

## El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal\*

### Nopal: semi-desert plant with applications in pharmaceuticals, food and animal nutrition

Reyna Lizeth Torres-Ponce<sup>1</sup>, Dayanira Morales-Corral<sup>1</sup>, María de Lourdes Ballinas-Casarrubias<sup>1</sup> y Guadalupe Virginia Nevárez-Moorillón<sup>1§</sup>

<sup>1</sup>Facultad de Ciencias Químicas-Universidad Autónoma de Chihuahua. Circuito Universitario s/n. Campus Universitario II. Chihuahua, Chihuahua. 31125. Tel: 52(614) 236-6000 Ext. 4248. (lizethtorresponce@yahoo.com.mx; dmorales@uach.mx; mballinas@uach.mx). <sup>§</sup>Autora para correspondencia: vnevare@uach.mx.

#### Resumen

El nopal (*Opuntia* spp.), es una cactácea que se encuentra presente en zonas áridas y semiáridas, con gran diversidad de especies y amplia distribución geográfica en México. Por su composición nutrimental, se considera un buen producto alimenticio, así como una buena opción de forraje en zonas desérticas. Se han descrito también muchas propiedades funcionales, incluyendo el contenido de fibra dietética y de pectina, que sugiere su uso como alimento funcional. Además, se han descrito propiedades medicinales, en el control de la diabetes, como antioxidante, antiviral, anticancerígeno y como anticolesterolémico, por lo que es utilizado en la medicina tradicional. Estas propiedades requieren de un estudio a mayor profundidad de la fitoquímica de la planta, así como de los mecanismos de acción involucrados en dichos usos. El presente documento presenta una reflexión sobre lo mucho que se le atribuye al nopal, y lo poco que se ha documentado científicamente sobre el mismo.

**Palabras clave:** etnomedicina, forraje, nutracéutico, hipoglicemiante.

#### Abstract

Nopal (*Opuntia* spp.) is a cactus that is present in arid and semi-arid areas with high diversity of species and wide geographic distribution in Mexico. For its nutritional composition is considered a good food product and a good choice of forage in desert areas. Many functional properties have been described, including dietary fiber and pectin, suggesting its use as functional food. In addition medicinal properties have been described, in the control of diabetes, as an antioxidant, antiviral, anticancer and anti-cholesterolemic and therefore being used in traditional medicine. These properties require a deeper study of its phytochemical properties and mechanisms of action involved in such uses. This paper presents a reflection on how much is attributed to nopal and the little that has been scientifically documented over it.

**Keywords:** ethno-medicine, forage, nutraceutical, hypoglycemic.

## Introducción

La alimentación hoy en día, ha dejado de ser un simple sistema para satisfacer nuestras necesidades de sobrevivencia y se convierte en un instrumento que garantiza nuestro bienestar y salud. Las tendencias mundiales de alimentación indican que hay un interés por el consumidor hacia los alimentos que aporten beneficios extras, adicionales a su valor nutritivo. La evolución de los hábitos nutricionales en la sociedad, ha sido muy variable a través del tiempo, pero siempre soportada con el criterio básico de mantener la salud. Cada día, los consumidores se dirigen más a la búsqueda de nuevos productos con propiedades funcionales que puedan mejorar su estado tanto físico como mental. Es por ello importante, identificar los alimentos que por muchos años se han utilizado en las sociedades indígenas, para reconocer su valor nutricional o funcional; un estudio más cercano de estos alimentos, permitirá incluso, identificar potenciales aplicaciones no sólo en la industria de los alimentos, sino en farmacia, en la industria química, en producción animal, entre otras.

El nopal se ha visto ligado a la historia de México desde sus orígenes, puesto que una gran proporción de las especies de esta planta, encuentran su origen geográfico en el país. Desde la época prehispánica, las culturas que coexistían en el territorio Mexicano utilizaban el nopal como alimento, como medicamento, en la construcción y en las artes. Su uso se continuó en la época colonial, con las aplicaciones que desde la época precolombina se tenían en uso (Mills, 1824; Anaya-Pérez, 2001).

El nopal es un recurso que tiene un alto potencial agrotecnológico, tanto como cultivo alimenticio, como elemento base para productos derivados, que se utilizan en la industria alimenticia (humana y animal), la farmacología, la medicina, y la industria agropecuaria, por mencionar algunos (Aguilar *et al.*, 2008). El nopal es una cactácea con una gran importancia agronómica a nivel nacional, ya que en México existen 3 millones de hectáreas de nopal nativo y alrededor de 233 000 hectáreas de nopal cultivado; de las cuales 150 000 ha son destinadas al consumo humano (como frutos) con una producción de 139 193 t anuales (Aguirre-Cárdenas *et al.*, 2011). Esto hace que el cultivo del nopal pueda ser rentable, sobre todo por la variedad de usos terminales que se le pueden dar.

## Introduction

Nutrition today is no longer a simple system to meet our needs for survival and becomes an instrument that ensures our wellbeing and health. Global food trends show an interest of consumer toward foods that provide extra, additional benefits to its nutritional value. The evolution of nutritional habits in society, has varied over time, but always supported on the basic criterion of maintaining health. Every day, consumers are more focus on finding new products with functional properties that can improve their physical and mental state. That is why it is important to identify foods that for many years have been used in indigenous societies, to recognize their nutritional or functional value; a closer study of these foods will allow identifying potential applications, not only in the food industry, but in pharmaceuticals, chemical industry and animal production, among others.

Nopal has been linked to the history of Mexico from its origins, since a large proportion of the species of this plant find their geographical origin in the country. Since pre-Hispanic times, cultures coexisting in the Mexican territory used nopal as food, as medicine, in construction and in arts. Its use continued in the colonial era, with applications that were in use since pre-Columbian times (Mills, 1824; Anaya-Pérez, 2001).

Nopal is a resource that has a high agro-biotechnological potential, both as a food crop, as a base element for derivative products used in food industry (human and animal), pharmacology, medicine, and agricultural industry, to mention some (Aguilar *et al.*, 2008). Nopal is a cactus with a great agronomic importance nationally, because in Mexico there are 3 million hectares of native cactus and around 233 000 hectares of cultivated cactus; of which 150 000 ha are intended for human consumption (as fruit) with a production of 139 193 tons per year (Aguirre-Cárdenas *et al.*, 2011). Nopal farming can be profitable, especially for the variety of end uses that can be given.

### The plant and its geographical distribution

*Opuntia* spp. popularly known in Mexico as nopal is a plant that belongs to cactus, which by its nature, is suitable for growth on arid and semiarid areas. Presents crassulasean acid metabolism (CAM) i.e. stomata capture CO<sub>2</sub> that

## La planta y su distribución geográfica

*Opuntia* spp., popularmente conocido en México como nopal, es una planta que pertenece a las cactáceas, que por sus características, es idónea para el desarrollo de las zonas áridas y semiáridas. Presenta el metabolismo del ácido crusaláico (MAC) es decir, las estomas captan el CO<sub>2</sub> que va a ser utilizado para la síntesis de carbohidratos durante la noche, permitiendo que la pérdida de agua sea menor debido a que ocurre en las horas más frescas del día. Por otra parte gracias a su ecofisiología: reproducción asincrónica y adaptaciones estructurales (baja densidad estomatal y cutícula gruesa), la planta es capaz de sobrevivir largos periodos de sequía. *Opuntia* también se utiliza en programas de reforestación, por su capacidad de crecimiento en suelos pobres inapropiados para otros cultivos.

Crece en medios con temperaturas extremas, y presencia de lluvias erráticas, y se adapta a las variaciones en los niveles de CO<sub>2</sub> atmosférico. Además desempeña un papel importante en el ecosistema puesto que protege la fauna silvestre. Existen alrededor de 300 especies del género; cerca de 100 de ellas existen en México y de ellas, cerca de 40% se localiza en el desierto Chihuahuense (Méndez-Llorente *et al.*, 2008).

El género *Opuntia* se encuentra distribuido desde la provincia de Alberta, en Canadá, hasta la Patagonia en Argentina; se encuentra principalmente en las zonas desérticas del sur de Estados Unidos de América, de México y de América del Sur. El nopal tunero fue llevado por los colonizadores españoles a Europa y de ahí se introdujo a diferentes partes del mundo; ahora se le encuentra en condición cultivada y silvestre en España, Portugal, Italia, Chile, Estados Unidos de América, Brasil, Argentina, Israel, Sudáfrica, Argelia, Jordania, entre otros países (Granados-Sánchez y Castañeda-Pérez, 2003).

De las más de 300 especies del género *Opuntia*, únicamente de 10 a 12 de ellas, han sido aprovechadas por el hombre. Su uso es principalmente para alimentación, tanto su fruto (tuna) como cladodio entero (penca) y cladodio picado en pequeños trozos (nopalitos); otras aplicaciones son como forraje (ganado vacuno y ovino) e industrialmente en la obtención de alcohol, colorantes (Cochinilla), jabón, pectinas y aceites. Estudios más recientes le han atribuido propiedades medicinales ya que posee efecto hipoglucemiante (Sáenz *et al.*, 2006; Aguilar *et al.*, 2008).

is going to be used for the synthesis of carbohydrates during the night, allowing water loss to be less because it occurs in the cooler hours of the day. Moreover thanks to its eco-physiology: asynchronous reproduction and structural adaptations (low stomatal density and thick cuticle), the plant is capable of surviving long periods of drought. *Opuntia* is also used in reforestation programs, for its ability to grow on poor soils unsuitable for other crops.

Grows on environments at extreme temperatures and in presence of erratic rainfall, and adapts to variations in levels of atmospheric CO<sub>2</sub>. Also plays an important role in the ecosystem since it protects wildlife. There are about 300 species of the genus; about 100 of them exist in Mexico and of these, about 40% are located in the Chihuahuan Desert (Méndez Llorente *et al.*, 2008).

The genus *Opuntia* is distributed from the province of Alberta, Canada, to Patagonia in Argentina; it is mainly found in desert areas from southern United States of America, Mexico and South America. The prickly pear was carried by Spanish colonizers to Europe and then introduced to different parts of the world; now it is found under cultivated and wild conditions in Spain, Portugal, Italy, Chile, USA, Brazil, Argentina, Israel, South Africa, Algeria, Jordan, among other countries (Granados-Sánchez and Castañeda Pérez, 2003).

Of the more than 300 species of the genus *Opuntia*, only 10-12 of them, have been exploited by man. Its use is mainly for food, both fruit (tuna) and as whole cladode (stalk) and cladodes chopped into small pieces (nopalitos); other applications are as fodder (cattle and sheep) and industrially to obtain alcohol, colorants (cochineal), soap, pectins and oils. More recent studies have attributed medicinal properties since it has hypoglycemic effect (Saenz *et al.*, 2006; Aguilar *et al.*, 2008).

Among the grown species for fruit production can be mentioned: *Opuntia ficus indica*, *O. amyclaea*, *O. xocoonstle*, *O. megacantha*, *O. streptacantha* and some wild species such as *Opuntia hyptiacantha* and *O. leucotricha*. From these, only *Opuntia ficus indica* has been cultivated in different parts of the world (Saenz *et al.*, 2006). Among the cultivated species for nopal and forage in central and northern area of Mexico can be mentioned the following: *O. ficus indica*, *O. durangensis* and *O. robusta*; from which

Entre las especies cultivadas para la producción de fruta se pueden mencionar: *Opuntia ficus indica*, *O. amyclaea*, *O. xocostle*, *O. megacantha* y *O. streptacantha*. y algunas especies silvestres, como *Opuntia hyptiacantha* y *O. leucotricha*. De éstas, solo *Opuntia ficus indica* ha sido cultivada en diferentes partes del mundo (Sáenz *et al.*, 2006). Dentro de las especies cultivables para nopal verdura y forraje en el centro y el norte de México se pueden mencionar las siguientes: *O. ficus indica*, *O. durangensis* y *O. robusta*; de las cuales *O. durangensis* es cultivada en el centro y sur del desierto de Chihuahua, mientras que *O. robusta* puede ser cultivada en todo el país principalmente por sus frutos de gran tamaño o con fines ornamentales (Griffith, 2004).

El género *Opuntia* comprende plantas bien definidas, que en el caso del nopal pueden ser rastreros o frutescentes cuando son ramificados, o arborescentes cuando los cladodios viejos toman una forma cilíndrica. El género *Opuntia* presenta hojas convertidas en espinas lo cual es un rasgo común en las cactáceas; o bien carece de ellas; pero en brotes tiernos numerosas especies presentan hojas verdaderas de vida muy corta. Por lo general las espinas son de dos tipos; unas pequeñas agrupadas en gran número (gloquideos) que comúnmente se denominan ahuates, y las grandes que son, según algunos naturistas, hojas modificadas (Feungang *et al.*, 2006). El nopal es una planta arbustiva con tronco leñoso y ramas que se forman por cladodios, estos últimos reciben el nombre de nopalitos, si son frescos, y de pencas si son adultos. La epidermis del nopal tiene dos capas, una de células verdes, llamada clorenquimia y otra capa interna que está formada por un cilindro de células blancas conocida como parénquima, dentro de estos tejidos existen células mucilaginosas que almacenan mucilago (Granados-Sánchez y Castañeda-Pérez, 2003).

Las características de las especies de *Opuntia* spp., que se explotan comercialmente, difieren en la forma de los cladodios, presencia o ausencia de espinas, en el tamaño y el color de los frutos por mencionar algunas características botánicas (Sáenz *et al.*, 2006). Se ha reportado que la fruta del nopal (tuna) se caracteriza por tener un contenido alto de azúcares (12-17%) y baja acidez (0.03 a 0.12% como ácido cítrico), aparte que puede tener mayor cantidad de vitamina C que manzanas, peras, uvas y plátanos; además es rica en potasio, calcio y fósforo; y bajo en sodio (Yahia y Mondragon, 2011). Son bayas carnosas, ovoides o periformes de 5 a 10 cm de largo y 4 - 8 cm de diámetro, con pequeñas espinas en la epidermis y pulpa jugosa de color blanco, amarillo, rojo naranja o púrpura, con numerosas semillas.

*O. durangensis* is grown in central and southern Chihuahua desert, whereas *O. robusta* can be cultivated throughout the country mainly for its large fruit or ornamental purposes (Griffith, 2004).

*Opuntia* comprises well defined plants, which in the case of nopal can be crawlers or fruity when they are branched or arborescent when old cladodes take a cylindrical shape. The genus *Opuntia* present leaves turned into thorns which are a common feature of cactus; or lacks of them; but in tender buds many species have true leaves of short-live. Usually the thorns are of two types; some small grouped in large numbers (glochid) that are commonly called ahuates, and the large are, according to some naturists, modified leaves (Feungang *et al.*, 2006). Nopal is a shrubby plant with woody trunk and branches are formed by cladodes, these are called nopalitos if fresh and pads if adults. Nopal epidermis has two layers, one of green cells, and other call collenchyma and other inner layer that is formed by a cylinder of white cells known as parenchyma, within these tissues there are mucilaginous cells that store mucilage (Granados-Sánchez and Castañeda-Pérez, 2003).

The characteristics of the species *Opuntia* spp., that are exploited commercially, differ in the form of the cladodes, presence or absence of spines, size and color of the fruit to mention some botanical characteristics (Saenz *et al.*, 2006). It has been reported that the fruit of nopal (prickly pear) is characterized for a high sugar content (12-17%) and low acidity (from 0.03 to 0.12% as citric acid), plus it can have more vitamin C than apples, pears, grapes and bananas; it is also rich in potassium, calcium and phosphorus; and low in sodium (Yahia and Mondragon, 2011). These are fleshy berries, ovoid or round of 5-10 cm long and 4-8 cm in diameter, with small spines on the skin and white, yellow, red, orange or purple juicy flesh, with many seeds.

The chemical composition of nopal on wet basis is 91% water, 0.66% protein, 0.11% fat, 5.5% carbohydrates, 1.15% cellulose and 1.58% ash (Aguilar *et al.*, 2008). *Opuntia ficus indica* is considered as a food that has high nutritional value, mainly because it contains minerals, protein, dietary fiber and phytochemicals (Feungang *et al.*, 2006; Bensadon *et al.*, 2010). Fernández-López *et al.* (2010) confirm that content and type of flavonoids present in both fruit and vegetable may directly depend on the species or the form of cultivation.

La composición química del nopal en base húmeda es de 91% agua, 0.66% proteínas, 0.11% grasas, 5.5% de carbohidratos, 1.15% celulosa y 1.58% cenizas (Aguilar *et al.*, 2008). Se considera a *Opuntia ficus indica* como un alimento que tiene alto valor nutricional, principalmente por su contenido en minerales, proteínas, fibra dietética y fitoquímicos (Feungang *et al.*, 2006; Bensadón *et al.*, 2010). Fernández- López *et al.* (2010) confirman que el contenido y el tipo de flavonoides presentes tanto en la fruta como en el vegetal, puede depender directamente de la especie o de las forma de cultivo.

*Opuntia ficus indica* es un cactus que se adapta a climas extremos y diferentes condiciones edáficas. Las regiones semiáridas de la parte central de México posee la mayor diversidad de esta especie, gracias a que el área cultivada para el consumo humano es de alrededor de 10 000 hectáreas (Bensadón *et al.*, 2010). Este tipo de cactus originarios de regiones áridas o semiáridas de México fueron introducidos al norte de África entre el siglo XVI y XIX (Nebbache *et al.*, 2009). Griffith (2004) menciona una ruta de dispersión biogeográfica de *Opuntia* spp., donde describe que del centro de México, los cactus cultivados se extendieron mediante el comercio en toda Mesoamérica y el Caribe y posiblemente también en América del Sur. El cultivo fue llevado posteriormente a Europa Mediterránea y el Norte de África por los colonizadores, finalmente seguido a las regiones áridas y semiáridas del mundo entero. Erre *et al.* (2009) reportan que la diversidad y distribución espacial de *Opuntia* spp., en las cuencas Mediterráneas fue posible debido su adaptabilidad. Estas hipótesis se apoyan en gran parte en el Codex Mendoza de la tribu Azteca, donde se encuentra descrito el cactus y como éste era empleado con fines comerciales (Griffith, 2004). El nopal es una planta rústica, que por sus características fisiológicas puede cultivarse a bajo costo; quizá por ello, las plantaciones comerciales de nopal para producir fruta y verdura han aumentado considerablemente en los estados de Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí, Guanajuato, Jalisco y Estado de México (Blanco *et al.*, 2006).

### Aplicaciones en la farmacia

El incremento en la incidencia de enfermedades crónicas como la Diabetes ha representado en los últimos años, un problema estatal, nacional y mundial. Es por ello que se ve la necesidad de desarrollar y estudiar tratamientos alternativos, que ayuden a disminuir los niveles de glucosa a nivel sanguíneo. Entre estos tratamientos se puede mencionar el uso de plantas medicinales con efecto hipoglucemiante. El nopal (*Opuntia* spp.) es la planta más comúnmente usada para el control de la glucosa, ya que tiene un alto contenido de fibra soluble y pectinas, que pueden afectar favorablemente

*Opuntia ficus indica* is a cactus that adapts to extreme climates and different soil conditions. The semi-arid regions of central Mexico have the greatest diversity of this species; thanks to the cultivated area for human consumption is around 10 000 hectares (Bensadon *et al.*, 2010). These types of cactus native from arid and semiarid regions of Mexico were introduced to North Africa between the sixteenth and nineteenth century (Nebbache *et al.*, 2009). Griffith (2004) mentions a biogeographic route of dispersal for *Opuntia* spp., which discloses that the center of Mexico, the cultivated cactus spread through trade throughout Mesoamerica and the Caribbean and possibly in South America. Then the culture was carried to Mediterranean Europe and North Africa by the colonizers, eventually followed arid and semiarid regions from the world. Erre *et al.* (2009) report that diversity and spatial distribution of *Opuntia* spp. in the Mediterranean plateau was possible because of their adaptability. These assumptions are based largely on the Codex Mendoza from the Aztec tribe, where cactus is described and how it was used for commercial purposes (Griffith, 2004). Nopal is a rustic plant, which by its physiological characteristics can be grown at low cost; perhaps for this reason, commercial plantations of nopal for fruit and vegetables have increased considerably in the states of Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosi, Guanajuato, Jalisco and Mexico State (White *et al.*, 2006).

### Applications in pharmaceuticals

The increased incidence of chronic diseases like diabetes has represented in recent years, a state, national and global problem. That is why is necessary to develop and explore alternative treatments to help reduce levels of glucose in blood level. Among these treatments can mention the use of medicinal plants with hypoglycemic effect. Nopal (*Opuntia* spp.) is the most common plant used to control glucose because it has a high content of soluble fiber and pectin, which can favorably affect glucose uptake in the intestine, therefore it is considered hypoglycemic. In animal studies, it has been reported to decrease postprandial glucose in a synergistic effect with insulin (Yeh *et al.*, 2003).

An ethnobotanical study made by interviewing diabetic patients and herbalists vendors from Mexico, confirmed that *Opuntia* spp., is traditionally used for the treatment of non-insulin dependent diabetes. The medicinal parts are the tender cladodes, from which the spines are withdrawn; then washed and cut, to eventually liquefy

la absorción de glucosa a nivel intestinal, por lo cual se le considera un hipoglucemiante. En estudios realizados en animales, reportan que decrece la glucosa postprandial en efecto sinérgico con la insulina (Yeh *et al.*, 2003).

Un estudio etnobotánico realizado entrevistando a pacientes diabéticos y vendedores herbolarios de México, confirmaron que la planta *Opuntia* spp., es utilizada tradicionalmente para el tratamiento de la diabetes no insulino dependiente. La parte medicinal son los cladodios tiernitos, a los cuales se les ha retirado las espinas; estos son posteriormente lavados y cortados, para finalmente licuarlos con agua y consumirlos antes del desayuno. El resultado es una disminución de los niveles de glucosa postprandial (Andrade-Cetto y Wiedenfeld, 2011).

El efecto hipoglicemiante de dos extractos de *Opuntia streptacantha* Lem. (el primer extracto consistía en licuar cladodios con agua y en el segundo extracto se utilizó el filtrado del licuado) se probaron en ratas inducidas a la diabetes con estreptozotocina y comparados con glibenclamida (agente hipoglicemiante estándar). Los resultados mostraron que los extractos de *Opuntia* inhibieron la glucosa a los 30 min de la ingesta de carbohidratos, mientras que el estándar tiene efecto a los 60 min. De estos resultados se argumenta que los dos extractos provocan un efecto anti-hiperglicémico, es decir que el filtrado no pierde el efecto hipoglicemiante, que es atribuido por su alto contenido de fibra y pectina, los cuales ayudan a disminuir la absorción de los carbohidratos (Andrade-Cetto y Wiedenfeld, 2011).

Los resultados de un estudio posterior, apoyan el argumento de que el efecto de los extractos de *Opuntia streptacantha* Lem. en la hidrólisis de disacáridos, podía deberse por cualquiera de las dos siguientes hipótesis: una inhibición sobre la actividad enzimática de alfa-glucosidasa o que actúa mecánicamente como una barrera a nivel intestinal. Los resultados demostraron que el efecto de la planta está exento de toda inhibición enzimática; por lo tanto, los extractos forman una barrera entre el complejo enzimático y el sustrato, reflejado en la hidrólisis y absorción (Becerra-Jiménez y Andrade-Cetto, 2012). Zhao *et al.* (2011), evaluaron el efecto antidiabético del extracto etanólico de *Opuntia dillenii* en ratones inducidos a la diabetes con estreptozotocina. El incremento de los niveles de insulina no fueron significativos, por lo que los autores se inclinan a encuadrar el mecanismo de acción dentro de un efecto anti-hiperglicémico.

Una propiedad más de los frutos de *Opuntia* spp., es la capacidad antioxidante debida a la presencia de fitoquímicos como pueden ser: carotenoides, flavonoides y otros compuestos

them with water and drink it before breakfast. The result is a decrease in postprandial glucose levels (Andrade-Cetto and Wiedenfeld, 2011).

The hypoglycemic effect of two extracts from *Opuntia streptacantha* Lem. (the first extract consisted to liquefy cladodes with water and the second extract was filtering the liquid) and tested in rats with induced diabetes with streptozotocin and compared with glyburide (standard hypoglycemic agent). The results showed that extracts of *Opuntia* inhibited glucose at 30 min of carbohydrate intake, while the standard has effect after 60 min. From these results it is argued that the two extracts cause an anti-hyperglycemic effect, i.e. that filtering does not lose the hypoglycemic effect, which is attributed to its high content of fiber and pectin, which helps decrease the absorption of carbohydrates (Andrade-Cetto and Wiedenfeld, 2011).

The results of a subsequent study support the argument that the effect of *Opuntia streptacantha* Lem extracts in the hydrolysis of disaccharides, could be caused by either of the following two hypotheses: inhibition of the enzymatic activity of alpha-glucosidase or mechanically acts as a barrier in the intestine. The results showed that the effect of the plant is exempt from any enzyme inhibition; therefore, extracts form a barrier between the enzyme complex and the substrate, resulting in the hydrolysis and absorption (Becerra-Jiménez and Andrade-Cetto, 2012). Zhao *et al.* (2011) assessed the anti-diabetic effect of ethanol extract of *Opuntia dillenii* on rats induced to diabetes with streptozotocin. Increased insulin levels were not significant, so the authors are inclined to frame the mechanism of action in an anti-hyperglycemic effect.

Another property of the fruits of *Opuntia* spp., is the antioxidant capacity due to the presence of phytochemicals such as: carotenoids, flavonoids and other phenolic compounds, vitamin C and E, or some enzymes as part of the antioxidant defense system (Yahia and Mondragón, 2011; Fernández-López *et al.*, 2010). Yahia and Mondragón (2011) studied the antioxidant capacity of 10 different species of tunas, reporting the presence of compounds like betalains, carotenoids, B-carotene, ascorbic acid, among other phenolic compounds; among these, there were no differences between the antioxidant capacities regardless of the agreement that the active compounds vary. It has also been shown that fruit of red peel contains taurine (7.7 to 11.7 mg/100g of fresh fruit). The fruit of *O.*

fenólicos, vitamina C y E, o algunas enzimas como parte del sistema antioxidante de defensa (Yahia y Mondragón, 2011; Fernández- López *et al.*, 2010). Yahia y Mondragón (2011) estudiaron la capacidad antioxidante de 10 diferentes especies de tunas, reportando la presencia de compuestos como betalainas, carotenoides, B-caroteno, ácido ascórbico, entre otros compuestos fenólicos; entre las especies estudiadas no se reporta diferencia entre la capacidad antioxidante independientemente de que la concertación de los compuestos activos varíe. También se ha demostrado que la fruta de cáscara rojo contiene taurina (7.7 a 11.7 mg/100 g de fruta fresca). La fruta de *O. ficus indica* estudiada en el mencionado proyecto, provenía de un cultivo de la región de Sicilia; sin embargo, los niveles de Taurina de esta muestra son más bajos que cultivos procedentes de América y África. Este compuesto es utilizado últimamente como suplemento o ingrediente en bebidas energizantes (Fernández- López *et al.*, 2010).

Por otro lado, la combinación de fibra dietética asociada a los fitoquímicos descritos en el nopal, en conjunto con sus propiedades nutraceuticas, hacen que el nopal pueda usarse como suplemento dietético y/o como ingrediente alimenticio. En años recientes, se inició la comercialización de fibra deshidratada de nopal como auxiliar en trastornos digestivos. La pulpa deshidratada del nopal constituye un material fibroso, cuya función medicinal se basa, como cualquier otra fibra natural, en favorecer el proceso digestivo, reduciendo el riesgo de problemas gastrointestinales y ayudando en los tratamientos contra la obesidad. Adicionalmente, la fibra disminuye el nivel de lipoproteínas de baja densidad, y disminuye el colesterol en la sangre al interferir en la absorción de grasas que realizan los intestinos (Bensadón *et al.*, 2010).

Existen también numerosos reportes sobre la presencia de compuestos fenólicos en el nopal y sus frutos (tuna), que han mostrado tener capacidades antioxidantes, anticarcinogénicas y antivirales, entre otras propiedades. En especial del fruto (tuna), se conocen variedades con una gran diversidad de colores, debido a la presencia de carotenoides y polifenoles, que pueden tener un efecto positivo sobre la salud (Feungang *et al.*, 2006).

### Aplicaciones en alimentos

El nopal (*Opuntia* spp.) es un alimento tradicional en la dieta del Mexicano, frecuentemente consumido como vegetal en ensaladas, y el fruto (tuna) es consumido como fruta fresca. La ingesta diaria por mexicano de este cactus es de 10 a 17 g/persona/día (Bensadón *et al.*, 2010).

*ficus indica* in that project came from a crop of the Sicilian region; however, Taurine levels in this sample are lower than crops from America and Africa. This compound is used lately as a supplement or ingredient in energy drinks (Fernandez-Lopez *et al.*, 2010).

Furthermore, the combination of dietary fiber associated to the phytochemicals described in nopal, along with their nutraceutical properties allow nopal to be used as a dietary supplement and as a food ingredient. In recent years, the commercialization of dried nopal fiber as auxiliary in digestive disorders started. The dried pulp of nopal is a fibrous material whose medicinal function is based, like any other natural fiber, in favoring the digestive process, reducing the risk of gastrointestinal problems and helping in treatments against obesity. Additionally, the fiber decreases the level of low density lipoproteins, and lowers cholesterol in the blood by interfering with the absorption of fats that perform the intestines (Bensadón *et al.*, 2010).

There are also numerous reports on the presence of phenolic compounds in nopal and its fruit (tuna), which have shown to have antioxidant, anti-carcinogenic and antiviral capabilities, among other properties. Particularly from the fruit (tuna), are known varieties with a wide range of colors, due to the presence of carotenoids and polyphenols, which may have a positive effect on health (Feungang *et al.*, 2006).

### Food applications

Nopal (*Opuntia* spp.) is a traditional food in Mexican diet, often eaten as vegetable in salads and the fruit (tuna) is consumed as fresh fruit. The daily intake per Mexican of this cactus is 10-17 g/person/day (Bensadon *et al.*, 2010).

Nopal does not constitute a complete food by itself; its chemical composition shows a high water content, which is on the order of 90-95% depending on the growth stage of the cladode and hydration state of plant. Protein content (7-18% dry weight) and lipids (1.3-3% dry weight) is common in fresh vegetables (Rodríguez-Felix and Cantwell, 1988). Nutrient content and proportion of it changes with age of cladode, observing a decrease in lipids and soluble fiber as well as an increase in soluble fiber content.

Among the minerals that contains, the main are calcium and potassium along with magnesium, silica, sodium, and small amounts of iron, aluminum, and magnesium among

Los nopales no constituyen en si un alimento completo; su composición química muestra un alto contenido de agua, que esta en el orden de 90 - 95%, dependiendo del estadio de crecimiento del cladodio y del estado de hidratación de la planta. Su contenido de proteínas (7-18% peso seco) y de lípidos (1.3-3% peso seco) es común en vegetales frescos (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988). El contenido de nutrientes y la proporción de los mismos, se modifica también con la edad del cladodio, observándose una disminución de lípidos y en la fibra soluble, así como un aumento en el contenido de fibra soluble.

Entre los minerales que contiene, los principales son el calcio y el potasio además de magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de hierro, aluminio, y magnesio entre algunos otros. La proporción de minerales también cambia con la edad del cladodio (Hernández-Urbinola *et al.*, 2010). El nopal contiene también, en varias proporciones, diferentes glúcidos o carbohidratos y componentes nitrogenados. Su contenido de fibra cruda está en 12-18% de peso seco, propiedad que le ha permitido posicionarse como una buena fuente de fibra dietética (Rodríguez-Félix y Cantwell, 1988; Osorio-Córdoba *et al.*, 2011):

Los nopalitos (*Opuntia* spp. cladodios) también conocidos como nopal verdura, son consumidos tradicionalmente en México, pero también se han empezado a consumir en comunidades de los Estados Unidos de América, Canadá, Japón, Italia y Turquía debido a su bajo valor calórico, alto contenido en fibra y propiedades nutricionales y funcionales (Osorio-Córdoba *et al.*, 2011). Sin embargo, debido a su alto contenido de humedad, el nopal verdura tiene una corta vida en anaquel, por lo que se han evaluado y propuesto diversas tecnologías de preservación. El uso de atmósferas modificadas, con embalajes que permiten una atmósfera activa y control de humedad, han demostrado ser de las mejores estrategias para conservar los nopales o nopalitos frescos por mayor tiempo (Guevara-Arauz *et al.*, 2006; Osorio-Córdoba *et al.*, 2011).

Tomando en cuenta el grado de madurez del nopal, se pueden desarrollar aplicaciones como aditivos naturales para la industria alimentaria a partir del mucilago del nopal, ya que obtienen espesantes, reemplazantes de grasas, estabilizadores de emulsiones, películas comestibles y recubrimientos para alargar la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados (Aguirre-Cárdenas *et al.*, 2011).

Debido a la corta vida de anaquel del nopal fresco, se han desarrollado también algunas estrategias de preservación de los componentes del mismo, siendo el de mayor aplicación, el

some others. The proportions of minerals also change with cladode age (Hernández-Urbinola *et al.*, 2010). Nopal also contains, in various proportions, different sugars or carbohydrates and nitrogenous compounds. Its crude fiber content is 12-18% dry weight property that has allowed to position as a good source of dietary fiber (Rodríguez-Félix and Cantwell, 1988; Osorio Córdoba *et al.*, 2011).

The nopalitos (*Opuntia* spp. cladodes) also known as nopal verdura, are traditionally consumed in Mexico, but also have started to use them in communities across the United States, Canada, Japan, Italy and Turkey due to its low calorific value, high in fiber and nutritional and functional properties (Osorio-Córdoba *et al.*, 2011). However, due to its high moisture content, nopal verdura has a short shelf life, so it has been evaluated and proposed different preservation technologies. The use of modified atmosphere, with packages that enable an active atmosphere and humidity control, have proven to be the best strategies to conserve fresh the nopales or nopalitos for longer (Arauz Guevara *et al.*, 2006; Osorio-Córdoba *et al.*, 2011).

Taking into consideration the degree of maturity of nopal, different applications can be developed like, natural additives for food industry from cactus mucilage, since thickening agents, fat replacers, emulsion stabilizers, edible films and coatings are obtained to extend shelf life and improve the quality of fresh, frozen and processed foods (Aguirre-Cárdenas *et al.*, 2011).

Due to the short shelf life of fresh nopal, have been developed some strategies to preserve the components of it, being the one with more application, dehydrated nopal powder (Contreras-Padilla *et al.*, 2012). The product is prepared after selection, cutting, drying and milling of nopal pads, resulting in a fine powder of light green, low humidity, ready for consumption, with a long shelf life. Thus, facilitating its handling and retain the functional properties of interest. Few foods have high levels of potassium, so nopal powder is a good source of this mineral in the diet. Its low sodium content is especially important for this application (Sáenz, 1997).

It is well known the relationship between fiber intake and controlling cholesterol levels and disease prevention such as obesity and diabetes. The dehydrated nopal powder is a good source of dietary fiber, both soluble and insoluble.



nopal deshidratado en polvo (Contreras-Padilla *et al.*, 2012). El producto se prepara después de la selección, cortado, deshidratación y molienda de las pencas de nopal, resultando un polvo fino de color verde claro, bajo en humedad, listo para su consumo, con una amplia vida en anaquel. Así, se facilita su manejo y conservan las propiedades funcionales de interés. Pocos alimentos presentan altos niveles de potasio, por lo que el nopal en polvo es una buena fuente de este mineral para la dieta. Su bajo contenido de sodio es especialmente importante para esta aplicación (Sáenz, 1997).

Es bien conocida la relación que existe entre el consumo de fibra y el control de los niveles de colesterol y la prevención de enfermedades como la obesidad y la diabetes. El nopal deshidratado en polvo es una buena fuente de fibra dietética, tanto soluble como insoluble. La fibra soluble está compuesta por mucilagos, gomas, pectina y hemicelulosa. En contraste, la fibra insoluble está compuesta de celulosa, lignina y una mayor fracción de la hemicelulosa (Saenz, 1997).

### Aplicaciones en nutrición animal

El uso de *Opuntia* spp. como forraje de ganado se ha extendido en países como México, Brasil, Túnez, Sudáfrica, Algeria, Marruecos, Líbano entre otros. Se estima que hay alrededor de 900 000 hectáreas cultivadas, con ca de 370 000 en Brasil y 230 000 en México (Nobel *et al.*, 1992; Le Houérou, 1994). Las más utilizadas en México para forraje son: *O. robusta*, *O. cantabrigiensis*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri* y *O. phaeacantha*. *Opuntia* es muy adecuada como alimento, por su eficacia al convertir el agua en materia seca, es decir, en energía digerible (Nobel, 1995). Esta aplicación no es reciente, *Opuntia* ha desempeñado un papel muy importante para satisfacer la demanda de forraje en las regiones semi-áridas desde hace muchos años (Reyes-Alguero *et al.*, 2005; Felker *et al.*, 2006).

En general las cactáceas tienen un sistema fotosintético especializado que permite una producción más eficiente por unidad de materia seca y unidad de agua consumida; mayor a la que presentan pastos y leguminosas (Nobel, 1988). La mayor parte de los estudios aplicados a forraje se han realizado con *O. ficus-indica*, donde se reportan productividades de hasta 50 toneladas anuales de materia seca por hectárea (Nobel 1988; Nobel *et al.*, 1992). Existen reportes de la especie *O. amychlaea*, que presenta alta productividad de biomasa, de hasta 45 toneladas de materia seca/ha/año en condiciones de bajo riego. Estas productividades son superiores a los cultivos más productivos, como los C<sub>3</sub> y C<sub>4</sub> en alrededor 40 t/ha/año (Nobel, 2001).

Soluble fiber is composed of mucilages, gums, pectin and hemicellulose. In contrast, insoluble fiber is composed of cellulose, lignin and a larger fraction of hemicellulose (Saenz, 1997).

### Applications in animal nutrition

The use of *Opuntia* spp. as cattle fodder has spread in countries like Mexico, Brazil, Tunisia, South Africa, Algeria, Morocco, Lebanon and others. It is estimated that there are about 900,000 hectares cultivated with cactus, 370 000 in Brazil and 230 000 in Mexico (Nobel *et al.*, 1992; Le Houérou, 1994). The most used for fodder in Mexico are: *O. robusta*, *O. cantabrigiensis*, *O. rastrera*, *O. lindheimeri* and *O. phaeacantha*. *Opuntia* is very suitable as food for its efficiency in converting water into dry matter, i.e. in digestible energy (Nobel, 1995). This application is not recent; *Opuntia* has played a very important role in meeting the demand of fodder in semi-arid regions for many years (Reyes-Alguero *et al.*, 2005; Felker *et al.*, 2006).

Overall cacti have a specialized photosynthetic system that allows a more efficient production per unit of dry matter and unit of water consumed; greater than that presented by grasses and legumes (Nobel, 1988). Most of the studies applied to forage were carried out using *O. ficus-indica*, reporting productivities of up to 50 tonnes a year of dry matter per hectare (Nobel 1988; Nobel *et al.*, 1992). There are reports of *O. amychlaea*, which has high biomass productivity of up to 45 tonnes of dry matter/ha/year under irrigation conditions. These productivities are higher than most productive crops like C<sub>3</sub> and C<sub>4</sub> of around 40 t ha<sup>-1</sup> / year (Nobel, 2001).

One of the desired characteristics for development of *Opuntia* in arid regions far from Ecuador is tolerance to cold during winter, since most species present irreversible damage from - 5 °C (Aguilar and Peña, 2006). It has been reported that the most used species in the north are *O. engelmannii* and *O. lindheimeri* for their ability to withstand cold temperatures (Flores and Reveles, 2010). These have thorns and must be processed before consumption. In Mexico, there are wild specimens of *O. robusta* that present types with and without thorns. However, smooth pads are susceptible to the attack of regional fauna. Since early sixties, studies on species hybridization led by the Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) aimed to select individuals tolerant to low temperatures

Una de las características deseadas para el desarrollo de *Opuntia* en las regiones áridas lejos del Ecuador, es la tolerancia al frío en época invernal, puesto que la mayoría de las especies presentan daño irreversible a partir de  $-5\text{ }^{\circ}\text{C}$  (Aguilar y Peña, 2006). Se encuentra reportado que las más utilizadas en el norte del país son las especies *O. engelmanni* y *O. lindheimeri* por su capacidad en soportar temperaturas frías (Flores y Reveles, 2010). Estas tienen espinas y deben ser procesadas antes de ser consumidas. En México, existen ejemplares silvestres de *O. robusta*, que presenta tipos con y sin espinas. Sin embargo, las pencas lisas son susceptibles al ataque de la fauna regional. Desde inicios de la década de los sesenta, los estudios sobre hibridación de especies dirigidos por la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) tuvieron como objetivo el seleccionar individuos tolerantes a las bajas temperaturas de las regiones semiáridas del norte de México. Los clones obtenidos de esos primeros ensayos fueron introducidos al sur de los Estados Unidos de América, utilizando a *O. lindheimeri* con espinas y a *O. ellisiana* quienes presentan tolerancia a temperaturas de  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (López-García *et al.*, 2001).

Actualmente se tienen híbridos de *Opuntia ficus-indica* y las otras dos especies enunciadas, las cuales están en fase de propagación (Felker y Inglese, 2003). En la producción de forraje se considera el uso total de cladodios, por lo que es importante tener capacidad de producir gran cantidad de ellos, con la posibilidad de recuperación por la poda. Estas características están determinadas principalmente por el genotipo de la planta. Dado que la producción de forraje involucra el uso total o parcial de la estructura vegetativa, la capacidad de producir nuevos cladodios y de recuperarse rápidamente después de la poda, son características de mayor importancia en los programas de mejoramiento. Para promover la producción de biomasa, es preferible identificar y establecer variedades con cladodios de tamaño mediano para incrementar las densidades de plantación.

La tolerancia a las heladas y la aclimatación se logra por los cambios sistemáticos de la biología de célula de un tejido. Las alteraciones mejor estudiadas son las que afectan a la composición de lípidos de las biomembranas con respecto al mantenimiento de su fluidez, la síntesis y la acumulación de solutos compatibles, la síntesis de proteínas de aclimatación fría en el metabolismo de carbohidratos y el potencial radicular. Se han logrado avances recientes en la determinación de la naturaleza y de la función de genes con papeles en tolerancia de congelación y de los mecanismos

from the semi-arid regions of northern Mexico. The clones obtained from these first trials were introduced to southern of United States, using *O. lindheimeri* with thorns and *O. ellisiana* which is tolerant to temperatures of  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  (López-García *et al.*, 2001).

Currently there are hybrids of *Opuntia ficus-indica* and the tovevo other species mentioned above, which are in propagation (Felker and Inglese, 2003). In forage production is considered full use of pads, so it is important to be able to produce large amounts of them, with the possibility of recovery by pruning. These characteristics are determined primarily by genotype; since forage production involves the total or partial use of vegetative structure; the ability to produce new cladodes and to recover quickly after pruning, are the most important characteristic for breeding programs. To promote the production of biomass, it is preferable to identify and establish varieties with medium sized cladodes to increase planting densities.

Tolerance to frost and acclimation is achieved through systematic changes in cell biology of tissue. The best studied alterations are those that affect lipid composition of bio-membranes regarding to maintenance of its fluidity, the synthesis and accumulation of compatible solutes, protein synthesis of cold acclimation in carbohydrate metabolism and root potential. Recent advances have been made in determining the nature and function of genes with roles in freezing tolerance and genetic mechanisms involved in genetic regulation of low temperature and transduction. These studies have potential, since freezing temperatures are a major factor limiting geographical location to grow cactus, which has proven to be an alternative to feed cattle (Nobel, 2001).

It has been reported proximate composition of numerous species of nopal used as fodder. The proportions of nutrients in dry basis change with species, crop, cloning, environmental conditions, soil and cropping techniques, among other variables. Dry matter ranges are between 10-14%, crude protein 4-6.4%; fiber as neutral detergent 25-35%, fiber as acid detergent 17-23%, total carbohydrates 75-87%, non-fibrous carbohydrates 50-61% and mineral matter 6-18% (Cavalcante *et al.*, 2007). Notably water content ranges from 84-93% (López-García *et al.*, 2001) so the consumption as fresh food can contribute up to 35% of water demand from cattle under conditions that are not of extreme drought. Furthermore, nopal present other chemicals that can be beneficial to animal health fed

implicados en la regulación genética de la baja temperatura y la transducción. Estos estudios tienen un sentido práctico potencial pues las temperaturas de congelación son un factor principal que limita las localizaciones geográficas del cultivo del nopal que se ha demostrado es una alternativa para la alimentación del ganado (Nobel, 2001).

Se ha reportado la composición proximal de numerosas especies de nopal usadas como forraje. Las proporciones de los nutrientes en base seca, cambian con las especies, el cultivo, clona, condiciones ambientales, suelo y técnicas de cultivo, entre otras variables. Los rangos de materia seca se encuentran entre 10-14%, de proteína bruta de 4 a 6.4 %; de fibra como detergente neutro del 25-35%, de fibra como detergente ácido de 17-23%, de carbohidratos totales del 75-87%, de carbohidratos no fibrosos de 50-61% y materia mineral del 6-18% (Cavalcante *et al.*, 2007). Cabe resaltar que el contenido de agua oscila entre 84 a 93% (López-García *et al.*, 2001), por lo que el consumo del alimento en fresco puede aportar hasta 35% de la demanda de agua del ganado bovino en condiciones que no sean de sequía extrema. Por otro lado, el nopal presenta otros compuestos químicos que pueden ser benéficos en la salud de los animales alimentados con el mismo. Entre ellas se encuentran las pectinas. El nopal es rico en sustancias pécticas las cuales presentan un efecto hipocolesterolemico (Ben-Salem *et al.*, 1996).

Para alimentación animal, los cladodios presentan altos contenidos de carbohidratos solubles, calcio y beta-caroteno. Sin embargo, este material presenta bajo contenido en fibra y proteína cruda (PC). A pesar de esto, se considera como una fuente de alimento que no se encuentra balanceada por lo que debe enriquecerse, sobre todo para la preparación de concentrados (Oliveira, 2001; Araujo *et al.*, 2005). La PC oscila entre los 25-60 g/kg de materia seca. Aunque es posible encontrar contenidos mayores en el material con espinas. La fertilización basada en la aplicación de compuestos nitrogenados puede ser una alternativa para aumentar el contenido de PC. González (1989) reportó que el contenido de PC en el cactus fertilizado fue cerca del doble. Sin embargo, el contenido de proteína en el alimento es un factor clave para la digestión de los rumiantes. Parte del nitrógeno consumido se transforma en amoníaco en el rumen, que es utilizado por la microbiota para producir proteínas microbianas. Del mismo modo, es importante también la absorción de proteínas de calidad en la dieta, de tal forma que sea posible que los aminoácidos se absorban en el intestino pequeño y el animal tenga un mayor rendimiento (Oliveira, 2001). Por tanto es necesario encontrar formas de enriquecer el alimento en proteína de calidad.

therewith. These include pectins. Nopal is rich in pectic substances that present a hypocholesterolemic effect (Ben Salem *et al.*, 1996).

For animal feeding cladodes must have high content of soluble carbohydrates, calcium and beta-carotene. However, this material has low fiber and crude protein (CP) content. Despite this, it is considered as a food source that is not balanced so it should be enriched, especially for the preparation of concentrates (Oliveira, 2001; Araujo *et al.*, 2005). CP ranges from 25 to 60 g/kg of dry matter; although it is possible to find higher content in material with thorns. Fertilization based on the application of nitrogenous compounds can be an alternative to increase the content of CP. González (1989) reported that CP content in fertilized cactus was close to double. However, protein content in food is a key factor for ruminant digestion. Part of consumed nitrogen is converted into ammonia in the rumen, which is used by the microbiota to produce microbial protein. Similarly, protein absorption of good quality is important in the diet; so it is possible that amino acids are absorbed in the small intestine and the animal has higher performance (Oliveira, 2001). Therefore it is necessary to find ways to enrich food in protein quality.

Solid-state fermentation is a process in which microbial protein is produced from glucose degradation that exists in the plant. It is based on growth of microorganisms on insoluble substrate in the absence of added water. Oliveira (2001) reported the fermentation of with *Aspergillus niger*, achieving 12.8% of CP. Araujo *et al.* (2005) in Brazil has made studies with yeast, *Saccharomyces cerevisiae*, reporting increases of 26% of CP. Large part of the glucose is forming polysaccharides. These molecules can be hydrolyzed easily in acid catalyzed mediums. The principle of fermentation is based on glucose metabolism by the action of yeast. Therefore, for the process to be effective, it is necessary that glucose is released.

One of the strategies used for this purpose, in the case of nopal fermentation, is acid hydrolysis (Focher, 1991). Yeast processes reducing sugars that are metabolized directly to produce ethanol, furfural and phenolic compounds among others. A strategy to reduce the production of undesirable byproducts is the pre-treatment (pre-hydrolysis) of nopal, since these also have an inhibitory effect on the fermentation process. Another recommended technique is that considering a thermal pre-treatment. In this case the amount of cellulose is higher compared to the material that has not been treated, increasing its availability for cellulase action.

La fermentación en el estado sólido es un proceso en el que se produce proteína microbiana a partir de la degradación de la glucosa existente en la planta. Se basa en el crecimiento de microorganismos en el sustrato insoluble en ausencia de agua añadida. Oliveira (2001), reportó la fermentación del nopal con *Aspergillus niger*, logrando 12.8% de CP. Araujo *et al.* (2005) en Brasil han realizado estudios con la levadura, *Saccharomyces cerevisiae*, reportando incrementos de 26% de CP. Gran parte de la glucosa se encuentra formando polisacáridos. Estas moléculas se pueden hidrolizar con facilidad en medios catalizados por ácido. El principio de fermentación se basa en el metabolismo de la glucosa por acción de las levaduras. Por consiguiente, para que el proceso sea efectivo, es necesario que la glucosa sea liberada.

Una de las estrategias más empleadas para tal efecto, en el caso de la fermentación del nopal, es la hidrólisis ácida (Focher, 1991). La levadura procesa los azúcares reductores que son directamente metabolizados para producir etanol, furfural, compuestos fenólicos entre otros. Una de las estrategias para la disminución en la producción de subproductos indeseables es el pre-tratamiento (pre-hidrólisis) del nopal, puesto que además estos tienen un efecto inhibitorio en el proceso fermentativo. Otra de las técnicas recomendadas es aquella que considera un pre-tratamiento térmico. En este caso la cantidad de celulosa es mayor en comparación con el material que no ha sido tratado, aumentando su disposición para acción de la celulasa.

### La riqueza del nopal para el futuro

La historia de México está íntimamente ligada al nopal, incluso es parte del escudo nacional; se encuentra presente en la alimentación del mexicano como el frijol y el maíz, y es tan simbólico como el tequila o el pulque. Se conocen múltiples aplicaciones en la medicina tradicional, y dentro de sus múltiples usos se incluye ser aditivo de pinturas, por sus propiedades como aglomerante. Como con otros productos tradicionales, es poco lo que se reporta en la literatura científica en relación a su composición y usos, hasta que en los últimos años, se ha reforzado el interés en productos naturales y sus derivados.

De los usos más importantes que en los últimos años se ha atribuido al nopal, es como suplemento alimentario, para el control de la diabetes o como auxiliar en el control de peso. Sin embargo, debe profundizarse en el estudio de los mecanismos de acción de los componentes del nopal para estas funciones; de la misma manera, debería ser

### Nopal richness for the future

Mexico's history is closely linked to nopal, even is part of its coat of arms; is present in Mexican nutrition like bean and corn, and is as symbolic as tequila or pulque. Multiple applications are known in traditional medicine and within its many uses include additive of paint, for its properties as binder. As with other traditional products, there are few reports in scientific literature regarding its composition and uses, until recent years has been reinforced the interest in natural products and their derivatives.

Of the most important uses in recent years that have been attributed to nopal, is as food supplement to control diabetes or as an aid in weight control. However, more deep studies should be made on the mechanisms of action of the components of nopal for these functions; in the same way, it should be possible to study deeper the components of nopal. A comprehensive study of photochemical present in the plant, would allow assessing the use of nopal or extracts, as a supplement in the treatment of other health problems, including digestive problems, infections, high cholesterol and even cancer. The identification of the components from nopal that have effect on these problems, and the determination of their mechanisms of action, is a pending task.

Another of the most promising applications is the use of this crop as fodder, which is important for cattle in arid areas, where the nopal can not only provide nutrients but to be a source of water. The search for varieties that may be more useful as fodder, considering the different climatic regions, is also a task of great interest in growing cactus.

### Conclusions

In the world in which we live, with communication skills and interaction between different cultures, to know the potential of Mexican products such as nopal, could make a difference in the country's position globally. It was until recently that fruits like kiwi did not have a global presence, but today it is common to find it in the supermarket. It will be important to ask ourselves, what is required to encourage the study of nopal, to identify advantages over other crops and new uses in medicine and nutrition. It is necessary to think what is required to bring to the table of other culture the presence of nopal as part of their nutrition.

posible estudiar a mayor profundidad los componentes que contiene el nopal. Un estudio integral de los fotoquímicos presentes en la planta, permitiría evaluar el uso del nopal o sus extractos, como complemento en el tratamiento de otros problemas de salud, incluyendo problemas digestivos, infecciones, colesterol alto, incluso cáncer. La identificación de los componentes del nopal que tienen acción sobre estos problemas, así como la determinación de sus mecanismos de acción, es una tarea aún pendiente.

Otra de las aplicaciones con mayor futuro es el uso de este cultivo como forraje, que es en especial importante para el ganado en zonas áridas, en donde el nopal puede no sólo proporcionar nutrientes, sino ser una fuente de agua. La búsqueda de variedades que puedan ser de mayor utilidad como forraje, considerando las diferentes regiones climáticas, es también una tarea de mucho interés en el cultivo del nopal.

## Conclusiones

En el mundo en que actualmente vivimos, con las capacidades de comunicación y la interacción entre las diferentes culturas, conocer las potencialidades de productos mexicanos como el nopal, podría hacer una diferencia en la posición del país a nivel mundial. Hace relativamente poco tiempo que frutas como el Kiwi no tenían una presencia mundial, pero hoy es común encontrarlos en el supermercado. Será entonces importante preguntarse, qué se requiere que se fomente en el estudio del nopal, para identificar ventajas sobre otros cultivos, así como usos novedosos en la medicina y en la alimentación. Habrá que pensar qué se requiere para que en la mesa de muchas culturas, se encuentre el nopal como parte de su alimentación. Habrá que cuidar, también, que la riqueza del producto, se refleje en una mejor calidad de vida de los productores y de México en particular. Habrá que pensar cómo podemos hacer que el nopal, comparta su riqueza con nosotros.

## Agradecimientos

Las autoras agradecen el apoyo del Gobierno del estado de Chihuahua y CONACYT mediante el proyecto FOMIX-CONACYT-2009-CO2-127570.

It is important to consider that the richness of the product is reflected in a better quality of life for producers and from Mexico in particular. It will be necessary to think how to make nopal to share its properties with us.

*End of the English version*



## Literatura citada

- Aguilar, B. G. y Peña, V. C. 2006. Alteraciones fisiológicas provocadas por sequía en nopal (*Opuntia ficus indica*). Rev. Fitotec. Mex. 29:231-237.
- Aguilar, C. N.; Rodríguez, H. R.; Saucedo, P. S. y Jasso, C. D. 2008. Fitoquímicos Sobresalientes del Semidesierto Mexicano: de la planta a los químicos naturales y a la biotecnología. Ed. Path Design Saltillo, Coahuila, México. 579 p.
- Aguirre-Cárdenas, M.; García-Delgado, P.; González-González, R.; Jofre-Garfias, A. L.; Legorreta-Siañez, A.V. y Buenrostro-Zagal, J. F. 2011. Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucílago del nopal (*Opuntia ficus indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura. In: VIII Congreso Iberoamericano de Ingeniería de Alimentos. Lima, Perú 23 al 26 de octubre. 1-5. pp.
- Anaya-Pérez, M. A. 2001. History of the use of *Opuntia* as forage in México. In: Mondragón-Jacobo, C.; Pérez González, S. (Eds.) Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper No. 169. Roma, Italia. 5-12 pp.
- Andrade-Ceto, A. and Wiedenfeld, H. H. 2011. Anti-hyperglycemic effect of *Opuntia streptacantha* Lem. J. Ethnopharmacol. 133:940-943.
- Araújo, L. F.; Nuñez A.; Perazzo A.; de Sousa, L. and Honorato da Silva, F. L. 2005. Protein enrichment of cactus pear (*Opuntia ficus - indica* Mill.) using *Saccharomyces cerevisiae* in solid state fermentation Braz. Arch. Biol. Technol. 48:161-168.
- Becerra-Jiménez, J. and Andrade-Cetto, A. 2012. Effect of *Opuntia streptacantha* Lem. on alpha-glucosidase activity. J. Ethnopharmacol. 139:493-496.
- Ben Salem, H.; Nefzaoui, A.; Abdouli, H. and Orskov, E. 1996. The effect of increasing level of spineless cactus (*Opuntia ficus-indica* var-intermis) on intake and digestion by sheep given straw based diet. Animal Sci. 62:293-299.
- Bensadón, S.; Hervert- Hernández, D.; Sáyo-Ayerdi, S. G. and Goñi, I. 2010. By-products of *Opuntia ficus-indica* as a source of antioxidant dietary fiber. Plant Food Hum. Nutr. 65:210-216.
- Blanco, F.; Lara A.; Valdez R. D.; Cortés J. O.; Luna M. y Salas, L. M. A. 2006. Interacciones nutrimentales y norma de la técnica de nutrimento compuesto en nopal (*Opuntia ficus-indica* L. Miller). Rev. Chapingo Ser Horticult. 12:165-175.
- Cavalcante, F. S. e Carvalho, C. L. 2007. Palma forrageira (*Opuntia Ficus-Indica* Mill.) como alternativa na alimentação se ruminantes Rev. Electr. Vet. 8(5):1-11.

- Contreras-Padilla, M.; Gutiérrez-Cortez, E.; Valderrama-Bravo, M. C.; Rojas-Molina, I.; Espinosa-Arbeláez, D. G.; Suárez-Vargas, R. and Rodríguez-García, M. E. 2012. Effects of drying process on the physicochemical properties of nopal cladodes at different maturity stages. *Plant Food Hum. Nutr.* 67:44-49.
- Erre, P.; Chessa, I.; Nieddu, G. and Jones, P. G. 2009. Diversity and spatial distribution of *Opuntia* spp. in the Mediterranean Basin. *J. Arid Environ.* 73:1058-1066.
- Felker, P. and Inglese P. 2003. Short-term and long-term research needs for *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. Utilization in Arid Areas. *J. Prof. Assoc. Cactus.* 5:131-152.
- Felker, P.; Paterson, A. and Jenderek Felker, M. M. 2006. Forage potential of *Opuntia* clones maintained by the USDA, National Plant Germoplasm System (NPGS) Collection. *Crop Sci.* 46:2161-2168.
- Fernández-López, J. A.; Almeda, L.; Obón, J. M. and Castellar, R. 2010. Determination of antioxidant constituents in cactus pear fruits. *Plant Food Hum. Nutr.* 65:253-259.
- Feugang, J. M.; Konarski, P.; Zou, D.; Stintzing, F. C. and Zou, C. 2006. Nutritional and medicinal use of cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Front. Biosci.* 11:2574-2589.
- Flores, M. A. y Reveles, M. 2010. Producción de nopal forrajero de diferentes variedades y densidades de plantación. *Rev. Salud Pub. Nutr.* 5:198-210.
- Focher, B.; Marzetti, A.; Beltrame, P. L. and Carnici, P. 1991. Structural features of cellulose and cellulose derivative and their effects on enzymes hydrolysis. *In: Haigler, C. H. and Weimer, P. J. (Ed.). Biosynthesis and biodegradation of cellulose.* Marcel Dekker, New York. 293-310 pp.
- Gonzalez, C. 1989. Potential of fertilization to improve nutritive value of prickly pear cactus (*Opuntia lindheimeri* Engelm.). *J. Arid Environ.* 22:323-331.
- Granados-Sánchez, D. y Castañeda-Pérez, A. D. 2003. El nopal. Historia, fisiología, genética e importancia frutícola. Editorial Trillas. México, D. F. 227 p.
- Griffith, M.P. 2004. The origins of an important cactus crop, *Opuntia ficus-indica* (Cactaceae): new molecular evidence. *Am. J. Bot.* 91:1915-1921.
- Guevara-Arauz, J. C.; Yahia, L.; Cedeño, E. M. and Tijskens, L. M. M. 2006. Modeling the effects of temperature and relative humidity on gas exchange of prickly pear cactus (*Opuntia* spp.) stems. *LWT - Food Sci Technol.* 39:796-805.
- Hernández-Urbino, M. I.; Contreras-Padilla, M.; Pérez-Torero, E. and Hernández-Quevedo, M. E. 2010. Study of nutritional composition of Nopal (*Opuntia ficus indica* cv. Rendonda) at different maturity stages. *Open Nutr. J.* 4:11-16.
- Le Houérou, H. N. 1994. Drought-tolerant and water-efficient fodder shrubs (DTFS), their role as a "drought insurance" in the agricultural development of arid and semi-arid zones in southern Africa, Report to the water research commission of South Africa. Pretoria, South Africa, 139 p.
- López García, J. J.; Fuentes-Rodríguez, J. M. and Rodríguez, R. A. 2001. Production and use of *Opuntia* as forage in Northern Mexico. *In: Mondragón- Jacobo, C.; Pérez González, S. (Eds.) Cactus (Opuntia spp.) as forage.* FAO plant production and protection Paper No. 169. Roma, Italia. 29-36 pp.
- Mendez-Llorente F.; Ramírez-Lozano, R. G.; Aguilera-Soto, J. I. and Arechiga-Flores, C. F. 2008. Performance and nutrient digestion of lambs fed incremental levels of wild cactus (*Opuntia leucotrichia*). *In: Conference on International Research on Food Security, Natural Resource Management and Rural Development University of Hohenheim.* 7-9 October 2008. Tropentag, Dinamarca 1-7 pp.
- Mills, N. 1824. The history of Mexico from the Spanish conquest to the present era. Sherwood Jones, London. 300 p.
- Nebbache, S.; Abdelwaheb, C.; Rabah, C. and Ahcene B. 2009. Chemical composition of *Opuntia ficus-indica* (L.) fruit. *Afr. J. Biotechnol.* 8:1623-1624.
- Nobel, P. S. 1988. Environmental biology of agaves and cacti. New York: Cambridge Univ. Press, USA. 284 p.
- Nobel, P. S. 1995. Environmental Biology *In: Barbera, G.; Inglese, P. and Pimienta-Barrios, E. (Eds.). Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear.* FAO plant production and protection Paper, 132. Rome, Italy. 36-48 pp.
- Nobel, P. S. 2001. Ecophysiology of *Opuntia ficus indica*. *In: Mondragón-Jacobo, C. and Pérez González, S. (Eds.) Cactus (Opuntia spp.) as forage.* FAO plant production and protection Paper No. 169. Roma, Italia. 13-20 pp.
- Nobel, P.; Cavellier, J. and Andrade, J. L. 1992. Mucilage in cacti: its apoplastic capacitance, associated solutes, and influence on tissue water relations. *J. Exp. Bot.* 43:641-648.
- Oliveira M. A. 2001. Production of fungal protein by solid substrate fermentation of cactus *Cereus peruvianus* and *Opuntia ficus indica*. *Quim. Nova.* 24:307-310.
- Osorio-Cordoba, J.; Pelayo-Zaldívar, C.; Verde-Calvo, J. R.; Ponce-Valadez, M.; Díaz de León-Sánchez, F.; Bosquez-Molina, E. y Rodríguez-Huezo, M. E. (2011). Conservación del nopal verdura "Milpa Alta" (*Opuntia ficus indica* Mill.) desespinado en envases con atmósfera modificada. *Rev. Mex. Ing. Quim.* 10:93-104.
- Reyes Agüero J. A.; Aguirre-Rivera, J. R. y Hernandez, H. 2005. Notas Sistemáticas y descripción detallada de *Opuntia ficus indica* (L.) Mill Cactacea. *Agrociencia.* 39:395-408.
- Rodríguez-Felix, A. and Cantwell, M. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). *Plant Food Hum. Nutr.* 38:83-93.
- Saenz, C. 1997. Cladodes: a source of dietary fiber. *J. Prof. Assoc. Cactus.* 2:117-123.
- Sáenz C.; Berger, H.; Corrales, G.J.; Galletti, L.; García, C.V.; Higuera, I.; Mondragón, C.; Rodríguez, F. A.; Sepúlveda, E. y Varnero, M. T. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO Paper 162, Rome, Italy 165 pp.
- Yahia, E. M. and Mondragón, C. 2011. Nutritional components and antioxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.). *Food Res. Internat.* 44:2311-2318.
- Yeh, G.Y.; Eisenberg, D. M.; Kaptchuk, T. J. and Phillips, R. S. 2003. Systematic review of herbs and dietary supplements for glycemic control in diabetes. *Diabetes Care.* 26:277-1294.
- Zhao, L. Y.; Lan, Q. J.; Huang, Z. C.; Ouyang, L. J. and Zeng, F. H. 2011. Antidiabetic effect of a newly identified component of *Opuntia dillenii* polysaccharides. *Phytomedicine.* 18:661-668.