

Plantación experimental de nopal para evaluación de sistemas de fertilización y extracción de mucílago*

Experimental plantation of nopal for evaluation of fertilization and mucilage extraction systems

Silvia Galicia-Villanueva¹, Pablo Emilio Escamilla-García^{1§}, Horacio Alvarado-Raya², Laura Victoria Aquino-González³, Hugo Serna-Álvarez¹ y Leslie Monserrat Hernández-Cruz¹

¹Instituto Politécnico Nacional. Anillo Periférico Sur núm. 4863. Ampliación Tepepan, Xochimilco, Ciudad de México. CP. 16020 (sgaliciav@ipn.mx; lesliemhc@gmail.com). ²Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5. Texcoco, Estado de México. CP. 56230 (horacioa@correo.chapingo.mx). ³Instituto Politécnico Nacional. Hornos núm. 1003, Col. Noche Buena, Santa Cruz Xoxocotlán, Oaxaca. CP. 71230 (laquino@ipn.mx; hsernaa@ipn.mx). [§]Autor para coorespondencia: peescamilla@ipn.mx.

Resumen

El presente artículo analiza aspectos referentes al cultivo de nopal en la Delegación Milpa Alta de la Ciudad de México. En primera instancia se efectúa un estudio comparativo de tipos de tratamiento para la fertilización del nopal, el cual se realizó mediante un proceso experimental donde se analizaron rendimientos y características con diferentes fertilizantes, que permitió identificar un sistema a base de lixiviados como una alternativa con mayor eficiencia. Por otro lado, se estableció una metodología para la extracción del mucílago de nopal a través de la selección, secado y molienda para elaborar un aditivo que permitió estimar el contenido de azúcares y nivel de acidez en laboratorio. En una parcela experimental se llevo a cabo el proceso de muestreo que permitió cultivar el nopal con las condiciones climatológicas y propiedades del suelo de la región, así como en diferentes modalidades de fertilización para evaluar rendimientos y calidad.

Palabras claves: composta, fertilización, sustratos.

Abstract

This paper analyzes aspects related to the cultivation of nopal in the Milpa Alta Delegation in México City. First a comparative study of treatment types for nopal fertilization was carried out, which was carried out through an experimental process where yields and characteristics with different fertilizers were analyzed, which allowed to identify a system based on leachate as an alternative with greater efficiency. On the other hand, a methodology was established for the extraction of nopal mucilage through selection, drying and grinding to elaborate an additive for laboratory test that allowed to estimate sugars content and acidity level. In order to carry out the sampling process, an experimental plot was build that allowed to cultivate the nopal with the climatic conditions and soil properties of the region, as well as in different fertilization modalities to evaluate yields and quality.

Keywords: compost, fertilization, substrates.

* Recibido: junio de 2017
Aceptado: agosto de 2017

Introducción

El nopal (*Opuntia ficus*)

El nopal (*Opuntia ficus*) es una planta de la familia de las cactáceas oriundas del continente americano y caracterizada por un color verde, presencia de espinas y una estructura ramificada cuya extensión puede alcanzar hasta los 5 metros de altura. Se conocen casi 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay solo 10 o 12 especies hasta ahora utilizadas por el hombre, ya sea para producción de fruta y nopalitos para alimentación humana, forraje o cochinita para obtención de colorante. Los tallos suculentos y articulados o cladodios, comúnmente llamados pencas, presentan forma de raqueta ovoide o alongada alcanzando 60-70 cm de longitud, dependiendo de la hidratación y de los nutrientes disponibles (Sudzuki *et al.*, 1993).

Cuando miden 10-12 cm son tiernos y se pueden consumir como verdura. En México el nopal es un elemento presente en la simbología nacional, cuya representación data de las culturas prehispánicas al ser parte de diversas mitologías (Chávez-Moreno *et al.*, 2009). Existe evidencia sobre el conocimiento, uso y consumo del nopal por parte de los primeros pobladores de México, por ejemplo, es en las excavaciones de Tamaulipas y Tehuacán, Puebla se encontraron semillas fosilizadas, cáscaras de tuna y fibras de nopal con una antigüedad de siete mil años (Saenz, 2006).

En México, *Opuntia ficus-indica* es la especie cultivada de mayor importancia comercial para la producción de nopalito (Pimienta, 1997). Dentro de la gastronomía en México el consumo de nopal es una costumbre cotidiana debido a los beneficios que implica su ingesta. El nopal ha demostrado ser una fuente de manganeso en la dieta, así como una fuente eficiente de minerales con 13% de valor diario, valores que aumentan en función del grado de madurez de la planta (Hernández-Urbiola *et al.*, 2011). Igualmente se tiene conocimiento que el consumo de nopal representa una fuente de fibra digestiva y que su valor nutricional puede ayudar en el tratamiento de padecimientos de Diabetes e hiperglucemia (Bacardi-Gascon *et al.*, 2007).

El cultivo de nopal en México

El cultivo de nopal en México se basa en un sistema tradicional y un sistema de micro túneles. El sistema tradicional tiene densidades de plantación de 15 000 a

Introduction

Nopal (*Opuntia ficus*)

Nopal (*Opuntia ficus*) is a plant of the Cactaceae family native to the American continent and characterized by a green color, presence of thorns and a branched structure whose extension can reach up to 5 meters high. Nearly 300 species of the genus *Opuntia* are known. However, there are only 10 or 12 species so far used by man, whether for fruit production and nopalitos for human consumption, forage or cochineal to obtain dye. Succulent and articulated stems or cladodes, commonly called penca, have ovoid or elongated racket shape, reaching 60-70 cm in length, depending on the moisture and available nutrients (Sudzuki *et al.*, 1993).

When its measures are about 10-12 cm they are tender and can be consumed as vegetables. In México the nopal is an element present in the national symbolism whose representation dates back from pre-hispanic cultures being part of various mythologies (Chávez-Moreno *et al.*, 2009). There is evidence on the knowledge, use and consumption of nopal by the first settlers of México, for example, in the excavations of Tamaulipas and Tehuacán, Puebla there were found fossilized seeds, tuna shells and nopal fibers with an antiquity of seven thousand years (Saenz, 2006).

In Mexico, *Opuntia ficus-indica* is the cultivated species of major commercial importance for the production of nopalito (Pimienta, 1997). Within Mexico's gastronomy the consumption of nopal is a daily custom due to the benefits related to its consumption. The nopal has proven to be a source of manganese in the diet as well as an efficient source of minerals with 13% of the daily value, values increase with the maturity degree of the plant (Hernández-Urbiola *et al.*, 2011). Also it is known that nopal consumption is a source of digestive fiber and its nutritional value can help in treating diabetes and hyperglycemia (Bacardi-Gascon *et al.*, 2007).

The nopal cultivation in Mexico

The nopal cultivation in México is based on a traditional system and a micro tunnels system. The traditional system has planting densities of 15 000 to 40 000 plants per hectare by planting the mature pencas (2 to 3 years old) in rows at a distance of 30 to 40 cm between plants and 80 to 100 cm between rows. The plants height goes from 1 to 1.5 m. On the other hand, the micro tunnel system employs planting

40 000 plantas por hectárea, plantando las pencas maduras (de 2 a 3 años de edad) en hileras a una distancia de 30 a 40 cm entre plantas y de 80 a 100 cm entre hileras. La altura de las plantas es de 1 a 1.5 m. Por otro lado, el sistema de micro túneles emplea densidades de plantación de 120 000 a 160 000 plantas por hectárea, utilizando camas de 1.2 a 2 m de ancho y de 40 a 47 m de largo, con una separación de 1 a 1.5 m (Flores-Valdéz, 2003). El sistema de micro túneles implica un cubrimiento de las plantaciones lo que a incrementar los rendimientos en climas fríos. Los rendimientos en el sistema tradicional varían de 30 a 80 t ha⁻¹ (Pimienta, 1997), mientras que, en el sistema intensivo, se han registrado de 179 a 263 t ha⁻¹, (Blanco-Macías *et al.*, 2002).

En el sistema tradicional se utiliza estiércol bovino como medio de fertilización (más de 100 t ha⁻¹) cada dos o tres años, el cual es complementado por fertilizantes minerales como urea o sulfato de amonio. En contraste el sistema de micro túneles utiliza estiércol bovino, nitrógeno y fósforo con proporciones de 100 a 200 t ha⁻¹, 100 a 200 kg ha⁻¹ y 80 a 100 kg ha⁻¹, respectivamente (Pimienta, 1997; Flores-Valdez, 1999).

Las plantaciones comerciales de nopal en México se ubican en regiones con una precipitación pluvial promedio de 600 a 800 mm en verano (Orona-Castillo *et al.*, 2004), y la cosecha se realiza mayoritariamente de forma manual mediante la utilización de cuchillos para cortar la base de la penca (Cantwell, 1999). El corte de la planta y del fruto debe realizarse en condiciones climáticas adecuadas a fin de evitar un contenido alto de acidez, igualmente la cosecha debe realizarse cuando la planta ha alcanzado una longitud de 20-25 cm y pesan de 90 a 100 g (FAO-OMS, 1993). Los cladodios son catalogados como pequeños cuando presentan una longitud promedio de 12 cm o inferior, y como grandes cuando se alcanzan los 30 cm. El destino de la planta depende de las características de la misma en función de su calidad, la comercialización puede realizarse para consumo directo o bien se destina a la elaboración de nopal mínimamente procesado (Rodríguez-Felix, 2002). El criterio utilizado para separar a los nopalitos en los distintos grados de calidad es en base a su apariencia, principalmente la presencia de defectos en forma y color y de daño mecánico. La clasificación se basa en el tamaño (longitud) del nopalito, estableciendo cinco categorías. Estas incluyen cladodios desde 9 cm hasta 30 cm de longitud (FAO-OMS, 1993). Para que el nopal verdura pueda ser comercializado en los mercados internacionales se requiere el cumplimiento con estándares de calidad adicionales a fin de generar un grado adecuado de competitividad en contraste con otras hortalizas de mayor consumo (Caplan, 1995).

densities of 120 000 to 160 000 plants per hectare using beds of 1.2 to 2 m wide and 40 to 47 m long with a separation of 1 to 1.5 m (Flores-Valdéz, 2003). The micro tunnels system involves to cover the plantations which increases yields in cold climates. Yields in the traditional system vary from 30 to 80 t ha⁻¹ (Pimienta, 1997), while in the intensive system, 179-263 t ha⁻¹ have been recorded (Blanco-Macías *et al.*, 2002).

The traditional system uses cattle manure as a fertilizer (over 100 t ha⁻¹) every two or three years, which is complemented by mineral fertilizers such as urea or ammonium sulfate. In contrast the micro tunnels system uses cattle manure, nitrogen and phosphorus in proportions of 100 to 200 t ha⁻¹, 100 to 200 kg ha⁻¹ and 80 to 100 kg ha⁻¹, respectively (Pimienta, 1997; Flores-Valdez, 1999).

Commercial plantations of nopal in México are located in regions with an average rainfall of 600 to 800 mm in the summer (Orona-Castillo *et al.*, 2004), and harvesting is performed mostly manually using knives to cut the base of the penca (Cantwell, 1999). The cutting of the plant and the fruit must be carried out under suitable climatic conditions in order to avoid a high acidity content, the harvest should also be performed when the plant has reached a length of 20-25 cm and weigh about 90 to 100 g (FAO-OMS, 1993). Cladodes are classified as small when they have an average length of 12 cm or less, and as large when they reach 30 cm. The final use of the plant depends on its characteristics based on its quality, the commercialization can be done for direct consumption or destined to the elaboration of minimally processed nopal (Rodríguez-Felix, 2002). The criterion used to separate the nopalitos in the different quality degrees is based on its appearance, mainly the presence of defects in shape and color and mechanical damage. The classification is based on the size (length) of the nopalito, establishing five categories. These include cladodes from 9 cm up to 30 cm in length (FAO-OMS, 1993). In order for the vegetable nopal to be commercialized in international markets, compliance with additional quality standards is required in order to generate an adequate degree of competitiveness in contrast to other higher consumption vegetables (Caplan, 1995).

In regional terms, the Milpa Alta delegation in Mexico City ranks as the main producer of vegetable nopal with an annual average of 350 000 t and an average annual yield of 90 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2016). Regarding to the marketing and transportation of nopal in Milpa Alta, two alternatives are shown. The nopal for local consumption is sold in baskets weighing no more than 5 kg on the other hand, for consumption

En términos regionales, la delegación Milpa Alta en la Ciudad de México se ubica como el principal productor de nopal verdura con un promedio de 350 000 t anuales y un rendimiento promedio anual de 90 t ha⁻¹ (SAGARPA, 2016). En lo que respecta a la comercialización y transporte de nopal en Milpa Alta, se presentan dos alternativas. El nopal para consumo local es comercializado en canastos con un peso no mayor a los 5 kg por otro lado, para consumo fuera de la región el nopal es comercializado en pacas de 1 m de diámetro y 1.7 m de altura que contienen aproximadamente 3 000 pencas y pesan de 250 a 300 kg. Las pacas se transportan a mercados mayoristas de la Ciudad de México. Para mercados distantes de las zonas de producción, se empaquetan en cajas de madera de 20 kg o en cajas de cartón de 5 a 10 kg y se transportan en camiones enfriados a 10 °C (Flores, 1992; Cantwell, 1999).

Cuando el nopal se encuentra en la etapa de comercialización, el periodo de consumo y caducidad depende de variables como el tipo de cosecha, procedimiento y característica del envase y embalaje, así como la temperatura y grado de humedad en su almacenamiento (Nerd *et al.*, 1997). Los cladodios que presentan un daño en la base deben ser comercializados en un tiempo corto y evitar un almacenamiento o transporte a mercados distantes ya que se genera una pérdida por pudriciones de hasta 53% (Ramayo *et al.*, 1978). El daño en la base es provocado principalmente por la forma de cosecha, la cual al realizarse de forma manual implica un alto riesgo de afectar la calidad del cultivo (Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1997). Por consiguiente, es posible contar con un elevado nivel de producto (nopal) que no alcanza los estándares de calidad necesario para ser comercializado en los diferentes mercados de consumo, situación que implica la búsqueda de una alternativa de aprovechamiento del cladodio.

El mucílago de nopal

Por otra parte, se tiene conocimiento que el mucílago es un subproducto obtenido de cladodios de nopal, comúnmente referido como pectina de polisacárido, es una característica típica de los miembros de la familia de cactáceas. Este compuesto se presenta en cladodios, piel y pulpa de la fruta, aunque en variadas proporciones (Medina-Torres *et al.*, 2003). La composición química del mucílago de nopal Ofi, ha sido sujeto de varios casos de estudios, Cardenas *et al.* (1997) encontraron que el mucílago era un polisacárido neutro que contenía arabinosa, ramnosa, galactosa y xilosa. Por otro lado,

outside the region the nopal is marketed in bales of 1 m in diameter and 1.7 m in height containing approximately 3 000 pencas and weigh from 250 to 300 kg. Bales are transported to wholesale markets in México City. For markets distant from the production areas, they are packed in 20 kg wooden boxes or in carton boxes of 5 to 10 kg and transported in cooled trucks at 10 °C (Flores, 1992; Cantwell, 1999).

When the nopal reaches the commercialization stage, the period for consumption and expiration depends on variables such as the type of crop, procedure and characteristic of packaging, as well as temperature and humidity in storage (Nerd *et al.*, 1997). Cladodes that show a damage in its base must be marketed in a short time and avoid storage or transport to distant markets since a loss by rots is generated up to 53% (Ramayo *et al.*, 1978). The damage to the base is mainly caused by the harvest technique, which when performed manually involves a high risk of affecting the quality of the crop (Rodríguez-Félix and Villegas-Ochoa, 1997). Consequently, it is possible to have a high amount of product (nopal) that does not meet the quality standards necessary to be marketed in the different consumer markets, a situation that implies the searching for an alternative to better use the cladodium.

Nopal mucilage

On the other hand, it is known that mucilage is a byproduct obtained from cladodes of nopal, commonly referred to as polysaccharide pectin, it is a characteristic of the cactus family members. This compound is found in cladodes, skin and pulp of the fruit, although in different proportions (Medina-Torres *et al.*, 2003). The chemical composition of Ofi nopal mucilage, has been the subject of several studies, Cardenas *et al.* (1997) found that the mucilage was a neutral polysaccharide containing arabinose, rhamnase, galactose and xylose. Furthermore, Paulsen and Lund (1979) reported that *Opuntia ficus-indica* extract was a mixture of a neutral glucan, glycoproteins and an acid polysaccharide made of L- arabinose, D-galactose, L-rhamnase, D-xylose and D-galacturonic acid. According to Trachtenberg and Mayer (1981), mucilage is a polysaccharide, containing 10% uronic acid, arabinose, galactose, rhamnase and xylose.

The composition of nopal mucilage was quite similar to Madjdoub *et al.* (2001) composed mainly of L-arabinose, D-galactose, D-xylose and 19.4% of uronic acid. McGarvie and Parolis (1981) found that the nopal mucilage is composed of a family of highly branched polysaccharides

Paulsen y Lund (1979) reportaron que el extracto de *Opuntia ficus-indica* era una mezcla de un glucano neutro, glicoproteínas y un polisacárido ácido compuesto de L- arabinosa, D-galactosa, L-ramnosa, D-xilosa y ácido D-galacturónico. De acuerdo con Trachtenberg y Mayer (1981), el mucílago es un polisacárido, que contiene 10% de ácido urónico, arabinosa, galactosa, ramnosa y xilosa.

La composición del mucílago de nopal fue bastante similar para Madjdoub *et al.* (2001) compuesto principalmente de L-arabinosa, D- galactosa, D-xilosa y 19.4% de ácido urónico. McGarvie y Parolis (1981) encontraron que el mucílago de nopal está compuesto de una familia de polisacáridos altamente ramificados mediante una estructura de unidades de ácido α -D-galacturónico unidas 1-2 a unidades de β -L-ramnosa enlazadas 1-4 con ramificaciones en el C-4, las ramificaciones de oligosacáridos de galactosa las cuales llevan L-arabinosa y D-xilosa como sustituyentes.

Uso y aplicación del mucílago de nopal

El mucílago de nopal en la actualidad encuentra múltiples aplicaciones en ramos tales como, la industria de los alimentos, cosméticos y farmacéutica, construcción y ambiental, entre otras más que surgen conforme avanza la investigación sobre sus propiedades. La aplicación de subproductos que utilizan el mucílago como componente principal ha demostrado resultados prácticos puntuales en diferentes industrias. El mucílago de nopal ha sido utilizado dentro de aspectos de conservación ambiental como elemento para el tratamiento de lixiviados en rellenos sanitarios Castellanos *et al.* (2012), igualmente dentro de la industria alimenticia se ha utilizado mucílago de nopal para lograr un oscurecimiento durante el deshidratado de plátano Aquino *et al.* (2009) así como para acelerar la actividad enzimática en manzanas (Martínez, 2012). Otra aplicación del mucílago de nopal puede verse como un fortalecedor de fibras utilizadas para empaque fabricados mediante biopolímeros (Rivera, 2015). Sin embargo, una aplicación que ha cobrado importancia para el mucílago de nopal, es su uso en la industria de la construcción. El mucílago dadas sus características como polisacárido espesante o modificador posibilita el aumento del grado de plasticidad, así como la disminución de la permeabilidad de líquidos en pastas de cemento y cal, así como la capacidad para formar películas (Muñoz, 2016).

by a structure of α -D-galacturonic acid units attached 1-2 to units of β -L-rhamnose linked 1-4 with branching at C-4, galactose oligosaccharide branches which carry L-arabinose and D-xylose as substituents.

Use and application of nopal mucilage

Nowadays, nopal mucilage finds multiple applications in fields such as the food, cosmetics and pharmaceutical, construction and environmental industries, among others, which arise as research on its properties advances. The application of by-products that use mucilage as the main component has demonstrated practical results in different industries. Nopal mucilage has been used in aspects of environmental conservation as an element for the treatment of leachates in landfills Castellanos *et al.* (2012), also in the food industry nopal mucilage has been used to achieve a browning during banana dehydration Aquino *et al.* (2009) as well as to accelerate the enzymatic activity in apples (Martínez, 2012). Another application of the nopal mucilage can be seen as a fiber reinforcer used for packaging made from biopolymers (Rivera, 2015). However, an application that has gained importance for the nopal mucilage, is its use in the construction industry. The mucilage, given its characteristics as a thickening or modifying polysaccharide, makes it possible to increase the plasticity degree, as well as the decrease in the permeability of liquids in cement and lime pastes, as well as the property to form films (Muñoz, 2016).

Materials and methods

Experimental nopal cultivation

The cladodium cultivation process was carried out under the climatic conditions and with the soil characteristics of the region in order to establish a representative model of the nopal produced in the entire Milpa Alta delegation. The cultivation activities were carried out by means of a programmed control of fertilization using different products to be able to identify a greater yield according to the type of fertilization system. For the nopal production process, five types of treatment were determined: manure, compost, chemical fertilizer, leachate and water; a) the treatment is placed in the middle of the rows and these are

Materiales y métodos

Cultivo experimental de nopal

El proceso de cultivo de cladodios, se realizó en condiciones climáticas y con características de suelo de la región a fin de poder establecer un modelo representativo del nopal producido en toda la delegación Milpa Alta. Las actividades de cultivo se realizaron mediante un control programado de fertilización utilizando diferentes productos para poder identificar un rendimiento mayor en función de un tipo de sistema de fertilización. Para el proceso de producción del nopal se determinaron cinco tipos de tratamiento: estiércol, composta, fertilizante químico, lixiviado y agua; a) el tratamiento se coloca en medio de las hileras y estas son los que reciben dicho tratamiento directamente; b) el fertilizante químico, corresponde a la mara Yara Mix + urea, aplicado en el suelo; y c) el lixiviado por aplicar en la hilera 10 y 11, se divide en dos, dado que la hilera 10 es aplicada en el suelo y en la hilera 11 se aplica de forma foliar (Figura 1).

Caracterización del mucílago

De los tipos de tratamiento utilizados, se seleccionaron dos: composta y estiércol, esto debido a que en la región actualmente son los dos tipos de sistemas de fertilización utilizados, no se aplica en forma generalizada un lixiviado ni un fertilizante químico. El mucílago obtenido, tiene que ser representativo del nopal producido en la región y cultivado en las mismas condiciones que realizan los agricultores de Milpa Alta (Figura 2-15)



Figura 2. Poda de los restos de pencas de nopal con el fin de establecer un espacio adecuado en donde proceder con la siembra de nopal.

Figure 2. Pruning of the remains of nopal pencas in order to establish an adequate space to proceed with the nopal sowing.

those who receive such treatment directly; b) the chemical fertilizer, corresponds to the mara Yara Mix + urea, applied in the soil; and c) the leachate to be applied in the row 10 and 11 is divided into two, since the row 10 is applied to the soil and in the row 11 is foliarly applied. (Figure 1).

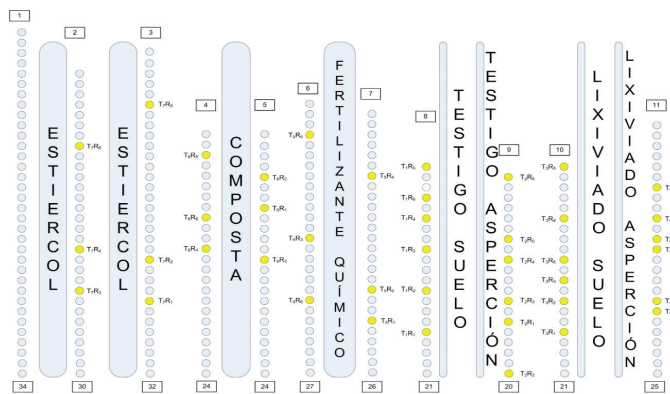


Figura 1. Plano de parcela experimental por tipo de tratamiento.

Figure 1. Experimental plot by treatment type.

Mucilage characterization

Of the types of treatment used, two were selected: compost and manure, because these two types of fertilization systems are currently used in the region, leachate and chemical fertilizer are not generally applied. The obtained mucilage must be representative of the nopal produced in the region and grown under the same conditions performed by farmers of Milpa Alta (Figure 2-15).



Figura 3. Determinación de la superficie destinada para la parcela experimental en San Lorenzo Tlacoyucan, delegación Milpa Alta de 500 m²

Figure 3. Determination of the area destined for the experimental plot in San Lorenzo Tlacoyucan, Milpa Alta delegation of 500 m².



Figura 4. Plantación de las pencas con una separación de 30 cm cada una.

Figure 4. Plantation of pencas with a separation of 30 cm each.



Figura 5. Separación entre los surcos de 150 cm.

Figure 5. Separation between furrows of 150 cm.



Figura 6. La plantación de nopal con una distribución de 255 pencas de nopal.

Figure 6. The nopal planting with a distribution of 255 nopal pencas.



Figura 7. Se observa la división mediante etiquetas que permitieran identificar el tipo de tratamiento.

Figure 7. The division through labels that allow to identify the treatment type is shown.



Figura 8. Cosecha mediante corte manual. La última proporción fue utilizada para el proceso de extracción de mucilago.

Figure 8. Harvesting by manual cutting. The last proportion was used for the mucilage extraction process.



Figura 9. Selección de nopales adultos o de mayor tamaño y grosor de espinas.

Figure 9. Selection of adult or larger and with thicker thorns nopales.



Figura 10. Los nopales seleccionados fueron sometidos a un proceso de corte manual a fin de reducir su volumen a muestras de 1 cm³.

Figure 10. The selected nopales underwent a process of manual cutting to reduce its volume to samples of 1 cm³.



Figura 11. La mezcla de nopal y agua fue sometida a un proceso de calentamiento mediante equipo de laboratorio thermoline a fin de alcanzar una temperatura óptima para el aprovechamiento de los carbohidratos en la mezcla.

Figure 11. The mixture of nopal and water was subjected to a heating process using thermoline laboratory equipment in order to reach an optimum temperature for the use of the carbohydrates in the mixture.



Figura 12. La mezcla de nopal y agua fue sometida a un proceso de calentamiento mediante equipo de laboratorio thermoline a fin de alcanzar una temperatura óptima para el aprovechamiento de los carbohidratos en la mezcla.

Figure 12. The cactus and water mixture was subjected to a heating process using thermoline laboratory equipment in order to reach an optimum temperature for the use of the mixture carbohydrates.



Figura 13. Se realizó un monitoreo de temperatura hasta alcanzar los 50 °C (termopar Hanna), durante una hora, para evitar una reducción de viscosidad y funcionalidad en el mucílago.

Figure 13. Temperature monitoring was performed until reaching 50 °C (Hanna thermocouple), for one hour, to avoid reduction of viscosity and functionality in the mucilage.



Figura 14. Proceso de separación mediante decantación del líquido por densidad. Al realizar el proceso de separación se realizó igualmente un proceso de filtrado con malla de 500 micras para remover residuos.

Figure 14. Separation process by liquid decantation by density. When the separation process was carried out, it was also carried out a filtering process with a 500 microns mesh to remove residues.

Resultados and discusión

Durante el proceso de cultivo no se presentaron evidencias para establecer una diferencia significativa entre los rendimientos de los cladodios en función del tipo de tratamiento, sin embargo, si existió una variación leve en el número de unidades obtenidas (Figura 16).

Como se puede apreciar en la Figura 16, el tipo de tratamiento de fertilización por lixiviado, representó un mayor rendimiento de cladodios en contraste con otros productos, el tipo de tratamiento a base de agua resultó en rendimientos bajos, mientras que el fertilizante químico, composta y estiércol presentaron un rendimiento promedio de 50.4 cladodios.

En lo que respecta a las características físicas del nopal, los tratamientos utilizados no tuvieron efecto sobre los parámetros de color ni existió una variación significativa en el peso y tamaño de los mismos. Parámetros como acidez y pH se encontraron dentro de los rangos estándar para el nopal verdura que señala la literatura (Rodríguez-Felix y Cantwell, 1988; Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006; Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007). Respecto a la textura del cladodio, los valores encontrados fueron levemente inferiores a los reportados en un



Figura 15. Se procede al almacenamiento en contenedores de vidrio para evitar una interacción química o alteración de propiedades por parte del material del envase.

Figure 15. Storage in glass containers in order to avoid chemical interaction or properties alteration due to the packaging material.

Results and discussion

During the cultivation process, no evidence was shown to establish a significant difference between the yields of the cladodes depending on the treatment type, however, there was a slight variation in the number of obtained units (Figure 16).

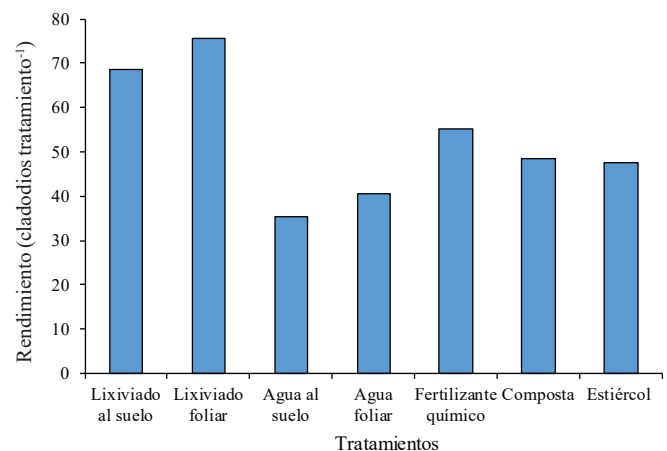


Figura 16. Rendimiento de cladodios por tipo de tratamiento.
Figure 16. Yield of cladodes by type of treatment.

estudio similar desarrollado por Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), los cuales presentaron diferencias significativas ($p \leq 0.05$) donde el valor más alto lo presentó 'Copena F1' (15.08 Nw) y la menor firmeza la obtuvo 'Oreja de Elefante' (8.14 Nw).

Las pocas variaciones que se tuvieron en los diferentes tipos de tratamientos para la fertilización del cultivo, resultó en una homogenización del cladodio producido, lo que posibilitó realizar el corte y cosecha del nopal para proceder a sus selección y categorización y poder realizar la extracción de mucílago. Es importante resaltar, que la poca variación en características del nopal en función del tratamiento, era esperada para que los cladodios utilizados en el experimento de mucílago, fueran representativos y con características similares a los cultivos en toda la región de estudio.

En cuanto al rendimiento del mucílago considerando la misma relación de peso-volumen, se observó que no hay una diferencia significativa en el rendimiento; sin embargo, en los parámetros químicos, se pudo observar una variación. El mucílago obtenido del nopal abonado con composta presentó una mayor cantidad de azúcares tanto reductores directos como totales, el valor de pH no es tan ácido como el encontrado en otros nopales que oscila entre 3 y 3.5 (Matsuhira *et al.*, 2005), el rendimiento que se obtuvo fue de 74% para nopal (composta) y 78% nopal (estiércol). Físicamente el nopal de composta presentó mayor viscosidad comparado con el nopal de estiércol. Los valores previamente mencionados, pueden ser apreciados en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Características de mucílago de nopal recolectado en la Delegación Milpa Alta.

Table 1. Characteristics of nopal mucilage collected at the Milpa Alta Delegation.

Parámetros medidos	Nopal Tratamiento: composta	Nopal Tratamiento: estiércol
Peso de nopal	484.85 g	971.33 g
Volumen de agua para extracción	969.7 ml	1 942.66 ml
Volumen de mucílago obtenido	1 580 ml	2 300 ml
Peso de nopal sin mucílago	212.9 g	403.46 g
Rendimiento mucílago	74%	78%
°Brix	2	1.2
pH	4.46	4.47
Azúcares reductores totales	1.82%	1.23%
Azúcares reductores directos	1.33%	1.03%

As shown in Figure 16, leachate fertilization treatment type represented a higher yield of cladodes in contrast to other products, particularly the water-based treatment type resulted in low yields, whereas chemical fertilizer, compost and manure showed an average yield of 50.4 cladodes.

Regarding the physical characteristics of the nopal, the treatments used had no effect on the color parameters nor was there a significant variation in weight and size. Parameters such as acidity and pH were within the standard ranges for vegetable nopal cited by the literature (Rodríguez-Felix and Cantwell, 1988; Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006; Aguilar-Sánchez *et al.*, 2007). Regarding Cladode texture, the values found were slightly lower than those reported in a similar study by Aguilar-Sánchez *et al.* (2007), which showed significant differences ($p \leq 0.05$) where the highest value was shown by 'Copena F1' (15.08 Nw) and less firmness was obtained by 'Oreja de elefante' (8.14 Nw).

The few variations that occurred in the different types of treatments for the fertilization of the crop, resulted in a homogenization of the produced cladodium, which made it possible to cut and harvest the nopal to proceed with its selection and categorization and to perform mucilage extraction. It is important to note that the low variation in the nopal characteristics as a function of the treatment was expected so the cladodes used in the mucilage experiment were representative and with similar characteristics to those of the crops throughout the study region.

Regarding the mucilage yield and considering the same weight-volume ratio, no significant difference in yield was shown; however, regarding to the chemical parameters, a variation was observed. The mucilage obtained from the nopal fertilized with compost had a higher amount of both sugars and direct and total reducers, the pH is not as acidic as that found in other nopales ranging between 3 and 3.5 (Matsuhira *et al.*, 2005), the yield was 74% for nopal (compost) and 78% nopal (manure). Physically the compost nopal showed higher viscosity compared to manure nopal. The values previously mentioned, are shown in Table 1.

Discussion

First, in general it was possible to compare the yields and the quality of the final product by evaluating different fertilization systems, depending on the fact that the type of treatment

Discusión

En primera instancia fue posible comparar en forma general los rendimientos y calidad del producto final mediante la evaluación de diferentes sistemas de fertilización, esto en función de que en la actualidad el tipo de tratamiento que recibe el cultivo es representado enteramente por la aplicación directa de estiércol fresco (Tavera-Cortés *et al.*, 2014). Esto representa afectaciones al medio ambiente por la liberación de gases de efecto invernadero (GEI) y sobre todo se compromete la inocuidad del cladodio y se limita el mercado de consumo por la imposibilidad de certificar un proceso productivo orgánico. Los resultados permiten establecer que, mediante la utilización de otros sistemas de fertilización, especialmente el lixiviado generado en un proceso de compostaje, se puede generar un rendimiento ligeramente mayor al obtenido con un tipo de tratamiento a base de estiércol.

Es importante señalar, que la recomendación para el cambio en el sistema de fertilización está en función de los beneficios ambientales al reducir la emisión de GEI así como la implementación de un proceso de compostaje para los desechos orgánicos autogenerados; sin embargo, se recomienda el realizar un estudio especializado para medir con exactitud las emisiones de GEI, así los diferentes impactos ambientales para generar mayor evidencia que respalde los resultados de esta investigación para un cambio en el tipo de tratamiento.

Por otro lado, los resultados obtenidos en torno al aprovechamiento del mucilago identificaron una metodología para su extracción, la cual, por sus características simplificadas, puede ser aplicada por los propios productores de nopal en la región. Esto posibilitaría la creación de una nueva actividad económica en la zona centrada en la extracción y aprovechamiento del mucilago, especialmente su comercialización a industrias productivas. Aun cuando el mucilago obtenido presentó una mayor cantidad de azúcares tanto reductores directos como totales y un pH no tan ácido, es conveniente realizar una caracterización química a profundidad para determinar los compuestos presentes en los mucilagos, aunado a una caracterización reológica, con estos parámetros será posible determinar que otros usos se le pueden dar al mucilago obtenido. Muñoz (2016) demostró que las soluciones acuosas preparadas con mucilagos de cladodios maduros muestran un comportamiento altamente elástico a concentraciones mayores al 4% p/p. lo que

that the crop receives is represented entirely by the direct application of fresh manure (Tavera-Cortés *et al.*, 2014). This represents damage to the environment by the release of greenhouse gases (GHG) and above all it compromises the safety of the cladode and limits the consumer market due to the impossibility of certifying an organic production process. The results allowed to establish that, through the use of other fertilization systems, especially the leachate generated in a composting process, a slightly higher yield can be generated than that obtained with a manure treatment type.

It is important to note that the recommendation for the change in the fertilization system depends on the environmental benefits of reducing GHG emissions as well as the implementation of a composting process for self-generated organic wastes; however, it is recommended to perform a specialized study to accurately measure GHG emissions, as well as the different environmental impacts to generate more evidence to support the results of this research for a change in the treatment type.

On the other hand, the results obtained regarding the mucilage use, identified a methodology for its extraction, which, due to its simplified characteristics, can be applied by the nopal producers in the region. This would allow the creation of a new economic activity in the area focused on the extraction and exploitation of the mucilage, especially its commercialization to productive industries. Although when the obtained mucilage showed a greater sugars amount both direct and total reductants and a not so acidic pH, it is convenient to carry out a deep chemical characterization to determine the compounds present in the mucilages, together with a rheological characterization, using these parameters it will be possible to determine what other uses can be given to the obtained mucilage. Muñoz (2016) showed that aqueous solutions prepared with mature cladodium mucilages show highly elastic behavior at concentrations greater than 4% p/p, which leads to an increase in the viscosity and elasticity of elements that can be added to building materials. Therefore, the extraction and use of nopal mucilage in the Milpa Alta Delegation is an area of opportunity for the use of nopal, which, due to its quality characteristics, can not be marketed for direct consumption.

Conclusions

The research analyzes two important aspects in the cultivation of nopal, specifically in the Milpa Alta Delegation in Mexico City. On one hand, different fertilization systems

conlleva a un incremento en la viscosidad y en la elasticidad de elementos que pueden ser adicionados a materiales de construcción. Por consiguiente, la extracción y uso del mucílago de nopal en la Delegación Milpa Alta es un área de oportunidad para el aprovechamiento del nopal que, por sus características de calidad, no puede ser comercializado para consumo directo.

Conclusiones

La investigación realizada analiza dos aspectos importantes en el cultivo de nopal, específicamente en la delegación Milpa en la Ciudad de México. Por una parte, se evalúan diferentes sistemas de fertilización, lo cual permitió concluir que una posible sustitución del tipo de tratamiento actual a base de estiércol fresco de res por un tratamiento a base de lixiviado de composta, puede tener un ligero incremento en el rendimiento del cultivo amén de beneficios ambientales. Por otra parte, la investigación analiza el uso del mucílago del nopal, en donde fue posible concluir que una metodología para su extracción y aprovechamiento puede ser llevada a cabo por los propios productores, igualmente fue posible determinar las características generales del mucílago el cual puede ser evaluado como subproducto en industrias productivas para mejorar materiales de construcción.

Literatura citada

- Aguilar, S. L.; Martínez, D. M. T.; Barrientos, P. A. F.; Aguilar, G. N. y Gallegos, V. C. 2007. Potencial de oscurecimiento enzimático de variedades de nopalitos. *J. PACD*. 9:165-184.
- Aquino, L.; Rodríguez, J.; Méndez, L. y Torres, K. 2009. Inhibición del oscurecimiento con mucílago de nopal (*Opuntia ficus indica*) en el secado de plátano Roatan. *Información Tecnológica*. 20.4:15.
- Bacardi, G. M.; Dueñas, M. D. and Jiménez, C. A. 2007. Lower ingeffection postprandial glycemic response of nopales added to Mexicanbreakfasts. *Diabetes Care*. 30(5):1264-1265.
- Betancourt, D. M. A.; Hernández, P. P.; García, S. A.; Cruz, H. F. and Paredes, L. O. 2006. Physico-chemical changes in cladodes (nopalitos) from cultivated and wild cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition*. 61:115-119.
- Blanco, M. F.; Valdez, C. R. and Ruiz, G. R. R. 2002. Intensive production of cactus pear under plastic tunnels. *In: Nefzaoui, A. and Inglese, P. (Eds.). Proc. 4th International Congress on Cactus Pear and Cochineal*. Oct. 22-28. Hammamet, Tunes. *Acta Hort*. 581:279-282.
- were evaluated, which allowed to conclude that a possible substitution of the current treatment type based on fresh manure for a compost leachate treatment that may have a slight increase in yield as well as environmental benefits. On the other hand, the research analyzes the use of nopal mucilage and it was possible to conclude that a methodology for its extraction and use can be carried out by the producers themselves, it was also possible to determine the general characteristics of the mucilage which can be evaluated as a byproduct in productive industries to improve construction materials.

End of the English version



- Cantwell, M. 1999. Manejo postcosecha de tunas y nopalitos. *In: Barbera, G.; Inglese, P. y Pimienta, E. (Eds.). 3 Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal*, 132. Roma. 126-143 pp.
- Caplan, K. 1995. Merchandising, distribution and marketing nopalitos and cactus pears. *In: Proceedings of the First Annual Conference of the Professional Association for Cactus Development*. San Antonio, Texas. USA. 46-47 pp.
- Cárdenas, A.; Higuera, C. I. and Goycoolea, F. 1997. Rheology and aggregation of cactus (*Opuntia ficus-indica*) mucilage in solution. *J. Profess. Assoc. Cactus Develop.* 2:152-159.
- Castellanos, M. C.; Becerra, N.; Carreño, L. and Páez, L. 2012. Comparativ estudy of the flocculantaction of *Opuntia ficus indica* Mucilage by two methods: coagulation and electrocoagulation in the leachates of pigua landfill in tunja. *Revista AIDIS de Ingeniería y Ciencias Ambientales: Investigación, desarrollo y práctica*. 5(1):44-55.
- Chavez, M. Ck.; Casas, A. and Tecante, A. 2009. The *Opuntia* (Cactaceae) and *Dactylopius* (Hemiptera: Dactylopiidae) in Mexico: a historical perspective of use, interaction and distribution. *Bio. Conserv.* 18:3337-3355.
- FAO-OMS. 1993. World wide codex standard for nopal. *Codex Stan 185-1993. Codex alimentarius. Volume five B. Tropical fresh fruits and vegetables. Food and Agriculture Organization of the United Nations. World Health Organization*. Roma. 85-93p.
- Flores, A. 1992. Producción de vino y aguardiente de tuna, alternativa en el aprovechamiento del nopal. *Ciencia y Desarrollo*. 17:56-68.
- Flores, V. C. A. 1999. Producción, industrialización y comercialización de nopalitos. *In: Barbera, G., Inglese, P. y Pimienta-Barrios, E. (eds.). Agroecología, cultivo y usos del nopal. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal*, 132. Roma. 97-105.
- Flores, V. C. 2003. Importancia del nopal. *In: Flores Valdéz, C. A. (Ed.). nopalitos y tunas, producción, comercialización, poscosecha e industrialización*. 1^{ra} Ed. Universidad Autónoma Chapingo, CIESTAAM. México. 1-18 pp.
- Hernández, U. M. I.; Pérez, T. E. and Rodríguez, G. M. E. 2011. Chemicalanalysis of nutritional content of pricklypads (*Opuntia ficus indica*) at variedages in anorganicharvest. *Int. J. Environ. Res. Public Health*. 8(5):1287-95.

- Madjdoub, H.; Roudesli, S.; Picton, L.; Le C. D.; Muller, G. and Grisel, M. 2001. Prickly pear nopal spectin from *Opuntia ficus-indica*. Physico-chemical study in dilute and semidilute solutions. Carbohydrate Polymers. 46:69-79.
- Martínez, A. 2012. Efecto de la aplicación de recubrimientos de nano emulsión-mucílago de nopal sobre la actividad enzimática de manzana fresca cortada. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México (UNAM). México. 24-28
- Matsuhira, B.; Lillo, L.; Saenz, C.; Urzu, Carlos and Zarate, O. 2005. Chemical characterization of the mucilage from fruits of *Opuntia ficus indica*. Carbohydrate Polymers. 63:263-267 p.
- McGarvie, D. and Parolis, H. 1981. The acid-labile peripheral chains of the mucilage of *Opuntia ficus indica*. Carbohydrate Res. 94:57-65.
- Medina, T. L.; Brito, De la F. E.; Torrestiana, S. B. and Alonso, S. 2003. Mechanical properties of gels formed by mixtures of mucilage gum (*Opuntia ficus-indica*) and carrageenans. Carbohydr. Polym. 52:143-150.
- Muñoz, C. 2016. Caracterización reológica de mucílago de *Opuntia ficus-indica* en flujo cortante. Tesis de Maestría. Instituto Politécnico Nacional (IPN). México. 9-16
- Nerd, A.; Dumotier, M. and Mizrahi, Y. 1997. Properties and post harvest behaviour of the vegetable cactus nopal *Opuntia ficus-indica*. Postharv. Biol. Technol. 10:135-143.
- Paulsen, B. S.; and Lund, S. P. 1979. Water soluble polysaccharides of *Opuntia ficus indica*. Phytochemistry. 18:569-571.
- Pimienta, E. 1997. El nopal en México y el mundo. In: cactáceas, suculentas mexicanas. CVS Publicaciones, México. 87-95.
- Orona, C. I.; Cueto, W. J. A.; Murillo, A. B.; Santamaría, C. J.; Flores, H. A.; Valdez, C. R.; García, H. J. L. y Troyo, D. E. 2004. Extracción nutrimental de nopal verdura bajo condiciones de riego por goteo. J. Profess. Assoc. Cactus Develop. 6:90-10.
- Ramayo, R. L.; Saucedo, V. C. y Lakshminarayana, S. 1978. Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal hortaliza (*Opuntia inermis* Coulter) por refrigeración. Chapingo, Nueva Época 10, México. 30-32 pp.
- Rivera, J. 2015. Caracterización reológica de mucílago de *Opuntia ficus-indica* en flujo cortante. Tesis de Doctorado. Instituto Politécnico Nacional (IPN). México. 9-16.
- Rodríguez, F. A. and Cantwell, M. 1988. Developmental changes in composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos). Plant Foods for Human Nutrition. 38:83-93.
- Rodríguez, F. A. 2002. Post harvest physiology and technology of cactus pear fruits and cactus leaves. Acta Hort. 581:191-199.
- Rodríguez, F. A. and Villegas, O. M. 1997. Quality of cactus stems (*Opuntia ficus-indica*) during low temperature storage. J. Profess. Assoc. Cactus Develop. 2:142-151.
- Sáenz, C. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de servicios agrícolas de la FAO 162. Publicado por la Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. Roma. 7-35 pp.
- SAGARPA. (Secretaría de Agricultura Ganadería, Pesca y Alimentación) 2016. Cierre de la producción agrícola por cultivo. Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera. <http://www.siap.gob.mx/cierre-de-la-produccion-agricola-por-cultivo/>.
- Sudzuki, F.; Muñoz, C. y Berger, H. 1993. El cultivo de la tuna (*Cactus pear*). Departamento de Reproducción Agrícola. Universidad de Chile. 40-42
- Tavera, C. M. E.; Escamilla, G. P. E.; Alvarado, R. H.; Salinas, C. E. and Galicia, V. S. 2014. Regional development model based on organic production of nopal. Modern Econ. 5:239-249.
- Trachtenberg, S. and Mayer, A. M. 1981. Composition and properties of *Opuntia ficus indica*. Phytochemistry. 20:2665-2668.