethnopharmacol.* 143: 292-298.
- Álvarez A., R., and C. B. Peña-Valdivia. 2009. Structural polysaccharides in xoconostle (*Opuntia matudae*) fruits with different ripening stages. *J. Prof. Assoc. Cactus.* 11: 26-44.

CONCLUSIONS

The content of mucilages, loosely bound hemicelluloses and total and soluble dietary fiber increases in floral buds (tunitas) of *Nopalea cochenillifera* in growth stage 2, followed by its decrease in growth stage 3 and 4. This suggests that the plant uses these compounds as a reserve for the synthesis of other compounds related to the development of floral buds and anthesis.

The insoluble dietary fiber, its components (bound hemicelluloses and celluloses) and pectin were stable compounds during the growth of floral buds (tunitas) of *Nopalea cochenillifera*.

—End of the English version—



- Balzarini M., G., L. Gonzales, M. Tablada, F. Casanoves, J. A. Di-Rienzo, y C. W. Robledo. 2008. Infostat. Manual del Usuario. Editorial Brujas. Córdoba, Argentina. 336 p.
- Barbera, G., P. Inglese, and T. La Mantia. 1994. Seed content and fruit characteristics in cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Miller). *Sci. Hort.* 58: 161-165.
- Bayar, N., M. Kriaa, and R. Kammoun. 2016. Extraction and characterization of three polysaccharides extracted from *Opuntia ficus-indica* cladodes. *Int. J. Biol. Macromol.* 92: 441-450.
- Bertin, N., M. Causse, B. Brunel, D. Tricon, and M. Génard. 2009. Identification of growth processes involved in QTLs for tomato fruit size and composition. *J. Exp. Bot.* 60:237-248.
- Botten, T. J., P. J. Harris, L. D. Melton, and R. H. Newman. 2004. Solid-state ¹³C-NMR spectroscopy shows that the xyloglucans in the primary cell walls of mung bean (*Vigna radiate* L.) occur in different domains: a new model for xyloglucan-cellulose interactions in the cell wall. *J. Exp. Bot.* 55: 571-583.
- Bravo H., H. 1978. Las Cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México. México, D. F. 365 p.
- Brownlee, I. A., P. I. Chater, J. P. Pearson, and M. D. Wilcox. 2017. Dietary fibre and weight loss: Where are we now? *Food Hydrocoll.* 68: 186-191.
- 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.* 12: 127-142.
- Contreras-Padilla, M., M. E. Rodríguez-García, E. Gutiérrez-Cortez, M. del C. Valderrama-Bravo, J. I. Rojas-Molina, and M. Rivera-Muñoz. 2016. Physicochemical and rheological characterization of *Opuntia ficus* mucilage at three different maturity stages of cladode. *Eur. Polym. J.* 78: 226-234.

- De-Vries, J. A., M. Hansen, J. Soderberg, P. E. Glahn, and J. K. Pedersen. 1986. Distribution of methoxyl groups in pectins. *Carbohydr. Polym.* 6: 165-176.
- Di-Rienzo, J. A., F. Casanoves, M. G. Balzarini, L. González, M. Tablada, y C. W. Robledo. 2011. InfoStat Versión 2011. Grupo InfoStat, FCA. Universidad Nacional de Córdoba, Argentina. 336 p.
- García, E. 2004. Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen. 5ª. Edición. Instituto de Geografía-UNAM. México, D.F. 90 p.
- García H., E. del R., y C. B. Peña V. 1995. La pared celular: componente fundamental de las células vegetales. Universidad Autónoma Chapingo. Texcoco, México. 96 p.
- Habibi, Y., M. Mahrouz, and M. R. Vignon. 2009. Microfibrillated cellulose from the peel of prickly pear fruits. *Food Chem.* 115: 423-429.
- Hoch, G. 2007. Cell wall hemicelluloses as mobile carbon stores in non-reproductive plant tissues. *Funct. Ecol.* 21: 823-834.
- INEGI. 2002. Síntesis de Información Geográfica del Estado de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México. 110 p.
- 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.). *Genet. Resour. Crop Evol.* 59: 1015-1026.
- López-Palacios, C., C. B. Peña-Valdivia, A. I. Rodríguez-Hernández, and J. A. Reyes-Agüero. 2016. Rheological flow behavior of structural polysaccharides edible tender cladodes of wild, semidomesticated and cultivated 'nopal' (*Opuntia*) of Mexican Highlands. *Plant Foods Hum. Nutr.* 71: 388-395.
- López-Palacios, C., J. A. Reyes-Agüero, H. M. Ramírez-Tobías, B. I. Juárez-Flores, J. R. Aguirre R., L. Yañez-Espinosa, and M. A. Ruiz-Cabrera. 2010. Nopalitos (*Opuntia* spp. and *Nopalea* sp.) attributes associated with its quality. *Ital. J. Food Sci.* 22: 423-431.
- Majure, L. C., and R. Puente. 2014. Phylogenetic relationships and morphological evolution in *Opuntia* s. str. and closely related members of tribe Opuntieae. *Succ. Plant. Res.* 8: 9-30.
- Marques de L., C., R. F. Paiva de L., G. Maciel C., Th. K. Nunes C., G. Gomes da S. C., R. Romeu da N., D. Duarte P., J. E. da Silva R., C. A. Belarmino A., Z. G. Maciel Q., and E. Nogueira N. 2013. Use and knowledge of Cactaceae in Northeastern Brazil. *J. Ethnobiol. Ethnomed.* 9: 62-73.
- Mauseth, J. D. 1980a. Release of whole cells of *Nopalea* (Cactaceae) into secretory canals. *Bot. Gaz.* 141: 15-18.
- Mauseth, J. D. 1980b. A stereological morphometric study of the ultrastructure of mucilage cells in *Opuntia polyacantha* (Cactaceae). *Bot. Gaz.* 141: 374-378.
- Nerd, A., M. Dumoutier, and Y. Mizrahi. 1997. Properties and postharvest behavior of the vegetable cactus *Nopalea cochenillifera*. *Postharvest Biol. Technol.* 10: 135-143.
- Peña-Valdivia, C. B., C. Trejo, V. B. Arroyo-Peña, A. B. Sánchez-Urdaneta, 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.
- Phyo, P., T. Wang, S. N. Kiemle, H. O'Neill, S. V. Pingali, M. Hong, and D. J. Cosgrove. 2017. Gradients in wall mechanics and polysaccharides along growing inflorescence stems. *Plant Physiol.* 175: 1593-1607.
- Prasanna, V., T. N. Prabha, and R. N. Tharanathan. 2007. Fruit ripening phenomena: an overview. *Crit. Rev. Food Sci. Nutr.* 47: 1-19.
- Puente-Martinez, R. 2006. Hummingbirds and prickly-pears: flower adaptations in the genus *Nopalea*. *Son. Quarterly.* 60:4-6.
- Ramírez-Tobías, H. M., J. A. Reyes-Agüero, J. M. Pinos-Rodríguez, y J. R. Aguirre-Rivera. 2006. Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. *Agrociencia.* 41: 619-626.
- Renault, S., and J. J. Zwiazek. 1997. Cell wall composition and elasticity of dormant and white spruce (*Picea glauca*) seedlings. *Physiol. Plant.* 101: 323-327.
- Reyes-Agüero, J. A., and J. R. Aguirre-Rivera. 2017. Description of the fruit of *Nopalea cochenillifera* (L.) Salm-Dyck sold in the traditional market of Rioverde, San Luis Potosí, Mexico. *Haseltonia.* 22: 43-45.
- Rodríguez-Félix, A., and M. Cantwell. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Foods Hum. Nutr.* 38: 83-93.
- Rogers, L. A., and M. M. Campbell. 2004. The genetic control of lignin during plant growth and development. *New Phytol.* 164: 17-30.
- Terao, A., H. Hyodo, Sh. Satoh, and H. Iwai. 2013. Changes in the distribution of cell wall polysaccharides in early fruit pericarp and ovule, from fruit set of early fruit development in tomato (*Solanum lycopersicum*). *J. Plant. Res.* 126: 719-728.
- Wakabayashi, K. 2000. Changes in cell wall polysaccharides during fruit ripening. *J. Plant. Res.* 113: 231-237.
- Wakabayashi, K., J.-P. Chun, and D. J. Huber. 2000. Extensive solubilization and depolymerization of cell wall polysaccharides during avocado (*Persea americana*) ripening involves concerted action of polygalacturonase and pectinmethylesterase. *Physiol. Plantarum.* 108: 345-352.
- Zhao, M., N. Yang, B. Yang, Y. Jiang, and G. Zhang. 2007. Structural characterization of water-soluble polysaccharides from *Opuntia monacantha* cladodes in relation to their anti-glycated activities. *Food Chem.* 105: 1480-1486.