



COLEGIO DE POSTGRADUADOS

INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS MONTECILLO

POSTGRADO EN RECURSOS GENÉTICOS Y PRODUCTIVIDAD

FRUTICULTURA

ACANTHOCEREUS TETRAGONUS Y *A. SUBINERMIS*:
CARACTERÍSTICAS ETNOBOTÁNICAS, AGRONÓMICAS, FISIOLÓGICAS Y DE
APROVECHAMIENTO DE TALLOS

AÍDA JUÁREZ CRUZ

T E S I S

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL

PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

MONTECILLO, TEXCOCO, EDO. DE MÉXICO

2016

La presente tesis titulada: *Acanthocereus tetragonus* y *A. subinermis*: Características etnobotánicas, agronómicas, fisiológicas y de aprovechamiento de tallos realizada por la alumna **Aída Juárez Cruz**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
RECURSOS GÉNETICOS Y PRODUCTIVIDAD
FRUTICULTURA

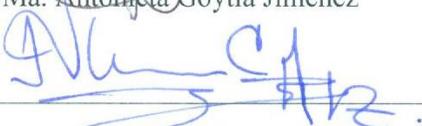
CONSEJO PARTICULAR

CONSEJERO: 
Dr. Alfredo López Jiménez

ASESOR: 
Dr. Crescenciano Saucedo Veloz

ASESOR: 
Dr. José Isabel Cortés Flores

ASESOR: 
Dra. Ma. Antonieta Goytia Jiménez

ASESOR: 
Dr. F. Víctor Conde Martínez

Montecillo, Texcoco, Estado de México, Julio de 2016.

***Acanthocereus tetragonus* Y *A. subinermis*: CARACTERÍSTICAS ETNOBOTÁNICAS, AGRONÓMICAS, FISIOLÓGICAS Y DE APROVECHAMIENTO DE TALLOS**

Aída Juárez-Cruz, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2016

La cruceta o jacube (*A. tetragonus*) y el nopal de cruz (*A. subinermis*) son parte de los recursos fitogenéticos de México que pueden ser valiosos en nuestro país y el mundo para enfrentar la demanda de alimentos ricos en fibra dietética, particularmente en regiones de clima tropical donde el aumento de temperatura y sequía, debido al cambio climático, serán un problema. El objetivo general de esta investigación fue conocer y evaluar algunas características etnobotánicas, agronómicas y fisiológicas de estas especies para incrementar su potencial productivo y de aprovechamiento de los tallos con fines alimenticios. El primer capítulo trata sobre los usos, el requerimiento climático, la distribución potencial y la fenología de ambas especies en México, y el segundo sobre el crecimiento y parámetros fisiológicos de los tallos después de cosecha de *A. tetragonus* en respuesta a seis tratamientos de fertilización (Nitrógeno (N), N+enmienda, N+ceniza, vermicompost, gallinaza y testigo) y dos épocas de cosecha (Primavera y otoño) en Villa Emiliano Zapata, Veracruz. Estudiado en un diseño factorial 6x2 completamente al azar con tres repeticiones. El principal uso de *A. tetragonus* y *A. subinermis* es el alimenticio; los tallos inmaduros se consumen como verdura y en menor proporción la flor y/o el fruto. Respecto a la primera parte del trabajo se determinó que el requerimiento climático para *A. tetragonus* es de 35 °C temperatura máxima, 17 °C temperatura mínima, su distribución es desde una altitud de 1 a 525 msnm, distribuyéndose en clima cálido subhúmedo a semiárido; mientras que para *A. subinermis* la temperatura máxima es de 38.6 °C y 8.7 °C la temperatura mínima, se encuentra desde 11 a 1515 msnm, en clima seco a cálido subhúmedo. De acuerdo a su distribución potencial ambas cactáceas constituyen una alternativa nutricional para la gente que vive en poblaciones rurales de México: *A. tetragonus* para la región costera del Golfo de México y *A. subinermis* para la zona centro-sur. El desarrollo fenológico de ambas especies es similar bajo las mismas condiciones ambientales; la mayor producción de tallos se concentró en primavera. Por otra parte en *A. tetragonus* se encontró que las plantas fertilizadas con vermicompost y gallinaza presentan mayor crecimiento longitudinal acumulado de los tallos y mayor número de brotes en comparación a los otros tratamientos. La calidad de los tallos fue afectada por la época de cosecha y la fuente de fertilización. Los tratamientos a base de N + enmienda, gallinaza y vermicompost presentaron las concentraciones más altas en la mayoría de los parámetros de calidad organoléptica, nutricional y mineral. Con excepción del K, la concentración de macro y micronutrientes fue mayor en los tallos cosechados en otoño.

Palabras clave: crecimiento, minerales, calidad organoléptica, fibra dietética, antioxidantes, requerimiento climático, fenología.

***Acanthocereus tetragonus* AND *A. subinermis*: ETHNOBOTANICAL AND AGRONOMICAL, PHYSIOLOGICAL AND USE OF STEMS CHARACTERISTICS**

Aída Juárez Cruz, D.C.
Colegio de Postgraduados, 2014

The “cruceca” or “jacabe” (*A. tetragonus*) and “nopal de cruz” (*A. subinermis*) are part of plant genetic resources of Mexico that could contribute prominently to food and development of humanity. For this reason, this research was to general objective to contribute to the ethnobotanical, nutrition, productive and nutritional potential knowledge of *A. tetragonus* and *A. subinermis*. In the first part, their use, climate requirement, potential distribution and phenology of both species in Mexico were investigated, and the second, growth and postharvest quality of *A. tetragonus* comestible stems based on six fertilization sources and two harvest seasons were evaluated. The main use of *A. tetragonus* and *A. subinermis* was food. Climate requirement for *A. tetragonus* is 35 °C maximum temperature, 17 °C minimum temperature, altitude of 1-525 masl, distributed in warm climate subhumid to semiarid; while for *A. subinermis* was 38.6 °C maximum temperature, 8.7 °C minimum temperature, 11 to 1515 masl, in dry climate sub-humid warm. According to their potential distribution they are a nutritional alternative for rural populations of Mexico, *A. tetragonus* for the coastal region of the Mexico Gulf and *A. subinermis* for the south-central area. The phenological development of both species is similar when their grown under the same environmental conditions; immature stems production increased in spring. When evaluating growth and postharvest quality of *A. tetragonus* immature stems based on six fertilization sources and two harvest seasons found that plants fertilized with vermicompost and chicken manure had higher longitudinal accumulated growth and increased number of shoots compared to other treatments. There were no effects on postharvest quality of immature stems of *A. tetragonus* depending on the time of the harvest season, sources fertilization and interaction of both. Treatments based on N + amendment, chicken manure and vermicompost had the highest content in most organoleptic quality parameters, nutritional and mineral content. Except for K, the contents of macro- and micronutrients were higher when harvested stems were harvested in autumn.

Key words: Growth, minerals, sensory quality, dietary fiber, antioxidants, climate requirements, phenology.



*“Lo mejor de estudiar un postgrado es darse cuenta que
aún falta mucho por investigar”*

Lidia Juárez Cruz

Agradecimientos

A mí país, por su calidez y sus riquezas naturales que son fuente de inspiración para muchos investigadores.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) por la beca otorgada durante mi proceso de formación a nivel postgrado.

Al Colegio de Postgraduados por confiar en mi propuesta de investigación y darme la oportunidad de dar a conocer un género de cactáceas con gran potencial como cultivo alternativo.

A los Doctores Alfredo López Jiménez, Crescenciano Saucedo Veloz, José Isabel Cortes Flores, Ma. Antonieta Goytia Jiménez y F. Víctor Conde Martínez Hernández por su tiempo, dedicación, orientación y consejos brindados en la realización de la presente investigación y escritura de tesis.

A los maestros E. Aracely Gaytán Acuña e Ildfonso Ronquillo Cedillo por sus consejos y armonía.

A mis profesores por su ejemplo, consejos y apoyo incondicional.

A Fruticultura por permitirme ver la producción con un enfoque integral.

A la Universidad Autónoma de Querétaro, en especial a la Dra. Rosalía Reynoso Camacho y a su grupo de asesorados por su apoyo incondicional durante mi estancia en esa casa de estudios.

A los profesores que me brindaron sus conocimientos, confianza y apoyo incondicional.

A los laboratoristas y al personal de fruticultura y de todo el Colegio de Postgraduados.

A mis papás y a mis hermanas por su apoyo incondicional.

A mi esposo, con quién comparto un proyecto de vida y el amor por la investigación y la docencia.

A mis amigos y compañeros con quienes compartí parte de mi vida, experiencias y a trabajar en equipo.

Y por último, a mi querido Texcoco, cuna del rey poeta Netzahualcóyolt, lugar que me brindó su calidez durante más de una década de mi vida.

Gracias...

Aida Juárez Cruz

Dedicatoria

Dedico este trabajo a:

Dios

Mis padres Eduvina Cruz Ortiz y Elías Juárez González

Mis hermanas Ana Brenda y Eduvina

Mi esposo Gabriel García

y muy especialmente a mí.

Podría describir con mil palabras mi dedicatoria, pero sólo he encontrado dos que describen por completo lo mucho que les quiero decir... gracias y los amo.

Atentamente

Aida Juárez Cruz

CONTENIDO

	Página
1. INTRODUCCIÓN GENERAL	1
2. USOS, FENOLOGÍA, CLIMA Y DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE	4
<i>Acanthocereus tetragonus</i> Y <i>A. subinermis</i> EN MÉXICO	4
2.1. RESUMEN.....	4
2.2. INTRODUCCIÓN	5
2.3. MATERIALES Y MÉTODOS	6
Área de Estudio	6
Aspectos Etnobotánicos.....	7
Condiciones climáticas	7
Fenología	9
Distribución potencial.....	10
2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	10
Aspectos Etnobotánicos.....	10
Condiciones climáticas	23
Fenología	24
Distribución actual y potencial	26
2.5 CONCLUSIONES	30
2.6. LITERATURA CITADA.....	31
3. CRECIMIENTO, NUTRICIÓN Y CALIDAD POSTCOSECHA.....	34
DE <i>Acanthocereus tetragonus</i>.....	34
3.1. RESUMEN.....	34
3.2. INTRODUCCIÓN	35
3.3. MATERIALES Y MÉTODOS	36
Sitio experimental.....	36
Parcela experimental y tratamientos.....	36

Muestreo y muestras	38
Crecimiento de tallos	39
Calidad organoléptica	39
Calidad nutricional	39
Análisis estadístico	40
3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	40
Crecimiento de tallos	40
Calidad organoléptica	43
Calidad nutricional	44
3.5. CONCLUSIONES	52
3.6. LITERATURA CITADA.....	52
4. CONCLUSIONES GENERALES.....	58
5. LITERATURA GENERAL	59

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1	Características etnobotánicas de <i>A. subinermis</i> y <i>A. tetragonus</i> -----	28
Cuadro 2	Categorías de uso de los tallos de <i>A. tetragonus</i> en Veracruz y <i>A. subinermis</i> en Oaxaca, México-----	30
Cuadro 3	Requerimiento climático de <i>A. tetragonus</i> -----	34
Cuadro 4	Requerimiento climático de <i>A. subinermis</i> -----	35
Cuadro 5	Variables bioclimáticas MAXENT que explican la distribución potencial de <i>A. tetragonus</i> -----	38
Cuadro 6	Variables bioclimáticas MAXENT que explican la distribución potencial de <i>A.</i> <i>subinermis</i> -----	40
Cuadro 7	Lista de tratamientos evaluados en <i>A. tetragonus</i> -----	
Cuadro 8	Crecimiento longitudinal de los tallos de <i>A. tetragonus</i> registrado durante el mes de abril del 2013, previo a la aplicación de tratamientos-----	48
Cuadro 9	Cuadrados medios y significancia estadística en la evaluación de los parámetros, en las dos épocas y tratamientos evaluados-----	53
Cuadro 10	Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables azúcares reductores, glucosa, fructosa, SST, pH y acidez, en tallos inmaduros de <i>A. tetragonus</i> en dos épocas de muestreo-----	55
Cuadro 11	Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables de fibra dietética soluble, insoluble y total, en tallos inmaduros de <i>A. tetragonus</i> en dos épocas de muestreo-----	56
Cuadro 12	Cuadrados medios y significancia estadística en la evaluación de los parámetros, en las dos épocas y tratamientos evaluados-----	57
Cuadro 13	Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables vitamina C, clorofila a, b y total en tallos de <i>A. tetragonus</i> , en dos épocas de muestreo-----	57
Cuadro 14	Cuadrados medios y significancia estadística en la evaluación de los parámetros, en las dos épocas y tratamientos evaluados-----	59
Cuadro 15	Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables N, P, K, Ca, Mg y Na, en tallos inmaduros de <i>A. tetragonus</i> en dos épocas de muestreo-----	60
Cuadro 16	Cuadrados medios y significancia estadística de micronutrientes de tallos inmaduros de <i>A. tetragonus</i> en dos épocas de cosecha, tratamientos y la interacción de estos-----	61
Cuadro 17	Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables Fe, Mn, Cu y Zn en tallos inmaduros de <i>A. tetragonus</i> en dos épocas de muestreo-----	61
Cuadro 18	Contenido de fenoles y flavonoides totales, en tallos inmaduros de <i>A.</i> <i>tetragonus</i> y <i>A. subinermis</i> -----	62

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Localización de las áreas de estudio en los estados de Veracruz y Oaxaca, México-----	19
Figura 2	Algunos usos de la cruceta y el nopal de cruz. A. crucetas en adobo; B. nopal de cruz en escabeche; C. cercos de crucetas y D. nopal de cruz; E. nopal de cruz como ornamental -----	26
Figura 3	Forma de uso alimenticio de los tallos de <i>A. tetragonus</i> -----	27
Figura 4	Fenología de la cruceta o jacube (<i>A. tetragonus</i>) en Villa Emiliano Zapata, Veracruz 2012-2014-----	36
Figura 5	Fenología del nopal de cruz o estrella (<i>Acanthocereus subinermis</i>) en Villa Emiliano Zapata, Veracruz 2012-2014-----	37
Figura 6	Distribución potencial de <i>A. tetragonus</i> en México. La escala de variación de color indica el porcentaje de probabilidad de distribución--	39
Figura 7	Distribución potencial de <i>A. subinermis</i> en México. La escala de variación de color indica la probabilidad de presencia de la especie-----	41
Figura 8	A. Poda de formación y B. Plantación de <i>A. tetragonus</i> , vista de las parcelas experimentales en Villa E. Zapata, Veracruz. Cada parcela fue rodeada con una barrera física de plástico para separar las raíces y evitar combinación de tratamientos-----	49
Figura 9	Crecimiento acumulado de los tallos de Jacube o cruceta (<i>A. tetragonus</i>) por efecto de la fertilización, durante el periodo marzo 2013 a mayo de 2014, en el municipio de Emiliano Zapata, Veracruz-----	52
Figura 10	A. Emisión de brotes en los diferentes tratamientos, B. Cuantificación de crecimiento en laboratorio-----	53

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

Recursos fitogenéticos como el maíz, el frijol, la calabaza, el chile, la pitahaya, el algodón, el nopal, los agaves, la chía, la flor de muerto y la vainilla son parte de la riqueza biológica de México, misma que es ampliamente reconocida a nivel mundial por contribuir prominentemente a la alimentación y desarrollo de la humanidad (Molina y Córdova, 2006). Estos y otros recursos son esenciales para intensificar la producción agrícola sostenible y para asegurar el medio de subsistencia de una gran proporción de mujeres y hombres que dependen de la agricultura (FAO, 2011). Sin embargo, a pesar de los trabajos enfocados al conocimiento y uso de la flora útil en nuestro país, a través de publicaciones que informan de recursos fitogenéticos para la agricultura y la alimentación en México (Ramírez *et al.*, 2012; Molina y Córdova, 2006) y en el mundo (FAO, 2011) aún quedan muchas especies por investigar o que se han investigado poco entre ellas dos cactáceas pertenecientes al género *Acanthocereus*. El objetivo general de esta investigación fue conocer y evaluar algunas características etnobotánicas, agronómicas y fisiológicas para incrementar su potencial productivo y alimenticio de *A. tetragonus* y *A. subinermis*.

La cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*) y el nopal de cruz (*Acanthocereus subinermis*) son cactáceas de clima tropical que en las zonas centro y sur de México se utilizan como cercos vivos, ornamentales, medicinales y alimento. Se utilizan como verdura formando parte de la alimentación de algunas zonas donde se distribuyen y se comercializan. El contenido mineral de sus tallos hacen de estas especies un alimento con cualidades nutritivas y saludables (Juárez- Cruz *et al.*, 2012; Ramos-Aguirre, 2004, Córdova *et al.*, 2000). Sin embargo, los múltiples usos de estas plantas no son ampliamente conocidos, se desconocen o es escasa la

información acerca de aspectos como sus requerimientos climáticos, fenología y distribución y por otra parte, la transmisión del conocimiento etnobotánico de estas especies es afectada por fenómenos como la migración, la falta de información nutrimental y una tecnología apropiada para la producción de tallos, principalmente, flores o frutos de consumo. Como cerco vivo se acrecenta la desaparición de ambas especies en el huerto de traspatio, lugar donde se cultivan generalmente. El primer objetivo de esta investigación fue conocer los usos, requerimiento climático, distribución geográfica y fenología en México para mejorar el potencial productivo y fomentar el uso alimenticio de estas cactáceas. La hipótesis fue: *Acanthocereus tetragonus* y *A. subinermis* poseen similitudes en cuanto a usos, requerimiento climático, distribución geográfica y fenología.

Por otro lado, en la actualidad no basta conocer los usos y aspectos agronómicos de los cultivos, la sociedad cada vez demanda calidad de los alimentos producidos. Esta cualidad está íntimamente relacionada con los llamados alimentos saludables y productos naturales, los cuales toman realce no sólo por su calidad sino porque mejoran la salud y previenen enfermedades como el cáncer, hipertensión y diabetes (Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006; Magloire *et al.*, 2006; Yahia y Mondragon-Jacobo, 2011; López-Romero *et al.*, 2014). A nivel mundial, un gran sector de los consumidores prefiere alimentos libres de agroquímicos, inocuos y con alto valor nutricional, en especial aquellos que son consumidos en fresco. El tipo de compuestos que contiene cada planta, su crecimiento y desarrollo no sólo depende de la especie sino también de su nutrición. Al ser los nutrientes para las plantas un componente vital en cualquier sistema de agricultura sostenible (FAO, 1999). El segundo objetivo fue evaluar el crecimiento y calidad postcosecha de tallos inmaduros comestibles de *A. tetragonus* en respuesta a seis fuentes de

fertilización y dos épocas de cosecha, bajo la hipótesis: Existe relación entre fuentes de fertilización, crecimiento y calidad de los tallos producidos en épocas diferentes.

CAPÍTULO I:
USOS, FENOLOGÍA, CLIMA Y DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE
***Acanthocereus tetragonus* Y *A. subinermis* EN MÉXICO**

2. USOS, FENOLOGÍA, CLIMA Y DISTRIBUCIÓN POTENCIAL DE

Acanthocereus tetragonus Y *A. subinermis* EN MÉXICO

2.1. RESUMEN

La cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*) y el nopal de cruz (*Acanthocereus subinermis*) son cactáceas que en las zonas centro y sur de México se utilizan como cercos vivos, ornamentales, medicinales y alimento. Sin embargo, estos cercos son sustituidos por barreras de materiales inertes, y la trasmisión del conocimiento de los usos, área de distribución y fenología es escasa o nula. El objetivo de este trabajo fue documentar los usos, el requerimiento climático, la distribución potencial y la fenología de ambas especies en México, bajo un mismo sistema de manejo, para mejorar el potencial productivo y alimenticio del hombre, además de transmitir este conocimiento a productores y consumidores. Se encontró que la gente encuestada consume los tallos, flores y frutos de ambas especies; sin embargo, los tallos inmaduros son los más comercializados y utilizados como verdura en diversos platillos tradicionales. Por lo tanto constituyen un alimento alternativo en comunidades rurales del trópico en México. La generación de mapas de distribución potencial brindó las herramientas para ubicar nuevos puntos de colecta y/o establecimiento de áreas de producción, y que a la vez permitan difundir el consumo, comportamiento fenológico y cultivo de estas especies.

Palabras clave: *Usos, cruceta o jacube, nopal de cruz, distribución, requerimientos climáticos, fenología.*

2.2. INTRODUCCIÓN

El género *Acanthocereus* está integrado de unas 10 especies que se distribuyen principalmente en Centroamérica y América del Sur. La cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*) y el nopal de cruz (*Acanthocereus subinermis*) son cactáceas que habitan en la selva tropical caducifolia, matorrales costeros y regiones semiáridas. La especie *A. subinermis* es endémica de México, mientras que *A. tetragonus*, cuyo origen es incierto, se distribuye ampliamente en las zonas costeras del continente americano, desde Florida, USA hasta Venezuela, incluyendo las Antillas. En zonas rurales de México estas plantas multipropósito, son importantes para la población porque se utilizan como cerco vivo, ornamental, alimenticio y medicinal (Scheinvar, 2004; Arias-Montes *et al.*, 2012); los tallos inmaduros cocidos son utilizados como verdura formando parte de la gastronomía de diversas regiones rurales y suburbanas. Su principal forma de producción es en huertos de traspatio y la venta de estos tallos forma parte de los ingresos de familias de escasos recursos. Son un alimento nutritivo, versátil en su preparación y económico que ha logrado penetrar el ambiente de la cocina mexicana “huasteca”, “queretana”, y “oaxaqueña”, entre otras. Los tallos de *A. tetragonus* y *A. subinermis*, en base seca por cada 100 g, contienen 13.38 y 15.80 g de fibra; 24.49 y 21.77 g de proteína; 2.80 y 2.42 % de K; 29.18 y 25.76 mg•kg⁻¹ de Zn, respectivamente (Juárez-Cruz *et al.*, 2012). Además son plantas adaptadas a bajos regímenes de humedad, por lo que requieren menos riegos y toleran altas temperaturas (Nobel 2011), siendo una alternativa de producción en zonas de escasa precipitación y rápido desarrollo cuando son propagadas vegetativamente. No obstante, su uso no debe quedar restringido únicamente a los tallos, sino considerar otros órganos como el nopal (*Opuntia* sp) de cuyas plantas se obtiene alimento para consumo en fresco y diversidad de

productos industriales. Una forma de fortalecer el conocimiento de una especie es investigando aspectos fenológicos y distribución geográfica; aspectos estrechamente relacionados a sus necesidades climáticas y edáficas.

En comunidades rurales del centro del Estado de Veracruz como Villa Emiliano Zapata, Chahuapan y Apazapan la cruceta era abundante, ya que por tener espinas grandes fue ampliamente utilizada como cerco vivo, sus tallos como alimento y fuente de ingresos. Pero en la actualidad estos recursos fitogenéticos están siendo desplazados por barreras de materiales inertes, el conocimiento de los requerimientos climáticos, fenología del cultivo y distribución de estas plantas es escaso y por otra parte, la transmisión del conocimiento etnobotánico de estas especies es afectada por fenómenos como la migración, la falta de información nutrimental, de una tecnología apropiada de producción y de interés en su consumo y en su uso como cerco vivo acrecentan la desaparición de las especies del huerto de traspatio. Esta situación es similar para el nopal de cruz en comunidades como Zaachila y San Juan Bautista en el Estado de Oaxaca. Por esta razón, se justifica unir esfuerzos para evitar la pérdida del conocimiento tradicional de estas cactáceas, no sólo para preservar esta herencia biocultural, sino también para fomentar su utilidad y beneficios, y al mismo tiempo proteger la biodiversidad. El objetivo de este trabajo fue conocer los usos, requerimiento climático, distribución geográfica y fenología en México para mejorar el potencial productivo y fomentar el uso alimenticio de estas cactáceas.

2.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Área de Estudio

El área de estudio comprendió cinco comunidades pertenecientes a tres municipios de la zona centro del Estado de Veracruz y una comunidad del Estado de Oaxaca; se enfocó en

comunidades donde se tienen antecedentes de su uso y aprovechamiento de las especies objetos de la investigación. Para *A. tetragonus*, comprendió las comunidades de Tigrillos y Chahuapan, municipio de Apazapan; Villa Emiliano Zapata y La Balsa, municipio de Emiliano Zapata y Mata Tejón, municipio de Cotaxtla, ubicados en la zona centro del Estado de Veracruz. Para *A. subinermis*, se consideró la comunidad de San Juan Bautista, municipio de Cuicatlán, ubicados en la reserva de la Biosfera de Tehuacán - Cuicatlán, del estado de Oaxaca (Figura 1).

Aspectos Etnobotánicos

El trabajo comprendió una fase de gabinete donde se buscó información de ambas especies. Posteriormente, una fase de campo para concentrar y dar a conocer sus usos, por lo que, en la fase de campo se implementó una exploración etnobotánica en las comunidades antes mencionadas, colecta de material vegetal y entrevistas abiertas y semiestructuradas, utilizando las estrategias de muestreo propuestas por Vogl *et al.* (2004) en las comunidades elegidas. Las entrevistas semiestructuradas fueron desarrolladas con base a los puntos de la ficha de colecta del Banco de Germoplasma de Especies Nativas (BANGEV) de la Universidad Autónoma Chapingo. Se realizó un total de 30 entrevistas a informantes clave, que incluyó a las amas de casa, productores y consumidores; teniendo un promedio 6 entrevistados por comunidad.

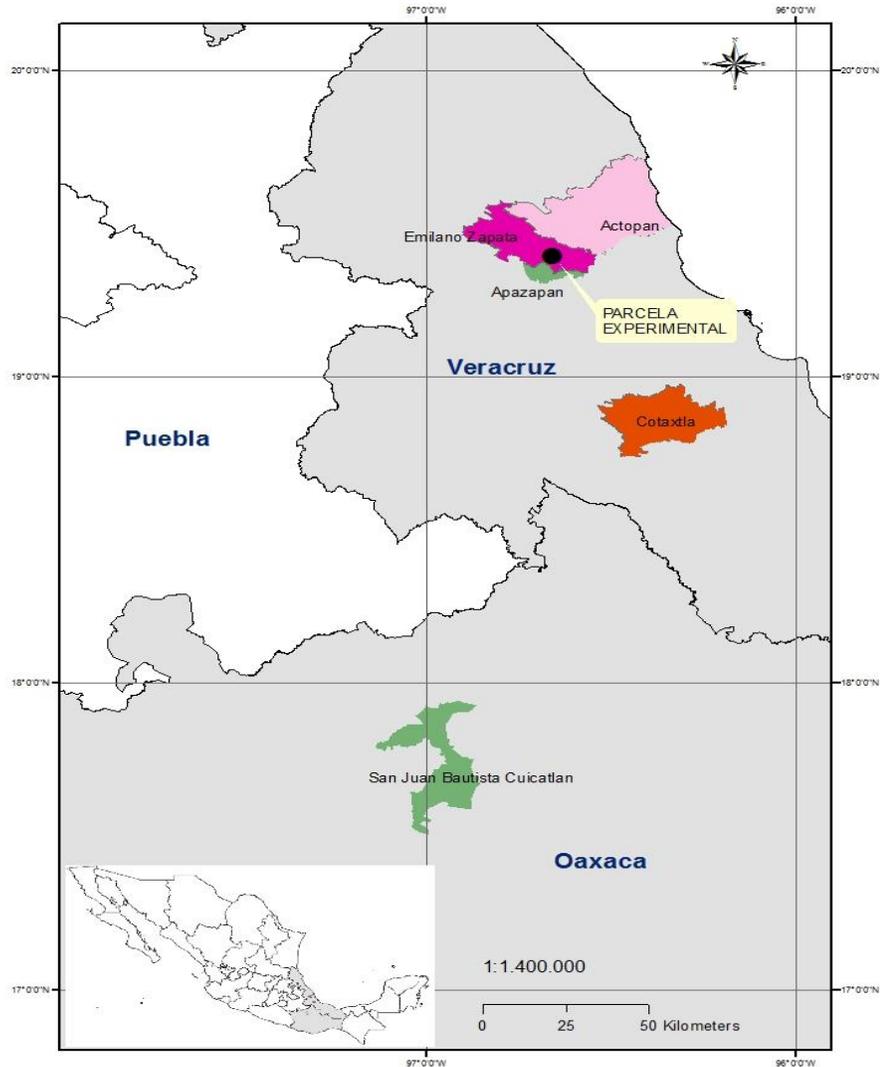


Figura 1. Localización de las áreas de estudio en los estados de Veracruz y Oaxaca, México.

Condiciones climáticas

Se utilizaron puntos georeferenciada de 51 colectas de *A. tetragonus* y 15 de *A. subinermis*, obtenidos de la Red Mundial de Información sobre Biodiversidad (REMIB)-CONABIO para determinar las condiciones climáticas de cada área de colecta. Para ello, a través del programa Google Earth Pro ver. 7.1.2.2 y con base en las coordenadas de cada punto, se ubicó el municipio y a su vez la estación meteorológica más cercana, que compartiera un rango

de altitud y clima similar. Una vez identificado lo anterior, se obtuvieron las normales climatológicas de la misma, a través del Servicio Meteorológico Nacional. Para caracterizar el área se consideraron las variables: temperatura diaria máxima-media-mínima, altitud, precipitación, evaporación anual y días con lluvia. Adicionalmente, con ayuda de los prontuarios de información geográfica municipal de los Estados Unidos Mexicanos del INEGI 2009, se ubicó el clima y tipo de suelo, de cada sitio.

Fenología

Para caracterizar las etapas fenológicas, fase vegetativa y fase reproductiva, se realizaron observaciones mensuales de septiembre 2012 al 2014 en una parcela experimental establecida el 16 agosto de 2012 en Villa Emiliano Zapata, Veracruz; localizada en las coordenadas 19° 23' LN y 96° 37' LO a 250 m de altitud. El clima es cálido subhúmedo Aw''o(w),(i')g, con temperatura media anual entre 22 y 26°C, con lluvias en verano; precipitación media anual de 1000 mm y suelo franco arcilloso. Se aplicaron riegos de auxilio mensuales de noviembre a abril, época de escasa precipitación; tal y como lo hacen algunos productores que comercializan tallos como verdura.

Para la plantación, se utilizó material vegetal de *A. tetragonus* colectado en la comunidad de Chahuapan municipio de Apazapan, Veracruz; mientras que *A. subinermis* se obtuvo del municipio de Zachila, Oaxaca. Se plantaron fracciones de tallos de 0.5 m de longitud, enterrando 1/3 parte del tallo, a una distancia de 0.4 m entre plantas y 1.2 m entre hileras. El trabajo se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar, con un tallo como unidad experimental, y 20 repeticiones.

Distribución potencial

Para generar los mapas de distribución potencial de ambas especies, se empleó el algoritmo MaxEnt (Maximum Entropy) ver. 3.3.3 (Phillips *et al.*, 2006 y 2008), haciendo uso de las 19 variables bioclimáticas utilizadas por el programa, y la base de datos de los puntos de colecta de *A. tetragonus* y *A. subinermis*. Para tener la predicción más confiable, se eligió el modelo que presentó un valor de AUC (Area Under the Curve) más cercano a 1.0; y se eligieron aquellas variables cuya contribución explicara cómo mínimo un 80 % de la predicción. El formato de salida analizado fue el acumulativo (rango de 0 a 100). La modificación de color, escala, coordenadas geográficas y sobreposición de límites estatales para la presentación final de los mapas se realizó con el software ArcGIS ver. 10.1 (Esri Inc., 2012).

2.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Aspectos Etnobotánicos

Nombre científico y nombre común

El nombre del género *Acanthocereus* (A. Berger) Britton *et* Rose deriva del griego *akantha* = espinoso. Son plantas terrestres arbustivas, con tallos dimórficos erectos o decumbentes. Las especies pertenecientes a este género son aproximadamente 10; se encuentran distribuidas en ambas costas de México en altitudes bajas, formando parte de la vegetación del bosque tropical caducifolio y matorrales costeros de la vertiente del golfo de México y del Pacífico; están reportados desde el sur de los Estados Unidos de América (Florida y Texas), el Caribe, las Antillas, costas de Centroamérica y Sudamérica hasta Santa Catarina, Brasil (Scheinvar, 2004).

A. tetragonus (L.) Hummelinck, fue descrita como *Melocactus tetragonus repens* a finales del siglo XVII por Plumier (1689-1697) y anteriormente identificado como *A. pentagonus* o *A. floridanus*. Es conocida comúnmente como “crucecita” en la zona centro-sur de Veracruz, en comunidades pertenecientes a los municipios de Actopan, Emiliano Zapata, Apazapan, Puente Nacional, Cotaxtla entre otros. Mientras que al norte del Estado en comunidades como Papantla, Poza Rica, Tuxpan y el área perteneciente a la Huasteca Hidalguense-Tamaulipeca -Potosína -Veracruzana es llamada “Jacube” o “Jacubo”. Esta es la segunda especie del género *Acanthocereus* más abundante en el país. En Yucatán, su nombre maya es tsakam, nuum tsutsuy (CICY, 2010). En Cuba la llaman pitahaya (EcuRed, 2015) y manzana de piedra en Nicaragua (Chízar-Fernández, 2014). Otros nombres comunes reportados por CONABIO (2015) son cactus trepador, pitahaya criolla, breva de chuco, casicure, susucure cardón o pitaya naranja y de acuerdo a Germplasm Resources Information Network de la USDA (2015) es conocido como barbed-wire cactus, sword-pear y triangle cactus en inglés y snårpelarkaktus en sueco.

El nombre común de *A. subinermis* Britton y Rose en Cuicatlán, Etna, Mitla, y Valles Centrales, en el estado de Oaxaca y sus áreas aledañas es “Nopal de Cruz”, “Nopal Estrella” o “Nopal de esquina” o “Pitahaya”, siendo el primero el nombre común más usual. Esta especie es endémica de México (Arias-Montes *et al.* 2012, Reyes-Santiago *et al.* 2004). Ambas especies en su nombre común hacen alusión a la forma del tallo, la cual se asemeja a una “cruz” o “estrella” en función del número de alas, tres o cuatro, incluso *A. subinermis* posee hasta ocho cuando joven, y al uso tan semejante con el nopal. La “cruz o estrella” se aprecia al hacerle un corte transversal al tallo. Estas formas hacen aún más atractivos los platillos elaborados con ellos.

Usos

Alimenticio

Tallos. Se utilizan como verdura, y algunas personas les atribuyen propiedades afrodisíacas y hasta curativas, ya que lo utilizan para controlar diabetes, estreñimiento y curar quemaduras. Su consumo se asocia a la época de Cuaresma (marzo-abril), periodo durante el cual se presenta la mayor emisión de los tallos inmaduros en la planta. Los tallos se consumen asados o hervidos, solos o acompañados con carne de cerdo, pollo, res, pescados, mariscos, huevo o lácteos. Se pueden guisar en más de 30 diferentes guisos, por ejemplo: a la mexicana, salsa roja o verde, adobo con carne de cerdo o pescado (Figura 2 a), escabeche (Figuras 2 b), chile con tortas de camarón seco, arroz, frijoles hervidos, con habas, con huevo, en ensalada, o simplemente con otras verduras. Su elaboración es tan versátil que se degusta en sopas, caldos, adobos, salsas, ensaladas o postres. Para su preparación, primero se seleccionan y cortan los tallos; se retiran las espinas y la cutícula en caso de ser necesario. Enseguida, se lavan y pican de acuerdo al platillo; después, se hierven con sal, ajo y cebolla e incluso pueden agregar un poco de ceniza o bicarbonato para la cocción. Una vez que los tallos ya están blandos se “escurren” y finalmente se preparan al gusto (Figura 3).

A diferencia del nopal, *A. tetragonus* y *A. subinermis* tienen menos mucílago, mismo que es aún menor en los tallos más jóvenes; ventaja que se le adjudican Córdoba *et al.* (2000) a *A. tetragonus*. Además posee un sabor agradable, aunque algunas especies son un poco “garrosas” o ácidas, motivo por el cual se les agrega media cucharadita de bicarbonato o ceniza a la hora de hervir; esto les permite mantener un sabor suave y color verde intenso más atractivo para los comensales.

Flores. Las flores pueden medir más de 20 cm de longitud. En Oaxaca, las flores de *A. subinermis* son consumidas previo a la antesis, es decir, antes de que abra el botón floral, para evitar la presencia de insectos en el interior. Una vez cosechadas, se retiran las pequeñas aréolas que cubren el pedúnculo, se lavan, cortan y agregan a los frijoles (*Phaseolus vulgaris*) una vez que han hervido. También se consumen capeadas, o picadas finamente en “tortas” de huevo.

Fruto. Aunque comestible, no es ampliamente consumido por la población local del área de estudio. Al igual que las tunas, el fruto es consumido en fresco y licuado para preparar aguas frescas. Posee aréolas con espinas similares a las de la pitaya, que pueden ser retiradas con ayuda de utensilios como pinzas para pan. El fruto maduro es dehiscente y menos jugoso que la tuna y pitaya, pero sus colores rojos, rosáceos y naranjas son muy atractivos, inclusive para las aves.

El fruto de *A. tetragonus* se conoce como tuna, tunilla o pitaya; y el de *A. subinermis* como tunita, popochita o pitaya (Arias-Montes *et al.*, 2012). Este es globoso, mide de 4 a 6 cm y presenta aréolas. Sus semillas son negras, abundantes, pequeñas, miden cerca de 2 mm; con testa delgada. Estas fueron descritas por Engelmann en 1859 y al igual que *A. subinermis* fue ilustrada por Britton y Rose en 1920.

Forraje

De *A. tetragonus* utilizan principalmente tallos maduros a los cuales retiran las areolas, y posteriormente se pican para luego depositarlos en los comederos de ganado ovino o bovino. En algunas regiones rurales del estado de Jalisco utilizan la especie *A. occidentalis* también como forraje, para complementar la ración alimenticia del ganado bovino, ya que forma densos matorrales (Garza *et al.*, 2004).

Cerco vivo

En algunas comunidades rurales se usan como cercos vivos. Lamentablemente cuando las comunidades se urbanizan sustituyen este tipo de cercos vivos por otros de materiales inertes. La cruceta posee espinas prominentes y es difícil de atravesar este tipo de cercos (Figuras 2 c y d); sin embargo, al poseer el nopal de cruz espinas más cortas dejan el cerco con una estructura arbustiva de 1 a 2.5 m de altura ó bien en lugares como San Juan Bautista Cuicatlán, Oaxaca lo establecen junto a las cercas de carrizo llamadas “chinames” para evitar que alguien brinque el cerco.

Ornamental

Ambas especies forman parte de los huertos de traspatio por su uso alimenticio; sin embargo, ocasionalmente se utilizan como ornamentales y decorativas. La especie *A. subinermis* embellece los jardines o traspatios de los hogares por poseer un hábito de crecimiento arbustivo con tallos decumbentes color verde brillante, con bordes crestados y espinas cortas que la hacen muy atractivas (Figura 2 e). *A. tetragonus* también se utiliza para este fin, se ramifica y los multiartículos son decumbentes o erectos generando una arquitectura que luce atractivamente en un jardín; aunque es más agresiva para los habitantes por poseer espinas de hasta 7 cm de longitud. Las flores de *Acanthocereus* spp son sumamente bellas, pero sólo abren por la noche y parte de la mañana. Debido a su rápido crecimiento esta especie puede ser útil como portainjerto.



Figura 2. Algunos usos de la cruceta y el nopal de cruz. A. crucetas en adobo; B. nopal de cruz en escabeche; C. cercos de crucetas y D. nopal de cruz; E. nopal de cruz como ornamental.

Medicinal

En la región centro del Estado de Veracruz, algunas personas les atribuyen propiedades medicinales para controlar la hipertensión arterial y la diabetes, debido posiblemente al contenido de fibra que posee. Ramos (2004) menciona que un artículo publicado en el Anuario Vegetal de Tamaulipas en 1990 reportó que de *A. tetragonus* “la sustancia mucilaginosa de su tallo se utiliza para aliviar quemaduras y que los tallos se cuecen y son usados para afecciones respiratorias...” De acuerdo a las encuestas, en Veracruz se le da uso medicinal a la cutícula del tallo tierno, la cual, sirve contra el estreñimiento. La cantidad que se coge con tres dedos, 5 g aproximadamente, se pone a hervir en 0.5 L de agua. A los niños se les proporciona una cucharada antes de cada alimento y a los adultos media taza de la infusión. En Cuicatlán, Oaxaca

se consumen los tallos de *A. subinermis* para mejorar el proceso digestivo y sanar úlceras intestinales.

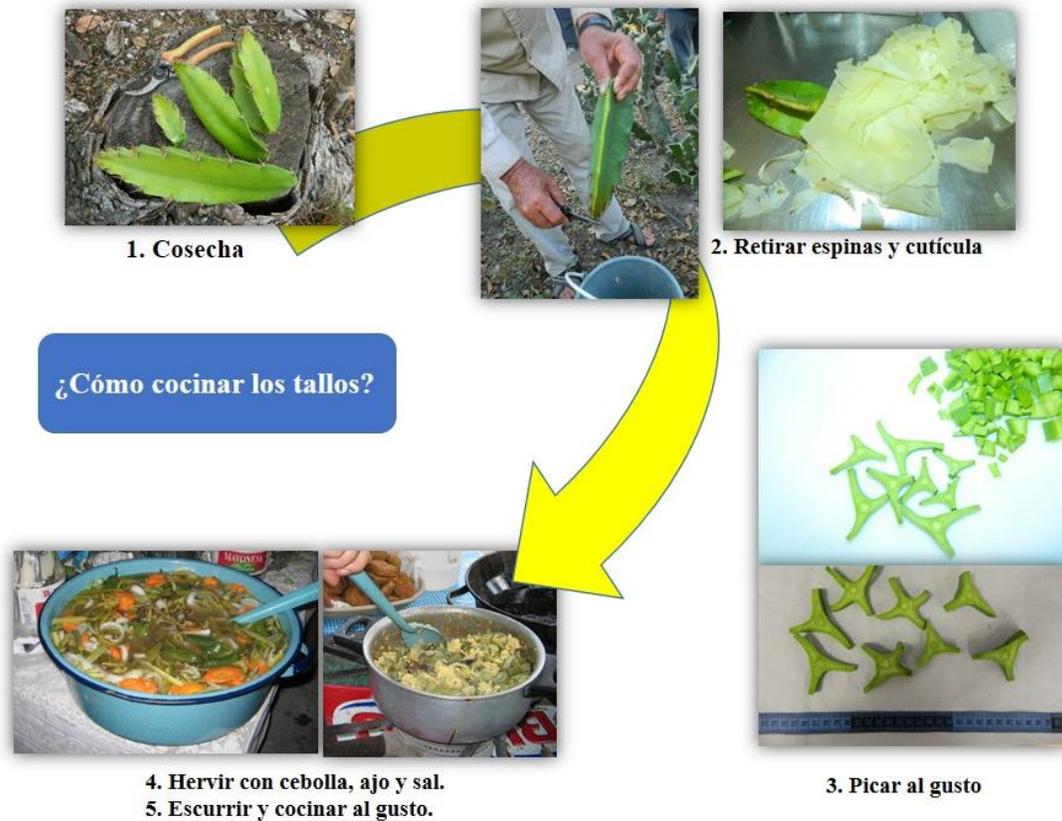


Figura 3. Forma de uso alimenticio de los tallos de *A. tetragonus*.

Combustible

Este es un uso adicional proporcionado a los tallos cuando adquieren una corteza leñosa y están secos.

Potenciales

A. tetragonus, *A. subinermis* y el bajinco o nopal estrella (*Acanthocereus occidentalis*) tienen usos diversos, como ornamental, forrajero y alimenticio. El estudio fitoquímico realizado

por Garza *et al.* (2004) para *A. occidentalis* indicó la presencia de insaturaciones, oxhidrilos fenólicos, esteroides, triterpenos, carbohidratos, sesquiterpen-lactonas, flavonas y alcaloides; así como compuestos del metabolismo secundario que pueden ser utilizados en la industria alimenticia, farmacéutica y de cosméticos. Otras características de las cactáceas es la presencia de pectinas en frutos, así como colorantes naturales, mismos que tienen gran demanda por la industria alimenticia. Estudios de este tipo son necesarios realizar en *A. subinermis* y *A. tetragonus* pero otra gran oportunidad para ingresar al mercado es la industrialización de los tallos los cuales son deliciosos si se elaboran escabeches, yogures, panes y mermeladas.

Categorías de usos

En el Cuadro 1 se resumen los aspectos etnobotánicos y ecológicos de *A. subinermis* y *A. tetragonus* y en el Cuadro 2 sus categorías de usos donde se pueden observar las similitudes que existe entre ellas. Al analizar ambos Cuadros, se observa que se aprovechan los tallos, las flores o frutos de las cactáceas en estudio, sin embargo no se reporta y/o se desconoce el uso de la raíz.

Cuadro 1. Características etnobotánicas de *A. subinermis* y *A. tetragonus*.

	Especie	
	<i>A. tetragonus</i> ¹	<i>A. subinermis</i> ²
Nombre común	Jacube o Cruceta	Nopal de Cruz, Nopal estrella o Nopal de Esquina,
<i>Ubicación geográfica</i>		
Localidad	Villa Emiliano Zapata	San Juan Bautista Cuicatlán
Municipio y Estado	Emiliano Zapata, Veracruz	San Juan Bautista Cuicatlán, Oaxaca
Coordenadas	18° 44' N - 96° 19' W	17° 48' N - 96° 57' W
Altitud	250 msnm	620 msnm
<i>Medio ecológico</i>		
Clima	Cálido subhúmedo con lluvias en verano, invierno seco.	Seco en donde la evaporación excede a la precipitación.
Tipología del sitio	Corte de camino, barranca, loma, parcela, huerto familiar, jardín.	Corte de camino, barranca, loma, parcela, huerto familiar, jardín.

Suelo	Cambisol vertico: negro, alta pedregosidad superficial (piedras calizas), buenos para la agricultura cuando hay buenas lluvias.	Fluvisol éutrico: compuesto siempre de materiales acarreados por agua.
Vegetación	Selva baja caducifolia	Bosque tropical caducifolio
Insolación	Soleado	Soleado
Humedad	Seco	Seco
Grado de manejo	Domesticada	Domesticada
Tipo de manejo	Individual, asociada	Individual, asociada
<i>Características del material</i>		
Habito de crecimiento	Erecto, arqueado	Erecto, arqueado
Forma biológica	Arbusto	Arbusto
Relación con otras especies	Independiente	Independiente
Cantidad	Abundante	Abundante
Variabilidad de la población	Heterogénea	Homogénea
Ciclo biológico	Perenne de vida larga	Perenne de vida larga
Forma de reproducción	Semilla y vegetativo	Semilla y vegetativo
Periodo de floración	Mayo – Julio	Junio – Septiembre
Época de floración	Primavera - Verano	Verano – Otoño
<i>Valor de uso</i>		
Tipo de uso	Alimento humano y animal, combustible, medicinal, ornato, cerco vivo.	Alimento humano y animal, medicinal, ornato, cerco vivo.
Objetivo de uso	Alimenticio	Alimenticio
Partes involucradas	Tallo y fruto.	Tallo, flor y fruto.
Frecuencia de uso	Frecuente	Frecuente
Periodo de obtención de tallos inmaduros	Abundantes de febrero a mayo.	Abundantes de febrero a mayo.
Preparación	Cocido, infusión, frito, curtido.	Cocido, infusión, frito y curtido.
Forma de preparación	Para guisos la lavan, retiran espinas y cutícula, pican, hierven y escurren antes de adicionarla.	Para guisos la lavan, retiran espinas y cutícula, pican, hierven y escurren antes de adicionarla.

-
1. Datos recopilados en la zona centro del Estado de Veracruz. 2. Datos recopilados en San Juan Bautista, Cuicatlán, Oaxaca y complementados con los reportados por Reyes-Santiago *et al.* (2004).

Cuadro 2. Categorías de uso de los tallos de *A. tetragonus* en Veracruz y *A. subinermis* en Oaxaca, México.

Categoría antropocéntrica	Especie	
	<i>A. tetragonus</i> (%)	<i>A. subinermis</i> (%)
Comestible	100	100
Construcción (Cerco vivo)	80	15
Ornamental	3	6
Medicinal	2	1
Forrajera	1	0
Combustible	1	1

En orden de importancia se identificaron seis categorías de uso para ambas especies: comestible, cerco vivo, ornamental, medicinal, combustible y forrajera. El 100 % de los entrevistados identifican el uso de las especies para consumo alimenticio principalmente por sus tallos inmaduros, los cuales son consumidos durante el primer cuatrimestre del año (enero-abril), época en la que se localiza la mayor producción de estos.

Los ambientes naturales en los que se encuentran inmersas las plantas presentan algún grado de perturbación antrópica producto de la deforestación de la vegetación nativa y el sobrepastoreo, principalmente. Razón por la cual es común observar a *A. tetragonus* entre las huertas de mango (*Manguifera indica*) o en los potreros.

Ecología

En forma silvestre estas cactáceas pueden crecer aisladas o formando colonias en suelos relativamente pobres y pedregosos. La especie *A. tetragonus* se puede encontrar en un hábitat propio de las selvas baja caducifolia, mediana subcaducifolia y baja inundable (CICY, 2010), en climas cálidos subhúmedos con lluvias en verano; en sitios cuya pendiente es escarpada hasta en aquellos relativamente planos, desde el nivel del mar hasta cerca de los 800 m de altitud. Se

encuentra en las orillas de caminos, ríos y pastizales. En el área de estudio, lo más común fue encontrarla en los jardines como ornamental, cerco vivo y/o formando parte de huertos familiares. Algunas especies frutícolas con las que están asociadas en la agricultura familiar son: aguacate (*Persea americana*), cocoteros (*Cocos nucifera*), caña de azúcar (*Sacharum officinarum*), mango manila (*Mangifera indica*), naranja (*Citrus sinensis*), limón (*Citrus sp.*), chico zapote (*Manilkara zapota*), platano (*Musa sp.*), ciruela mexicana (*Spondias mombin*), entre otros. Puede estar en lugares soleados o bajo la sombra de algún árbol, sí existe mucha sombra su crecimiento es lento y éste se acentúa si no cuenta con humedad.

En el caso de *A. subinermis* se encuentra en climas secos y cálidos subhúmedos, en terrenos con pendientes pronunciadas como la región de la Reserva de la Biosferea del Valle de Tehuacán – Cuicatlán. A nivel de huertos familiares o huertas de mango se encuentra asociada con especies cultivadas como níspero (*Eriobotrya japonica*), chicozapote (*Manilkara zapota*), mezquites (*Prosopis laevigata*), pitahaya (*Hylocereus undatus*), maracuyá (*Passiflora edulis*) y garambullo (*Myrtillocactus geometrizans*).

Ciclo biológico

Ambas especies son perennes. Existen cercos vivos de *A. tetragonus* en La Balsa y Chahuapan, Veracruz que superan los 50 años de edad. Esto es posible debido a que la cosecha frecuente de tallos inmaduros equivale a una poda de rejuvenecimiento, tal y como sucede en árboles frutales. En San Juan Bautista Cuicatlán, también hay cercos o plantas de *A. subinermis* de más de 50 años de edad, de las que frecuentemente se están cosechando sus tallos. La época de producción principal para la cruceta y el nopal de cruz es en los meses de marzo y abril.

Propagación y rendimiento

Los frutos son dehiscentes y las semillas que caen al suelo germinan; sin embargo, no hay reportes de viabilidad y germinación, sobre todo en *A. subinermis*. En *A. tetragonus* se encontró que las semillas presentaron más del 90 % de viabilidad y germinación. No obstante, la propagación asexual es más fácil y rápida, por lo que es más usual. De hecho, fue mediante estacas la forma en la que los pobladores empezaron a cultivarla. Sin embargo, es importante la reproducción sexual a fin de conservar la variabilidad que existe en estas especies.

Ambas especies son cultivadas en extensiones pequeñas, principalmente en traspatio y se comercializan en mercados locales. Para propagar *A. tetragonus* y *A. subinermis* se seleccionan tallos de más un año de edad, limpios, maduros, libres de plagas, enfermedades y de color verde brillante. Las amas de casa incluso toman en cuenta el sabor de los tallos inmaduros, color y el grosor de los tallos para seleccionar la planta madre. Por ejemplo, en la comunidad de Mata Tejón, Veracruz se considera para seleccionarlos un sabor ligeramente ácido de los tallos y un color violáceo en sus bordes. Los tallos seleccionados se cortan para obtener estacas de 30 cm a 50 cm de longitud. Para evitar pudriciones, facilitar la cicatrización y enraizamiento colocan las estacas bajo sombra y en lugar seco al menos por una semana. Al sembrar los tallos, estos se entierran de 10 a 15 cm de profundidad.

Estas especies tienen la gran ventaja de requerir poca cantidad de agua, por lo que son una opción de cultivo alternativo para zonas de escasa precipitación. Sin embargo, quienes comercializan sus tallos aplican riegos de auxilio en los meses de menor precipitación a fin de asegurar el rápido crecimiento de los tallos inmaduros. Se adaptan muy bien a suelos arcillosos, siempre y cuando presenten buen drenaje. En caso de plantarse como cerco vivo, se hace una zanja de aproximadamente 20 cm de ancho y 30 cm de profundidad. Los tallos se entierran de 15

a 20 cm cubriéndose con el mismo suelo. La distancia entre tallos es de 10 cm. En caso de plantarlas en un terreno más grande, la distancia entre hileras es de 1 a 1.5 m, ya que por la estructura de la planta los tallos se entrelazan a altas densidades. Dos años después de plantarlas, el rendimiento estimado en 10 m lineales de cruceta o nopal de cruz es de 8 a 10 kg/temporada. Por lo general, estas plantas son fertilizadas con las cenizas que las amas de casa obtienen de la leña que utilizan para cocinar. Aunque, al menos dos de los entrevistados hacen uso de urea como fertilizante, en general la producción de este cultivo es sustentable por no requerir de agroquímicos para su producción; lo que permite mantener un suelo vivo y saludable.

Comercialización

Al igual que en la zona semidesértica de Tamaulipas, en el Estado de Veracruz las crucetas se recolectan o cultivan en huertos de traspatio. Los tallos tiernos se cortan, se le quitan las espinas y se hacen pequeños atados para después ser comercializados en mercados locales y regionales. Los tallos tiernos brotan antes y/o después de las lluvias (Ramos, 2004).

En los mercados locales o bien en los tianguis de la región centro de Veracruz, por ejemplo en la ciudad de Xalapa y de Veracruz, los “jacubes” o “crucetas” los ponen a la venta en rollitos de cinco o seis piezas de 15 a 30 cm de longitud y un grosor de 4 a 8 cm cada tallo, o bien, a granel. El kilogramo cuesta entre \$ 12.00 y \$ 15.00 (pesos mexicanos), en ocasiones hasta \$ 20.00; los rollitos tienen un precio de \$ 8.00 a \$ 10.00. La venta de “nopal de cruz” en mercados locales de la región de Cuicatlán, es por montoncitos de cinco a ocho tallos tiernos (400 – 700 g), cuyo precio va de \$ 5.00 a \$ 10.00.

Condiciones climáticas

En los Cuadros 3 y 4 se reportan las condiciones climáticas en las cuales se ha observado y colectado material de *A. tetragonus* y *A. subinermis* crecen. Estos datos complementan la información aportada por Arias-Montes *et al.* (2012), CICY (2010), Reyes-Santiago *et al.* (2004) y Scheinvar (2004). El material de *A. subinermis* a diferencia de *A. tetragonus* crece en climas secos y cálidos subhúmedos, desde el nivel del mar hasta los 1100 m de altitud ó más. Por ejemplo es reportada a 1576 msnm en Asunción Nochixtlán - 300 m al oeste de Santa Catarina Tlaxila, Oaxaca. Las colectas de *A. tetragonus* se concentraron mayoritariamente en los estados de Oaxaca, Veracruz y Yucatán; y las de *A. subinermis* en Oaxaca, Puebla y Veracruz.

Cuadro 3. Requerimiento climático de *A. tetragonus**.

Temperatura diaria (°C)	Mínima	Máxima	Promedio anual
Máxima	29	35	32
Media	26	28	25
Mínima	17	22	19
Altitud (msnm)	1	525	46
Precipitación anual (mm)	595	2017	1084
Evaporación anual (mm)	1134	2773	1553
Días con lluvia anual	81	216	141
Clima	Cálido subhúmedo a semiárido.		
Tipos de suelo	Andosol, arenosol, cambisol, histosol, leptosol, phaeozem, regosol, solonchak, vertisol, luvisol.		

* Las colectas de *A. tetragonus* se concentraron mayoritariamente en los estados de Oaxaca,

Veracruz y Yucatán.

Cuadro 4. Requerimiento climático de *A. subinermis**.

Temperatura diaria (°C)	Mínima	Máxima	Promedio anual
Máxima	29	38.6	34.7
Media	19.5	28.6	24.5
Mínima	8.7	18.8	14.8
Altitud (msnm)	11	1515	912
Precipitación anual (mm)	360.4	2317.8	963.8
Evaporación anual (mm)	1262.2	2773.0	1905.0
Días con lluvia anual	43.9	160.7	82.2
Clima	Seco a cálido subhúmedo.		
Tipos de suelo	Fluvisol éutrico, regosol, vertisol, andosol, luvisol, phaeozem, leptisol.		

*Las colectas de *A. subinermis* en se concentraron en Oaxaca, Puebla y Veracruz.

Fenología

Acanthocereus tetragonus

La fase vegetativa inicia entre diciembre y enero. Los tallos inmaduros están listos para su consumo de tres o cuatro semanas después de la brotación de la yema vegetativa. En plantas que carecen de riego, los meses en donde hay mayor producción son marzo y abril pero cuando las plantas se riegan al menos cada mes y se podan al menos dos veces al año la producción de tallos es durante todo el año. La floración se intensifica de mayo a julio, pero puede iniciar en abril y terminar hasta agosto, pero existe una segunda corta temporada entre octubre y diciembre. La época de fructificación inicia a finales de junio y finaliza a mediados de septiembre.

Acanthocereus subinermis

Plantas que tienen riego cada dos o tres semanas producen tallos inmaduros todo el año; la época de mayor producción de tallos es entre marzo y abril. La época de floración es entre junio y septiembre, en ocasiones presenta floración en el mes de noviembre. La época de amarre y crecimiento de fruto va de septiembre a noviembre. En las Figuras 4 y 5 se presenta el

calendario fenológico de *A. tetragonus* y *A. subinermis*, bajo las condiciones ambientales de Emiliano Zapata, Veracruz, México. En ellas se observa que el comportamiento fenológico es muy similar, ya que en ambas especies, los primeros tallos inmaduros se obtuvieron ocho meses después de la plantación de las estacas pero el 80% de tallos inmaduros se produjo de febrero a mayo. Con la aplicación de podas y riegos mensuales se estimuló la producción de tallos durante todo el año. La floración ocurrió en tallos de más de 10 meses de edad y se presentó entre mayo y agosto. El amarre de frutos fue de sólo 3% en *A. tetragonus* y 10 % en *A. subinermis*.

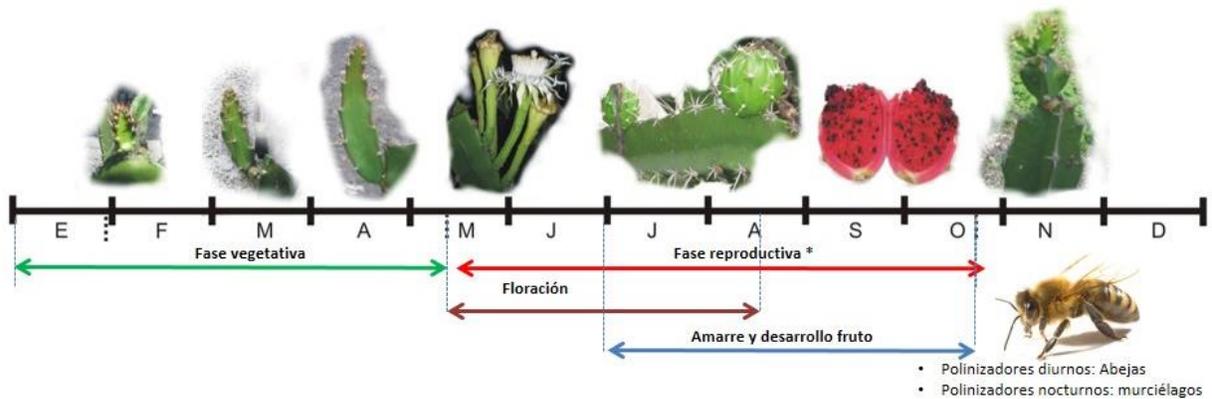


Figura 4. Fenología de la cruceta o jacube (*A. tetragonus*) en Villa Emiliano Zapata, Veracruz 2012-2014.

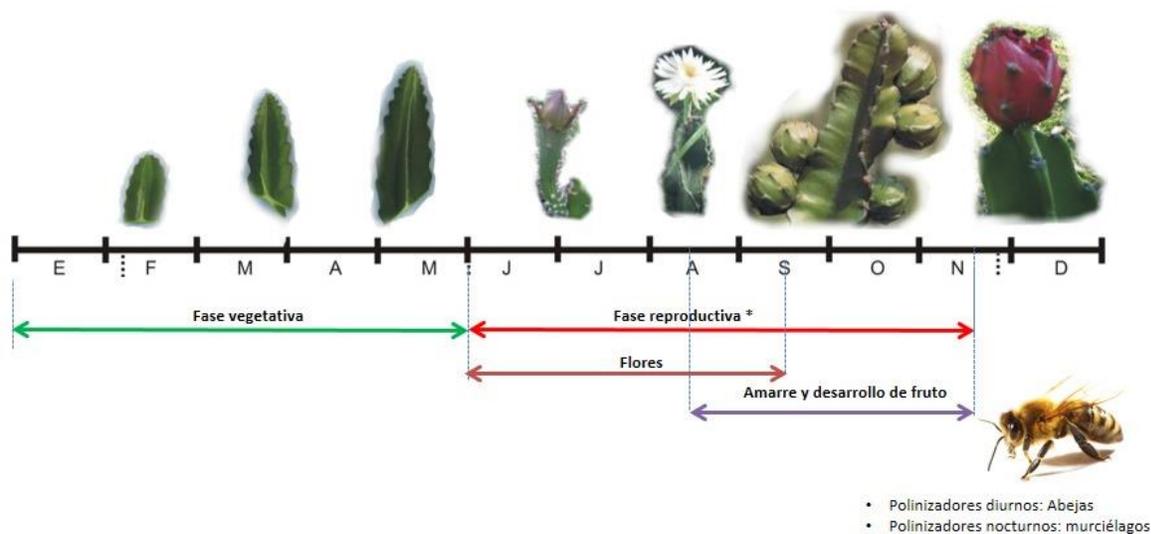


Figura 5. Fenología del nopal de cruz o estrella (*Acanthocereus subinermis*) en Villa Emiliano Zapata, Veracruz 2012-2014.

Distribución actual y potencial

Acanthocereus tetragonus

En el Cuadro 5 se muestran las cinco variables bioclimáticas derivadas del programa MaxEnt, que presentaron mayor porcentaje de contribución bajo el modelo “tipo umbral” y explicaron más del 80% de idoneidad del hábitat de *A. tetragonus*. Lo anterior permitió ubicar áreas con condiciones ambientales similares en estados ubicados en el Golfo y Pacífico de la República, con una probabilidad de presencia de la especie mayor a 69 % (Figura 6). La distribución actual de *A. tetragonus*, basada en los 51 puntos de colecta, se concentra en siete estados de la República Mexicana: Guerrero, Jalisco, Tamaulipas, Oaxaca, Quintana Roo, Veracruz, y Yucatán. Sin embargo, con el modelo arroja nuevas áreas ubicadas en los estados de Baja California Sur, Campeche, Chiapas, San Luis Potosí, Sinaloa y Tabasco. Lo anterior se corrobora, ya que se tiene conocimiento de colectas de esta especie, en la Sierra Gorda de

Querétaro y San Luis Potosí. Así mismo, Scheinvar (2004) mencionó que *A. tetragonus* tiene amplia distribución geográfica y se conoce en ambas costas del país, ya que es una especie que habita en el bosque tropical caducifolio y en matorrales costeros, desde las costas de Florida y de Texas, hasta las costas de Panamá, Colombia y Venezuela.

Cuadro 5. Variables bioclimáticas MAXENT que explican la distribución potencial de *A. tetragonus*.

Variable	Valor promedio*	Porcentaje de contribución	Importancia de permutación
Temperatura del mes más frío	11.7 °C	34.7	64.8
Rango de temperatura anual**	27.4 °C	14.6	16.1
Precipitación anual	1079 mm	11.7	5.1
Rango de temperatura media diurna	9.8 °C	9.4	0.1
Precipitación del trimestre más cálido (abril-junio)	261 mm	7.3	2.4
Temperatura media anual	25.8 °C	7.1	0

*Valores obtenidos de las Estaciones Meteorológicas analizadas para determinar el requerimiento climático de esta especie.

** Rango de temperatura anual = temperatura máxima del mes más cálido – temperatura mínima del mes más frío.

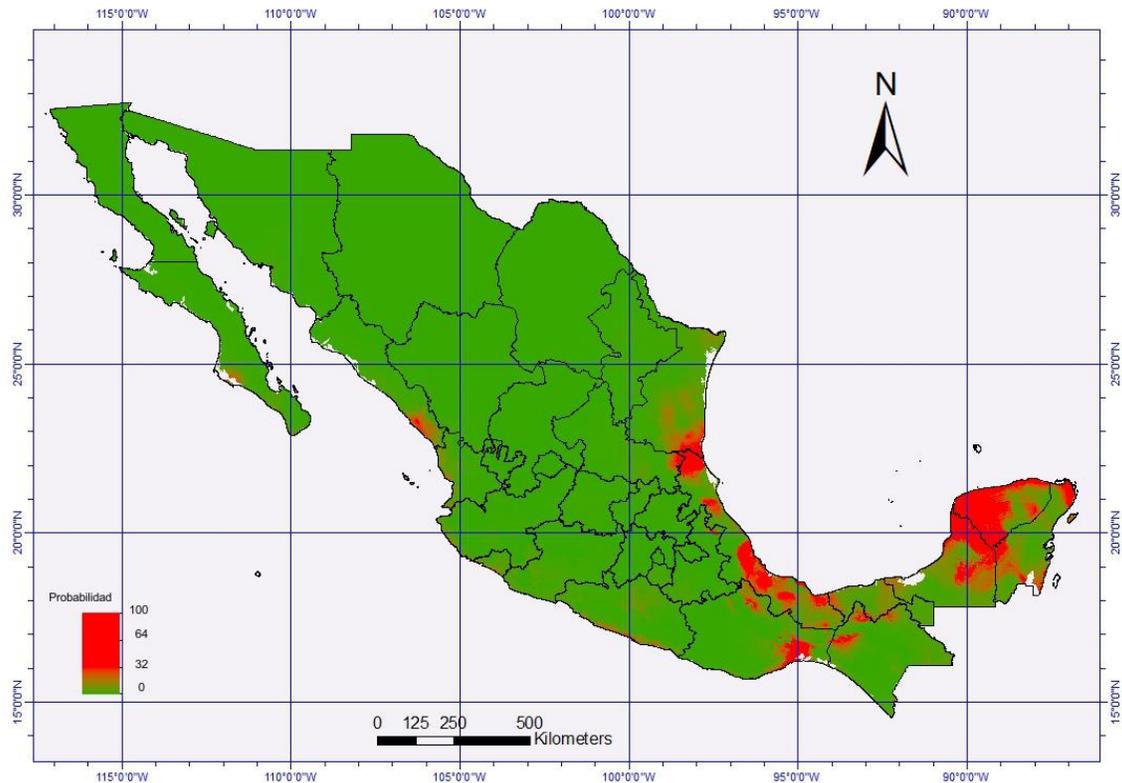


Figura 6. Distribución potencial de *A. tetragonus* en México. La escala de variación de color indica el porcentaje de probabilidad de distribución.

Acanthocereus subinermis

Las variables bioclimáticas generadas por MaxEnt y que presentaron mayor porcentaje de contribución al modelo “tipo umbral” se presentan en el Cuadro 7. El modelo permitió ubicar áreas con condiciones ambientales y con una probabilidad de presencia mayor al 77% y cuyos sitios se ubican en los estados de Baja California Sur, Chiapas, Guerrero, Morelos, Oaxaca, Puebla y Veracruz (Figura 7). Lo anterior se sumaría a los estados de Oaxaca, Chiapas y Guerrero, áreas donde se ha colectado y reportado su presencia; tal y como lo menciona Arias-Montes *et al.* (2012) en los estados de Oaxaca, Chiapas y Guerrero y de manera cultivada en

Morelos, Oaxaca y Puebla. El área de distribución potencial de *A. subinermis* es mayor a la de *A. tetragonus*, lo que explica el papel determinante que juega la temperatura, ya que esta especie tolera menores temperaturas comparada con *A. tetragonus*, así como menor precipitación y mayor altitud. Como ejemplo está un ejemplar de *A. subinermis* localizado en el municipio de Texcoco, Estado de México; lugar que tiene una temperatura media de 23.5°C, 554 mm de precipitación y una altitud de 2240 msnm (SMN, 2016).

Cuadro 6. Variables bioclimáticas MAXENT que explican la distribución potencial de *A. subinermis*.

Variable	Valor promedio*	Porcentaje de contribución	Importancia de permutación
Estacionalidad de la temperatura**	203.1	37.8	53.4
Temperatura mínima del mes más frío	8.7 °C	27.2	26.8
Precipitación del trimestre más frío (diciembre-febrero)	60 mm	24.4	9.0

*Valores obtenidos de las Estaciones Meteorológicas analizadas para determinar el requerimiento climático de esta especie. **Estacionalidad de la temperatura = desviación estándar de los valores de la temperatura media mensual * 100, en cada estación.

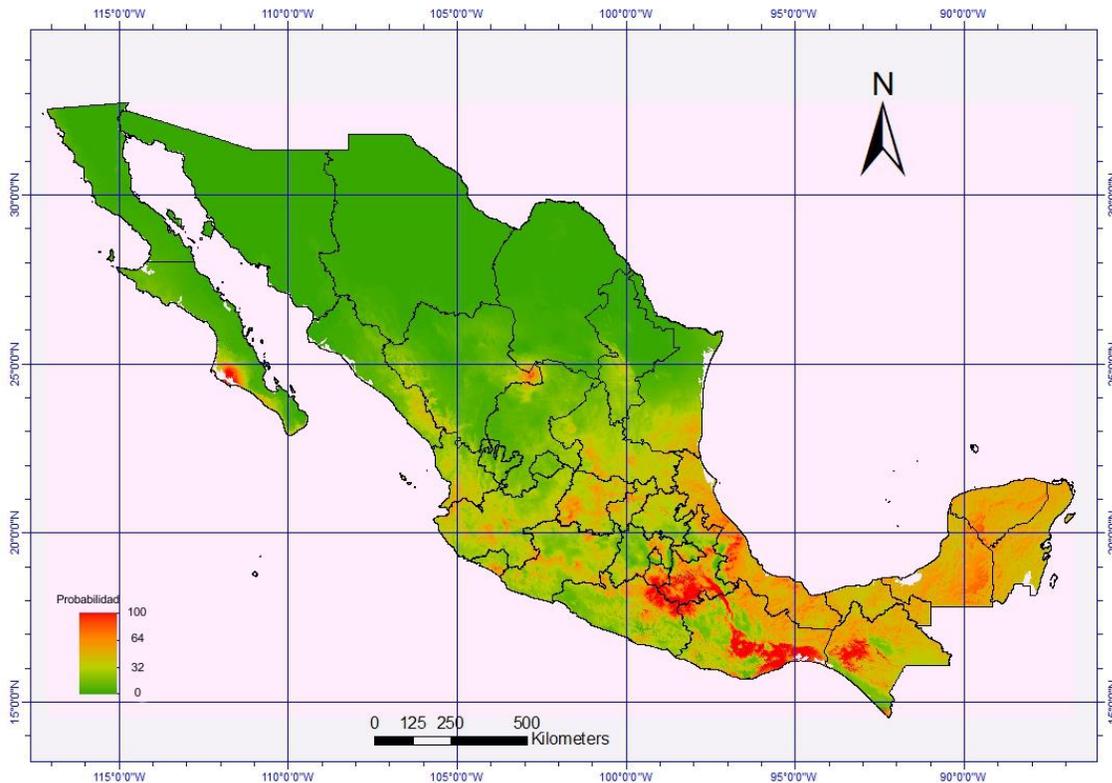


Figura 7. Distribución potencial de *A. subinermis* en México. La escala de variación de color indica la probabilidad de presencia de la especie.

2.5 CONCLUSIONES

El principal uso de *A. tetragonus* y *A. subinermis* es alimenticio, seguido del cerco vivo. El 100% de los entrevistados consumen los tallos inmaduros como verdura, en forma similar a los nopalitos, y en menor medida se consume la flor y/o fruto. La especie *A. tetragonus* es un recurso fitogenético de importancia para los habitantes de la zona centro de Veracruz, mientras que *A. subinermis* para la zona de Tehuacán – Cuicatlán, Oaxaca. Ambas especies son una alternativa nutricional para poblaciones rurales de México y Latinoamérica.

La generación de los mapas de distribución potencial provee de herramientas para nuevos puntos de colecta y/o establecimiento de áreas de producción que permitan diseminar sus usos y cultivo sustentable. La distribución potencial de *A. subinermis* es más amplia que *A. tetragonus*; mientras tanto, el desarrollo fenológico de ambas especies es similar al cultivarlas bajo las mismas condiciones ambientales. La mayor producción de tallos inmaduros se concentra en primavera.

2.6. LITERATURA CITADA

- Arias-Montes, S., S. Gama-López, L. U. Guzmán-Cruz y V. Vázquez-Benítez. 2012. Flora del Valle Tehuacán-Cuicatlán. Fascículo 95. Cactaceae Juss. Instituto de Biología. Universidad Nacional Autónoma de México. México.
- Britton, N.L. and J.N. Rose. 1920. The Cactaceae: descriptions and illustrations of plants of the cactus family. Vol. 2, t. 16. Carnegie Institution of Washington, USA. Febrero 2015. http://plantillustrations.org/illustration.php?id_illustration=51030
- Chízar-Fernández, C. 2009. Plantas comestibles de Centroamérica. Instituto Nacional de Biodiversidad (INBIO). Costa Rica. Enero 2015. <http://es.slideshare.net/etnobotania/plantas-comestiblescentroamerica-ocrop>
- Engelmann, G. 1859. Plates to the Cactaceae of the Mexican boundary. Vol 2, t. 60 USA. Febrero 2015. http://plantillustrations.org/illustration.php?id_illustration=71738
- Garza-Padrón., R. A., M. E. Morales Rubio, A. Oranday y J. F. Treviño. 2004. Preliminares Fitoquímicos del "Bajinco" ò "Nopal Estrella" *Acanthocereus occidentalis* Britton and Rose. V Congreso Nacional en Ciencias de los Alimentos. Edición Especial No. 1. Monterrey, N. L., México. (Resumen).
- Juárez-Cruz, A., M. Livera-Muñoz, E. Sosa-Montes, M. A. Goytia-Jiménez, V. A. González-Hernández y R. Bárcena-Gama. 2012. Composición química de tallos inmaduros de

- Acanthocereus* spp. e *Hylocereus undatus* (HAW.) BRITTON & ROSE. Revista Fitotecnia Mexicana 35 (2):171-175.
- Nobel, P.S. 2011. Sabiduría del desierto, agaves y cactus: CO₂, agua y cambio climático. Bb-Mundi Prensa. México.
- Plumier, C. 1689-1697. Botanicon Americanum seu historia plantarum Americanis insulis nascentium. Vol. 3. t. 13. Enero 2015. http://plantillustrations.org/volume.php?id_volume=4621
- Ramos-Aguirre, F. 2004. Viejos Sabores de Tamaulipas. Cocina Indígena y Popular. Ed. CONACULTA. Culturas Populares e indígenas. México.
- Reyes-Santiago, J., C. Brachet, J. Pérez-Crisanto y A. Gutiérrez de la Rosa. 2004. Cactáceas y otras plantas nativas de la cañada Cuicatlán, Oaxaca. Ed. Sociedad Mexicana de Cactología A. C. México.
- Scheinvar, L. 2004. Flora Cactológica del Estado de Querétaro: Diversidad y Riqueza. Ed. Fondo de Cultura Económica. México.
- SMN, 2016. Normales climatológicas Texcoco, Estado de México. Sistema Meteorológico Nacional. Junio, 2016: <http://smn.cna.gob.mx/es/informacion-climatologica-ver-estado?estado=mex>
- USDA, 2015. USDA, ARS, National Genetic Resources Program. Germplasm Resources Information Network - (GRIN) [Online Database]. National Germplasm Resources Laboratory, Beltsville, Maryland. Enero 2015. <http://www.ars-grin.gov/cgi-bin/npgs/html/taxon.pl?401479>.
- Volg, C. R., B. Vogl-Lukasser & R. Puri. 2004. Tools and methods for data collection in ethnobotanical studies of homegardens. Field Methods 16(3): 285–306.
- EcuRed, 2015. *Acanthocereus tetragonus*. Enero 2015. www.ecured.cu/index.php/Acanthocereus_tetragonus
- CICY (Centro de Investigación Científica de Yucatán), 2010. Enero 2015. http://www.cicy.mx/sitios/Flora%20Digital/ficha_virtual.php?especie=1111

CAPÍTULO II:
CRECIMIENTO, NUTRICIÓN Y CALIDAD POSTCOSECHA
DE *Acanthocereus tetragonus*

3. CRECIMIENTO, NUTRICIÓN Y CALIDAD POSTCOSECHA

DE *Acanthocereus tetragonus*

3.1. RESUMEN

Los tallos inmaduros de *A. tetragonus* se consumen como verdura y forma parte de la gastronomía de pobladores las zonas rurales de México en donde se distribuye ésta cactácea; ya que se consume en formas tan versátiles al igual que los nopalitos. La creciente demanda de alimentos saludables toma realce no sólo por la calidad y sustentabilidad de producción sino también por su calidad organoléptica y nutricional que contribuye a prevenir enfermedades como el cáncer, hipertensión y diabetes. En este trabajo se evaluó el crecimiento, estatus nutrimental y calidad postcosecha de los tallos inmaduros de *A. tetragonus* por efecto de seis tipos de fertilización: nitrógeno (N), N + enmienda, N + Ceniza, vermicompost, gallinaza y el testigo; dos épocas de cosecha: otoño (2014) y primavera (2015), y la interacción de ambos, bajo la hipótesis que dichos factores afectan el crecimiento y calidad nutraceútica de los tallos de *A. tetragonus*. Para ello, se implementó un diseño factorial (tipo de fertilización y época de cosecha) completamente al azar, con tallos como unidad experimental y cuatro repeticiones. Las variables evaluadas fueron: crecimiento ($\text{cm}\cdot\text{día}^{-1}$), acidez titulable, pH, porcentaje de sólidos solubles totales (SST) y contenido de azúcares, vitamina C, clorofilas, concentración de minerales, fenoles y flavonoides totales. Los resultados indican que las plantas fertilizadas con gallinaza presentaron mayor crecimiento acumulado y número de brotes, en el periodo abril 2013 a mayo 2014. En relación a la época de cosecha, los contenidos de macro (excepto K) y micronutrientes fueron mayores cuando los tallos fueron cosechados en primavera; mientras los azúcares reductores ($0.77 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), glucosa ($0.30 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$), fructosa ($0.37 \text{ g } 100\text{g}^{-1}$) lo fueron en otoño. Por su parte, la fertilización a base de N + enmienda tuvo mayor cantidad de SST (4.85%), acidez (1.02%), vitamina C ($2.95 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) y concentración de N (3.39%); el vermicompost favoreció mayor cantidad de SST (4.25%); la gallinaza provocó mayor contenido de fructosa ($0.58 \text{ mg}\cdot 100\text{g}^{-1}$) y concentración de P (0.25 %). Adicionalmente, no se encontraron diferencias significativas en el resto de las variables evaluadas, tanto por época de cosecha, tipo de fertilización y la interacción de los mismos.

Palabras clave: Cruceta, jacube, fertilización, fibra dietética, fenoles, flavonoides, clorofila.

3.2. INTRODUCCIÓN

Los frutos, flores y tallos de algunas cactáceas son parte de la dieta humana desde hace 9000 años y una de sus características que las distingue de otras familias del reino vegetal es su adaptación a regiones de baja precipitación por su tolerancia a la sequía (Nobel, 1998). La cruceta o jacube (*Acanthocereus tetragonus*) es una cactácea que se cultiva principalmente en traspatio porque forma parte de la gastronomía de la población de zonas rurales y semiurbanas donde se distribuye esta especie. A pesar de consumirse prácticamente toda la planta, son sus tallos los más consumidos, se utilizan como verdura. En lo que respecta a su contenido nutrimental, Córdoba *et al.* (2000) y Juárez-Cruz *et al.* (2012) mencionan que *A. tetragonus* contiene elevadas cantidades de fibra cruda, calcio, magnesio, hierro, manganeso y zinc, necesarios para la nutrición y salud humana. Sin embargo, en la actualidad los alimentos saludables y productos naturales toman realce no sólo por su calidad sino porque mejoran la salud y previenen enfermedades como el cáncer, hipertensión y diabetes (Betancourt-Domínguez *et al.*, 2006; Magloire *et al.*, 2006; Yahia y Mondragon-Jacobo, 2011; López-Romero *et al.*, 2014). Además del contenido mineral y sus propiedades fisicoquímicas son importantes por su calidad nutraceútica, entre ellos el contenido de fibra dietética, ácidos grasos, alcoholes y de antioxidantes como el ácido ascórbico, fenoles y flavonoides en el órgano de interés (Stintzing y Carle, 2005).

En el caso de cactáceas como *Opuntia* spp. sus tallos y frutos son fuente de antioxidantes y otros componentes funcionales (Dib *et al.*, 2014; Osuna-Martínez *et al.* (2014), Yahia y Mondragón-Jacobo, 2011). La tendencia en los consumidores es preferir alimentos libres de agroquímicos, inocuos y con alto valor nutricional, en especial aquellos que son consumidos en fresco. El tipo de compuestos que contiene cada planta, su crecimiento y desarrollo no sólo depende de la especie sino también de su nutrición. Por ejemplo, la aplicación de 5 t·ha⁻¹ de gallinaza + 80 unidades de N, mostró el mayor producción (65.2 t·ha⁻¹) y peso de chile jalapeño (Macías *et al.*, 2012); el uso de compost y vermicompost causó mayor rendimiento en frutos de jitomates, sin afectar la calidad, expresado en diámetro ecuatorial y polar, así como contenido de sólidos solubles (°Brix) (Cruz-Lázaro *et al.*, 2009); el uso de lombrihumus y estiércol bovino favorecieron mayor largo, ancho y grosor de nopalito con respecto a la aplicación de fertilizante

químico y testigo (Vázquez-Alvarado *et al.*, 2012); Preciado-Rangel *et al.* (2015) encontraron que la calidad nutraceútica de los frutos de melón fertilizado con soluciones orgánicas de lixiviado de vermicompost, tuvieron mayor contenido fenólico (6.84 mg equiv. ácido gálico·g peso fresco) y capacidad antioxidante (533.7 y 2,304.2 μ M equiv. Trolox·g peso fresco), comparado con los melones fertilizados con la solución Steiner; finalmente, en relación a la dinámica de absorción de nutrientes, en la época de primavera-verano se presentó una mayor extracción de N, P y K, comparado con otoño-invierno, en cultivo de nopal verdura bajo riego por goteo (Orona-Castillo *et al.*, 2004). Sin embargo, en *A. tetragonus* no hay antecedentes por efecto de la fuente de fertilización y época de cosecha de los tallos que se consumen. El objetivo de este trabajo fue evaluar el crecimiento y calidad postcosecha de tallos comestibles de *A. tetragonus* en respuesta seis tratamientos de fertilización (inorgánica-orgánica) y dos épocas de cosecha, bajo la hipótesis de que las fuentes de fertilización y época de cosecha, afectan la calidad postcosecha de los tallos inmaduros de *A. tetragonus*.

3.3. MATERIALES Y MÉTODOS

Sitio experimental

El experimento se llevó a cabo en el periodo 2013-2015 con la especie *Acanthocereus tetragonus* en Emiliano Zapata, Veracruz, que está situado en las coordenadas 19° 23' LN y 96° 37' LO a 250 m de altitud. El clima de éste lugar es cálido subhúmedo Aw''o(w),(i')g, con temperatura media anual entre 22 y 26°C, con lluvias en verano y precipitación media anual de 1000 mm (García, 1988). El suelo es arcilloso con pH de 7.9, materia orgánica de 8 % y fertilidad (en mg·kg⁻¹ de suelo) de 32 N-NO₃, 20 N-NH₄, 10 de P, 282 de K, 13,179 de Ca, 454 de Mg, 3 de Fe, 2.2 de B y 14 de Mn¹.

Parcela experimental y tratamientos

El estudio de campo se realizó del 2013 al 2015. La parcela se estableció bajo un diseño experimental completamente al azar y se conformó por seis tratamientos de fertilización (Cuadro

¹ Datos obtenidos mediante análisis de suelo.

1) con cuatro repeticiones. La aplicación de los tratamientos se realizó el 14 de junio y 23 de noviembre del 2013, uno de los tratamientos incluyo cenizas por ser utilizado a nivel local para nutrir a la especie. La unidad experimental fue conformada por dos tallos, distribuidos a una distancia de 30 cm entre uno y otro. La distancia de plantación fue de 1.5 m entre hileras y plantas (Figura 8). Se aplicaron riegos de auxilio cada 15 días durante los meses de sequía (noviembre a abril), tal y como lo hacen algunos productores del área de estudio que comercializan tallos de *A. tetragonus* como verdura. Antes de iniciar la cosecha de tallos para los análisis de laboratorio se dejó el crecimiento de dos tallos como base.

La determinación de la dosis de fertilización se basó en: a) extracción nutrimental de los tallos *Acanthocereus tetragonus*², considerando una densidad de población de 8,700 plantas ha⁻¹ y un rendimiento de 30 ton ha⁻¹ y b) contenido nutrimental del suelo³, teniendo una carencia de 76 kg de nitrógeno⁴; la carencia se corrigió con fuentes de tipo orgánica e inorgánicas (Cuadro 7). La fertilización se complementó con una enmienda basada en aportación de K y Mg, para tener una relación óptima entre cationes: 5.8 Ca/Mg, 3.2 Mg/K, 21.8 Ca + Mg/K y 18.6 Ca/K.

Cuadro 7. Lista de tratamientos evaluados en *A. tetragonus*.

Tratamiento	Tipo de fertilización	Cantidad aplicada / Unidad Experimental
1	Nitrógeno (N)	25.5 g de urea
2	N + enmienda	25.5 g de urea, 168 g de Magnisal*, 67.2 g de SOP*
3	N + ceniza	287.0 g ceniza + 25.5 g de urea
4	Vermicompost	1,302.0 g
5	Gallinaza	437.3 g
6	Testigo	Nada

*Magnisal = Sulfato de magnesio (16% de MgO), SOP = Sulfato de potasio (52% de K₂O).

² Basado en análisis bromatológico de tallos de *A. tetragonus* (Juárez, 2012)

³ Datos estimados a partir de análisis de suelo 2012

⁴ Se consideró una eficiencia del N de 50%.



Figura 8. A. Poda de formación y B. Plantación de *A. tetragonus*, vista de las parcelas experimentales en Villa E. Zapata, Veracruz. Cada parcela fue rodeada con una barrera física de plástico para separar las raíces y evitar combinación de tratamientos.

Muestreo y muestras

Después de seis meses de establecida la parcela experimental, se obtuvieron tallos inmaduros de *A. tetragonus* que se recolectaron en forma continua de otoño 2014 a primavera 2015, cuando tenían de 15 a 25 cm de longitud y de 20 a 30 d de edad, clasificándose el material en dos épocas de cosecha primavera y otoño. Las muestras se depositaron en bolsas de polietileno y se trasladaron al laboratorio a temperatura ambiente (20-22 °C). En laboratorio, los tallos se midieron, pesaron, lavaron con agua destilada y secaron con papel absorbente; después se les retiraron las areolas y en algunos casos parte de la cutícula a cada tallo. Una parte del material se utilizó en fresco para determinar calidad organoléptica y el resto en seco para determinar calidad nutricional y concentración mineral. En estas dos últimas determinaciones se cortaron los tallos en fracciones de aproximadamente 1 x 1 cm, las cuales se secaron en una estufa con circulación de aire forzado a 50 °C hasta peso constante, de acuerdo con el método establecido por la Association of Official Analytical Chemists (AOAC, 1990). El material seco se trituró con un molino eléctrico de acero inoxidable marca SIEMENS, modelo ASKM. Cada muestra se guardó en un recipiente de plástico a temperatura ambiente y en oscuridad. Finalmente, se obtuvo una muestra compuesta para otoño 2014 y primavera 2015.

Crecimiento de tallos

Se calculó el crecimiento acumulado por planta y por tratamiento midiendo la longitud de los tallos de marzo 2013 a mayo 2014. También se midió el crecimiento longitudinal por día ($\text{cm}\cdot\text{día}^{-1}$) durante el mes de abril 2013 por ser el mes donde se realizaron mediciones quincenales cuando aún no se habían aplicado los tratamientos.

Calidad organoléptica

Se determinó acidez titulable, pH, porcentaje de sólidos solubles totales (SST) y contenido de azúcares ($^{\circ}\text{brix}$). La acidez titulable se determinó en base al método AOAC con base contenido a contenido de ácido málico (1990). Los SST con refractómetro digital (Atago, modelo 100) con escala de 0 a 32%. La medición de pH se realizó con un potenciómetro Corning, modelo 12 (método AOAC, 1990). El contenido de glucosa, fructosa y sacarosa en los tallos se realizó con el método de Ting (1954). Cada determinación se realizó por triplicado, cada tallo fue una unidad experimental.

Calidad nutricional

Se determinaron el contenido de fibra dietética total (FDT), soluble (FDS) e insoluble (FDI), contenido mineral y compuestos antioxidantes (clorofila, vitamina C, fenoles y flavonoides).

Fibra dietética. La FDT, FDS y la FDI se determinaron mediante una combinación de métodos enzimáticos y gravimétricos (AOAC, 2002) haciendo uso del kit total dietary fiber assay.

Vitamina C. Puesto que el ácido ascórbico es un agente reductor, se cuantificó mediante la titulación con la solución de Tillman al 0.02% (2,6 diclorofenol- indofenol).

Clorofilas. La determinación de clorofila a, b y total se realizó mediante el método de Harborne (1973). Las lecturas de las muestras se realizaron a 663 y 645 nm en un espectrofotómetro Spectronic 20 Bausch &Lomb.

Concentración de minerales. El análisis de minerales consistió en la determinación de nitrógeno (N) por el método Kjeldahl, fósforo (P) por colorimetría según el método del molibdato – vanadato; los minerales potasio (K), sodio (Na), calcio (Ca), magnesio (Mg), hierro (Fe), manganeso (Mn), cobre (Cu) y zinc (Zn) se determinaron por espectrofotometría de absorción atómica. Los resultados de composición química se expresaron en base seca.

Fenoles y Flavonoides totales. Para la obtención del extracto se realizó una primera extracción con metanol/agua seguida de una acetona/agua (Hassan *et al.*, 2011). Ambos extractos se mezclaron para realizar la cuantificación de fenoles totales utilizando el método de Folin y Ciocalteu sugerido por Singleton *et al* (1999). Para determinar el contenido flavonoides totales se utilizó el método colorimétrico propuesto por Heimler *et al.* (2016).

Análisis estadístico

Los datos obtenidos del análisis postcosecha se les aplicó un análisis de varianza bajo un diseño experimental completamente al azar con dos factores, épocas de cosecha y fuentes de fertilización, y prueba de comparación de medias (Tukey, $P \leq 0.05$) con el programa SAS (Statistics Analysis System) versión 9.3. En el análisis los valores son promedio de tres repeticiones \pm desviación estándar.

3.4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Crecimiento de tallos

En la Figura 9 se muestra el crecimiento acumulado en longitud de tallos de *A. tetragonus* antes y después de la aplicación de las fuentes de fertilización. Previo a la aplicación de tratamientos, se observa que no existieron diferencias significativas entre las plantas de *A. tetragonus* destinadas a la aplicación de tratamientos (Cuadro 8). Sin embargo, posterior a la aplicación de estos, se registró que el tratamiento a base de nitrógeno fue el primero en promover

el crecimiento, con un ligero incremento después de la segunda aplicación; sin embargo, las plantas fertilizadas con gallinaza presentaron mayor crecimiento acumulado, en el periodo de medición. El resto de los tratamientos, incluido el testigo, registraron un crecimiento acumulado intermedios entre nitrógeno y gallinaza; así mismo, en los tratamientos de vermicomposta y gallinaza, se registró mayor número de brotes en comparación con los otros tipos de fertilización, tanto en otoño 2014 y primavera 2015 (Figura 10). Dicha respuesta es similar a la observada por Ramírez-Ibarra *et al.* (2014) en la producción de chile jalapeño, donde la fertilización con vermicompost y gallinaza incrementaron el rendimiento y mejoraron otros componentes, en comparación con el testigo. Por su parte, el mayor crecimiento acumulado con gallinaza puede explicarse tal y como ocurre en la producción de maíz, donde Matheus *et al.* (2007) indican que la fertilización química alcanza sus máximos niveles en la fase inicial del experimento, mientras que los tratamientos con productos orgánicos, debido a su acción residual, alcanzan su mayor efecto en el tercer ciclo. Así, los materiales orgánicos no solo suplen nutrimentos, sino también mejoran las propiedades físicas, químicas y biológicas del suelo, incrementando la productividad de los sistemas agrícolas en el tiempo (Trinidad-Santos, s.f).

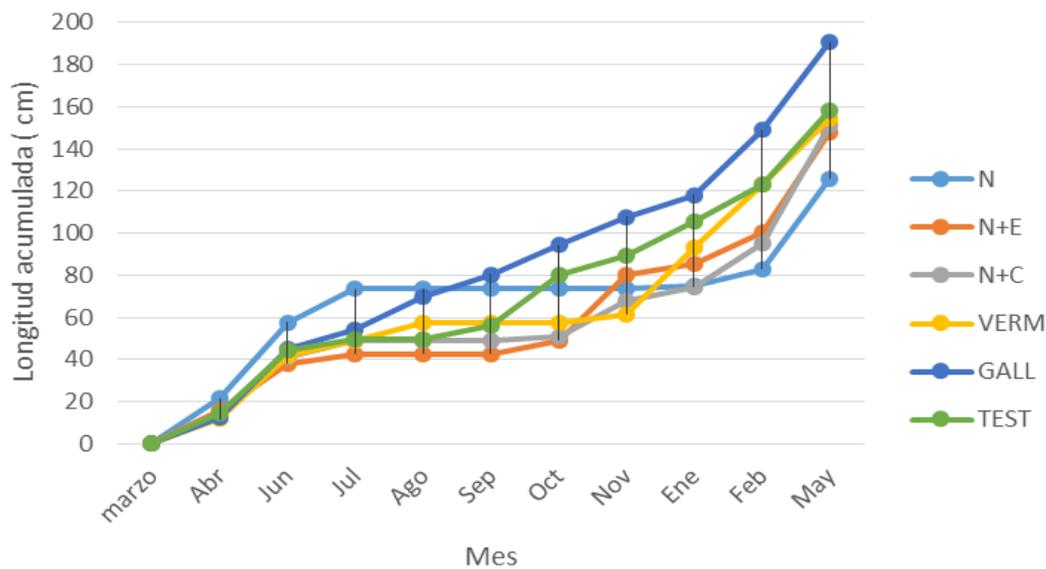


Figura 9. Crecimiento acumulado de los tallos de Jacube o cruceta (*A. tetragonus*) por efecto de la fertilización, durante el periodo marzo 2013 a mayo de 2014, en el municipio de Emiliano Zapata, Veracruz.

En relación al crecimiento longitudinal diario de tallos de *A. tetragonus*, se registraron valores de 0.64 cm hasta 1.00 cm por día, y éstos son similares a los reportados por Ruiz-Espinosa *et al.* (2008) en cinco variedades de nopalito, donde el crecimiento fue inversamente proporcional al rendimiento.

Cuadro 8. Crecimiento longitudinal de los tallos de *A. tetragonus* registrado durante el mes de abril del 2013, previo a la aplicación de tratamientos.

Antes de fertilizer (Tratamiento)	Crecimiento longitudinal (cm·día ⁻¹)
Nitrógeno (N)	0.64 ± 0.46 a
N + enmienda	0.66 ± 0.53 a
N + ceniza	0.65 ± 0.20 a
Vermicompost	0.69 ± 0.20 a
Gallinaza	0.65 ± 0.27 a
Testigo	0.69 ± 0.05 a

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, Tukey ($\alpha = 0.05$)



Figura 10. A. Emisión de brotes en los diferentes tratamientos, B. Cuantificación de crecimiento en laboratorio.

Calidad organoléptica

Las variables de calidad organoléptica muestran que existen diferencias significativas ($p < 0.05$) en cuanto al contenido de azúcares reductores y glucosa en función de la época de cosecha, siendo los tallos cosechados en otoño los que presentan mayor cantidad (Cuadro 9). El contenido de azúcares reductores, glucosa y fructosa en tallos inmaduros de *A. tetragonus* son inferiores a los reportados por Alamilla-Beltrán *et al.* (s.a) en agave, donde 1.42, 0.63 y 0.80 g/100g corresponden a azúcares reductores, glucosa y fructosa, respectivamente. En el caso específico de azúcares reductores, los valores encontrados son inferiores a los reportados por Ávila-Nuñez *et al.* (2012) con 9.4%, en pencas de *Agave cocui*; pero similares al mencionado por Pinedo-Espinoza *et al.* (2014) en frutos de xoconostle (0.13-0.18 mg·kg⁻¹). El contenido y tipo de azúcares varían en función del grado de madurez del órgano de interés, por ejemplo, en frutos, a mayor grado de madurez de consumo mayor contenido de fructosa; en este caso se analizaron tallos inmaduros, lo que implica que el contenido de azúcares sea menor comparado con las pencas de agave con mayor grado de madurez.

Cuadro 9. Cuadrados medios y significancia estadística en la evaluación de los parámetros, en las dos épocas y tratamientos evaluados.

Fuente de variación	Cuadrados medios					
	Azúcares reductores	Glucosa (g·100g ⁻¹)	Fructosa	SST (%)	pH	Acidez (%)
Epo	*	*	NS	NS	NS	NS
Trat	NS	NS	*	*	NS	*
Epo * Trat	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	10.38	36.86	13.23	5.675	4.407	18.190

Epo = época, Trat =tratamiento, C. V.= coeficiente de variación. * Significativo $p \leq 0.05$

En contraparte las variables fructosa, SST y acidez presentaron diferencias significativas entre tratamientos. En el caso de fructosa, el mayor contenido se presentó en el tratamiento con gallinaza y el menor en vermicompost; el resto de los tratamientos tuvieron contenidos similares.

El mayor contenido de SST estuvieron en los tratamientos N + enmienda, vermicompost y gallinaza, así mismo, N + enmienda presentó el mayor contenido de acidez (Cuadro 10). En este sentido, Betancourt-Domínguez *et al.* (2006) reporta valores similares de SST en nopalitas grandes (22 cm de longitud) y de pH en nopalitas pequeños (14 cm de longitud). En cuanto al % de acidez, este es ligeramente menor al 1.11 % en nopalito con calidad nacional y al 0.99 % en nopalitas con calidad de exportación (Maki-Díaz *et al.*, 2015), lo que es bueno ya que este parámetro afecta la calidad gustativa de los nopales.

Cuadro 10. Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables azúcares reductores, glucosa, fructosa, SST, pH y acidez, en tallos inmaduros de *A. tetragonus* en dos épocas de muestreo.

Tratamiento	Azúcares reductores (g·100g ⁻¹)	Glucosa (g·100g ⁻¹)	Fructosa (g·100g ⁻¹)	SST (%)	pH	Acidez (%)
Nitrógeno (N)	0.66 a	0.21 a	0.45 bc	4.31 b	4.78 a	0.89 ab
N + enmienda	0.66 a	0.14 a	0.51 ab	4.85 a	4.62 a	1.02 a
N + ceniza	0.65 a	0.21 a	0.43 bc	4.42 ab	4.73 a	0.70 b
Vermicompost	0.65 a	0.26 a	0.40 c	4.25 a	4.53 a	0.75 b
Gallinaza	0.74 a	0.18 a	0.58 a	4.13 a	4.73 a	0.69 b
Testigo	0.68 a	0.21 a	0.47bc	4.05 b	4.76 a	0.84 b

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, Tukey ($\alpha = 0.05$)

Calidad nutricional

Fibra dietética

Algunos de los efectos benéficos de cactáceas como el nopal han sido atribuidos al contenido de fibra soluble e insoluble (Stintzing & Carle, 2005). En el Cuadro 11 se muestra el contenido de FDT, FDS y FDI en tallos inmaduros de la *A. tetragonus* y *A. subinermis*, los cuales no muestran diferencias significativas entre especies, y sus contenidos son similares a lo reportado en nopal y guayaba. Rodríguez-González *et al.* (2014), en nopal (*Opuntia ficus indica*), reportan 57.23% de FDT, 51.79% de FDS y 5.43% de FDI, Rodríguez-García *et al.*

(2007) indican 18.21% FDS y 33.21% de FDI y Celis-Fabian (2009) encontraron 45-54 % de FDT. En frutos, la FDT es de 45.7 % en endocarpio de guayaba y 43.9% en epicarpio de ciruela de huesito (Pire-Sierra *et al.*, 2010). Por su contenido de fibra dietética, el consumo de *A. tetragonus* y *A. subinermis* podría tener efectos fisiológicos favorables al consumirse como alimento funcional auxiliar en trastornos digestivos (Torres-Ponce *et al.*, 2015).

Cuadro 11. Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables de fibra dietética soluble, insoluble y total, en tallos inmaduros de *A. tetragonus* en dos épocas de muestreo.

Especie	Fibra dietética (g·100 g ⁻¹ de tejido seco)		
	Soluble	Insoluble	Total
<i>A. tetragonus</i>	12.15 ± 2.16a	32.23 ± 1.56a	44.38 ± 3.59a
<i>A. subinermis</i> *	11.50 ± 4.63a	11.50 ± 4.63a	46.27 ± 5.96a
C.V. (%)	10.58	7.30	20.66
DMS (0.05)	8.51	3.67	6.25

Medias con la misma letra no son significativamente diferentes, Tukey ($\alpha = 0.05$)

Dado que los tallos inmaduros de *A. tetragonus* son ricos en fibra dietética con antioxidantes naturales, son una excelente opción como alimento funcional e incluso como suplemento alimenticio fibra-antioxidante por sus beneficios para la salud.

Vitamina C y clorofilas

Con respecto al contenido de vitamina C, hubo diferencias significativas ($p < 0.05$) para épocas de cosecha y tipos de fertilización, pero no para la interacción época por tratamientos; para el resto de las variables no se encontraron diferencias significativas (Cuadro 12). La época de cosecha en la que se presentó mayor contenido de vitamina C fue en otoño 2014 con 3.45 mg·100 g⁻¹ y fertilización de N + enmienda quien presentó el mayor contenido (Cuadro 13). El contenido promedio de vitamina C fue de 2.56 mg·100 g⁻¹, valor semejante a los 2.51 mg·100 g⁻¹ reportado por Flores-Álvarez *et al.* (2011) en nopalitos y menor al reportado en frutos de

el contenido de clorofila *a* fue menor al reportado en *Opuntia* por Flores-Álvarez *et al.* (2011) con 4.61-5.47 mg·100 g⁻¹, y por Maki-Díaz *et al.* (2015) con 5.81 para consumo nacional y 6.27 mg·100 g⁻¹ para exportación. Para la clorofila *b*, se ha reportado 2.71 para consumo nacional y 3.08 mg·100 g⁻¹ para exportación; mientras que clorofila total tiene 8.50 y 8.96 mg·100 g⁻¹ para destino nacional y de exportación, respectivamente. Todos estos valores son superiores a los reportados por Maki-Díaz *et al.* (2015) y Meraz-Maldonado *et al.* (2012), quienes mencionan que aunque se desconoce el valor óptimo del índice clorofila *a/b* en los nopales, este varía en función de la edad del cladodio y los factores ambientales durante su desarrollo y su variación repercuten en la fotosíntesis y el crecimiento de las plantas. La clorofila *b* se sintetiza a partir de clorofila *a* y su función principal es capturar energía luminosa y transferirla a la clorofila *a*. La sobreacumulación de clorofila *b* hace a las plantas vulnerables al fotodaño, por exposición a intensidad lumínica alta o baja (Biswal *et al.*, 2012). En este caso, los tallos inmaduros de *A. tetragonus* contiene más clorofila *b*, característica que se desconoce se deba al tamaño de los tallos u otros factores como la especie.

Concentración de minerales

Con relación a los macronutrientes, en el Cuadro 14 se observa que hubo diferencias significativas en la concentración (Tukey, $p \leq 0.05$) de N y P, pero no en K, Ca y Mg, cuando se consideraron las dos épocas de cosecha y las diferentes fuentes de fertilización. Con relación a la concentración de N fueron los tratamientos con N, N + enmienda y gallinaza estadísticamente más altos que el testigo. En lo referente a P, el mejor tratamiento fue a base de gallinaza (Cuadro 15). Se observó que durante la época de otoño se presentó el menor contenido de N y P, misma observación realizada por Orona-Castillo *et al.* (2004) en nopalito (*Opuntia ficus-indica*), quienes además mencionan que existe correlación entre las temperaturas medias mensuales y la extracción de estos minerales. Esto explica el por qué durante la primavera hay mayor contenido de estos elementos, y desde el punto de vista productivo explica por qué se producen menos tallos en otoño en comparación con primavera. Aunque cabe mencionar que *A. tetragonus* presenta el mismo comportamiento de producción de brotes que *Stenocereus queretaroensis*, debido a que el crecimiento vegetativo y reproductivo coinciden con la estación seca, que empieza al final del otoño y termina al empezar el verano (Pimienta-Barrios, 2004); por lo que la

extracción de minerales no sólo depende de la temperatura sino también de la disponibilidad de agua.

La concentración de P, K, Ca, Mg y Na en *A. tetragonus* es menor a lo reportada por Juárez- Cruz *et al.* (2012) para la misma especie y *A. subinermis*, pero similar al contenido de estos minerales en *Hylocereus undatus*. Desde el punto de vista de la salud, estas cactáceas pueden ser una fuente de minerales necesarios para preservar la salud, ya que poseen diversas funciones en el organismo humano, por ejemplo, tienen función estructural, mantienen el equilibrio iónico, intervienen en la actividad de nervios y músculos permitiendo un funcionamiento adecuado de ambos (Henufood, 2015; FAO, 2012; Mataix, 2005).

Cuadro 14. Cuadrados medios y significancia estadística en la evaluación de los parámetros, en las dos épocas y tratamientos evaluados.

Fuente de variación	Cuadrados medios					
	N	P	K	Ca	Mg	Na
	(%)					
Epo	*	*	NS	*	*	NS
Trat	*	*	NS	NS	NS	NS
Epo * Trat	NS	NS	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	6.423	23.87	33.64	34.76	34.76	43.00

Epo = época, Trat =tratamiento, C. V.= coeficiente de variación. * Significativo $p \leq 0.05$

Cuadro 15. Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables N, P, K, Ca, Mg y Na, en tallos inmaduros de *A. tetragonus* en dos épocas de muestreo.

Tratamiento	N	P	K	Ca	Mg	Na
	(%)					
Nitrógeno (N)	3.33 a	0.15 b	0.44 a	0.47 a	0.47 a	0.034 a
N + enmienda	3.39 a	0.15 b	0.40 a	0.53 a	0.53 a	0.021 a
N + Ceniza	2.73 c	0.15 b	0.55 a	0.52 a	0.51 a	0.022 a
Vermicomposta	3.03 bc	0.23 ab	0.50 a	0.57 a	0.57 a	0.017 a
Gallinaza	3.08 abc	0.25 a	0.66 a	0.52 a	0.52 a	0.026 a
Testigo	2.80 c	0.20 ab	0.47 a	0.61 a	0.61 a	0.036 a

Números con la misma letra dentro de una columna son estadísticamente similares.

En cuanto a la concentración de micronutrientes, se encontraron diferencias significativas en cuanto a la aportación nutrimental de Mn, Cu y Zn en función de la época de cosecha, más no entre los tipos de fertilización y en la interacción época por tratamiento de fertilización (Cuadro 16). La cantidad de estos minerales es prácticamente el doble en primavera en relación a lo observado en otoño, resultados que concuerdan con Orona-Castillo *et al.* (2004). Así, la mayor extracción de micronutrientes se observó en primavera, con los meses más cálidos, época que coincide con la mayor producción de brotes, lo que destaca el papel de la temperatura en la producción de tallos de *A. tetragonus*.

Expresado en $\text{mg}\cdot\text{kg}^{-1}$, el contenido de Fe fue de 26.63 a 45.88, Mn 41.30 a 67.02, Cu 2.96 a 6.18 y el Zn 18.66 a 26.09 (Cuadro 17), estos valores son similares a los reportados por Juárez- Cruz *et al.* (2012) para *A. tetragonus*, *A. subinermis* e *Hylocereus undatus* y Chiteva y Waragu (2013) en frutos de *Opuntia ficus-indica*.

Cuadro 16. Cuadrados medios y significancia estadística de micronutrientes de tallos inmaduros de *A. tetragonus* en dos épocas de cosecha, tratamientos y la interacción de estos.

Fuente de variación	Cuadrados medios			
	Fe	Mn	Cu	Zn
	(ppm)			
Epo	NS	*	*	*
Trat	NS	NS	NS	NS
Epo * Trat	NS	NS	NS	NS
C.V. (%)	61.49	55.32	46.05	32.55

Epo = época, Trat =tratamiento, C. V.= coeficiente de variación. * Significativo $p \leq 0.05$

Cuadro 17. Efecto de la fuente de fertilización sobre las variables Fe, Mn, Cu y Zn en tallos inmaduros de *A. tetragonus* en dos épocas de muestreo.

Tratamiento	Fe	Mn	Cu	Zn
	(ppm)			
Nitrógeno (N)	30.98 a	53.88 a	2.96 a	19.90 a
N + enmienda	36.91 a	67.02 a	6.18 a	22.13 a
N + Ceniza	26.63 a	47.49 a	3.88 a	18.66 a
Vermicomposta	29.63 a	51.62 a	4.78 a	22.16 a
Gallinaza	45.88 a	41.30 a	5.05 a	24.39 a
Testigo	37.41 a	61.13 a	4.25 a	26.09 a

Números con la misma letra dentro de una columna son estadísticamente similares.

Fenoles y flavonoides totales

En relación al contenido de fenoles y flavonoides cuantificados en tallos inmaduros de *A. tetragonus* y *A. subinermis* la cantidad de estos no presenta diferencias significativas entre especies (Cuadro 18), siendo los fenoles los que se encuentran en mayor proporción. El contenido de estos se asemeja a los reportados por Celis-Fabián (2009) en nopal Hartón, 3.37 mg

eq á.gálico·g⁻¹ muestra y 0.35 mg eq á.gálico·g⁻¹ muestra. Stintzing y Carle (2005) mencionan que el contenido de polifenoles es difícil de explicar por lo múltiples factores que intervienen, como la especie, estado de madurez y los procesos de producción. Los compuestos fenólicos son componentes importantes en la dieta humana, por el creciente interés debido a su efecto antiinflamatorio, contra algunas enfermedades como ciertos cánceres, desordenes cardíacos y actividad hepática protectora derivados de su poderosa actividad antioxidante. Cactáceas como el nopal tienen múltiples usos en la medicina tradicional desde el control de la diabetes, hipertensión hasta farmacológicos por su contenido de antioxidantes (Ávila- Nava *et al.*, 2014; Guevara-Arauz *et al.*, 2009; Osuna-Martínez *et al.*, 2014; Torres-Ponce *et al.*, 2015).

Cuadro 18. Contenido de fenoles y flavonoides totales, en tallos inmaduros de *A. tetragonus* y *A. subinermis*.

Especie	Fenoles (mg eq á.gálico g muestra)	Flavonoides (mg eq á.gálico·g muestra)
<i>A. tetragonus</i>	3.18±0.48a	0.43±0.03a
<i>A. subinermis</i>	3.18±0.43a	0.40±0.02a
C.V. (%)	7.08	3.79
DMS (0.05)	0.5285	0.0364

Números con la misma letra dentro de una columna son estadísticamente similares.

Dado que los tallos inmaduros de *A. tetragonus* son ricos en fibra dietética con antioxidantes naturales, son una excelente opción como alimento funcional e incluso como suplemento alimenticio fibra-antioxidante por sus beneficios para la salud.

3.5. CONCLUSIONES

Las plantas fertilizadas con vermicomposta y gallinaza presentaron mayor crecimiento longitudinal acumulado y mayor número de brotes que más tarde se convertirán en tallos comestibles. El tipo de fertilización y la época de cosecha así como la interacción de ambos influyó en la calidad postcosecha de los tallos inmaduros de *A. tetragonus*. Los tratamientos a base de N + enmienda, gallinaza y vermicompost presentaron los contenidos más altos en la mayoría de las variables de calidad organoléptica, nutricional y concentración mineral. Con excepción del K, las concentraciones de macro y micronutrientes fueron mayores cuando los tallos fueron cosechados en otoño.

3.6. LITERATURA CITADA

- AOAC Association of Official Analytical Chemists (1990) Official Methods of Analysis. 15th ed. Association of Official Analytical Chemists. Washington, DC, USA. 1298 p.
- Alamilla-Beltrán L, U R Morales-Durán, R Martínez-Torres, A Jiménez-Segura, A PalaciosBarranco, J. Chanona-Pérez y G. F. Gutiérrez- López (s.f.) Estudio de las características de rehidratación de inulina en polvo obtenida por el método de secado por aspersión a partir de *Agave atrovirens* Karw. Instituto Politécnico Nacional. Clave CGPI: 200597. Junio 2016: http://sappi.ipn.mx/cgpi/archivos_anexo/20050097_2231.pdf
- Ávila Núñez R; B Rivas Pérez; R Hernández Motzezak y M Chirinos (2012) Contenido de azúcares totales, reductores y no reductores en *Agave cocui* Trelease. Multiciencias 12 (2): 129-135.
- Ávila-Nava A, M Calderón-Oliver, O N Medina-Campos, T Zou, L Gu, N Torres, A R Tovar and J Pedraza-Chaverri (2014) Extract of cactus (*Opuntia ficus indica*) cladodes scavenges reactive oxygen species *in vitro* and enhances plasma antioxidant capacity in humans. Journal of functional foods 10: 13–24.
- Beltrán-Orozco M. C, T G Oliva-Coba, T Gallardo-Velázquez y G Osorio-Revilla (2009) Ácido ascórbico, contenido fenólico, y capacidad antioxidante de las variedades roja, cereza,

- amarilla y blanca del fruto del cactus de la pitaya (*Stenocereus stellatus Riccobono*).
Agrociencia 43: 153-162
- Betancourt-Domínguez M A, T Hernández-Pérez, P García-Saucedo, A Cruz-Hernández & O. Paredes-López (2006) Physico-Chemical Changes In Cladodes (Nopalitos) From Cultivated And Wild Cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition* 61: 115–119.
- Biswal A K, G K Pattanayak, S S Pandey, S Leelavathi, V S Reddy, Govindjee and B C Tripathy. 2012. Light intensitydependent modulation of chlorophyll *b* biosynthesis and photosynthesis by overexpression of chlorophyllide a oxygenase in tobacco. *Plant Physiol.* 159: 433-449.
- Celis-Fabian E L (2009) Potencial nutracéutico de cladodios de nopal (*Opuntia* spp.). Universidad Autónoma de Querétaro. Tesis de maestría en Ciencia y Tecnología de Alimentos. 117 pp.
- Cruz-Lázaro E, M A Estrada-Botello, V Robledo-Torres, R Osorio-Osorio, C Márquez-Hernández, R Sánchez-Hernández (2009) Producción de tomate en invernadero con composta y vermicomposta como sustrato. *Universidad y Ciencia: Trópico húmedo* 25(1):59-67.
- Flores-Álvarez M C, Vergara-Balderas F T y J A Guerrero Beltrán (2011) Efecto del tiempo de almacenamiento y tipo de procesamiento en los antioxidantes de nopal. *Temas Selectos de Ingeniería de Alimentos* 5-2(2011): 84-96.
- Chiteva R and N Wairagu (2013) Chemical and nutritional content of *Opuntia ficus-indica* (L.) *African Journal of Biotechnology* 12(21): 3309-3312.
- Córdoba L M, M M Hernández-Martínez, E Sánchez-Martínez (2000) Contribution to the present knowledge of *Acanthocereus tetragonus* (Linnaeus) Hummelink from the Sierra Gorda of Querétaro. *Cact. Suc. Mex.* 45:34-39.
- Dib H, M Belarbi, M C Beghdad and M S-eladji (2014) Antioxidant activity of *Opuntia Ficus-Indica* flowers phenolic extracts. *IJPSR*, 2014; 5(10): 4574-4582.
- García E (1988) Modificaciones al Sistema de Clasificación Climática de Köppen. 4a. ed. Offset Larios. México, 271 p.

- Guevara-Arauza J C (2009) Efectos biofuncionales del nopal y la tuna. Revista horticultura. Junio, 2016:
http://www.horticom.com/revistasonline/horticultura/rhi71/cientifico_rhi71.pdf
- Harborne JB, (1973). Chlorophyll extraction. In: Phytochemical Methods. Recommended technique. Harborne J. B. Ed. Chapman and Hall, Ltd., London. pp. 205-207.
- Henufood (2015) Henufood: Salud desde alimentación. En: <http://www.henufood.com/proyecto-henufood/actividades/index.html>
- Hernández-Urbiola M. I, E Pérez-Torrero and M E Rodríguez-García (2011) Chemical Analysis of Nutritional Content of Prickly Pads (*Opuntia ficus indica*) at Varied Ages in an Organic Harvest. *Int. J. Environ. Res. Public Health* 2011, 8, 1287-1295.
- Juárez-Cruz, A., M. Livera-Muñoz, E. Sosa-Montes, M. A. Goytia-Jiménez, V. A. González-Hernández & R. Bárcena-Gama. 2012. Composición química de tallos inmaduros de *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus undatus* (HAW.) BRITTON & ROSE. Revista Fitotecnia Mexicana 35 (2):171-175.
- López-Romero P, E Pichardo-Ontiveros, A Avila-Nava, N Vázquez-Manjarrez, A R Tovar, José Pedraza-Chaverri y N Torres (2014) The Effect of Nopal (*Opuntia ficus indica*) on Postprandial Blood Glucose, Incretins, and Antioxidant Activity in Mexican Patients with Type 2 Diabetes after Consumption of Two Different Composition Breakfasts. *Journal Of The Academy Of Nutrition And Dietetics* 114 (11):1811-1818.
- Macias D R, R L Grijalva C yF Robles C (2011) Respuesta de la aplicación de estiércol y fertilizantes sobre el rendimiento y calidad del chile jalapeño. *Revista de Ciencias Biológicas y de la salud* XIV (3): 32-38.
- Magloire F J, P Konarski , D Zou , Florian Conrad Stintzing and Changping Zou (2006) Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*: 2574-2589
- Maki-Díaz G, C B Peña-Valdivia, R García-Nava, M L Arévalo-Galarza, G Calderón-Zavala y S Anaya-Rosales (2015) Características físicas y químicas de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) para exportación y consumo nacional *Agrociencia* 49: 31-51. 2015.
- Mataix V, J (2005). Nutrición para educadores. 2ª ed. Díaz de Santos. Madrid. En: http://www.uco.es/master_nutricion/nb/Mataix%20educadores/minerales.pdf

- Matheus L J, J Caracas, F Montilla y O Fernández (2007) Eficiencia agronómica relativa de tres abonos orgánicos (vermicompost, compost, y gallinaza) en plantas de maíz (*Zea mays* L) Agricultura Andina 13: 27-38.
- Meraz-Maldonado, N., S. Valle-Guadarrama, J. HernándezMorales, S. Anaya-Rosales, J. C. Rodríguez-Maciel, and G. Leyva-Ruelas. 2012. Quality of three sizes of prickly pear cactus stems (*Opuntia ficus indica* L. 'Atlixco'). Afr. J. Agric. Res. 7: 4512-4520
- Nobel P S (1998) Los Incomparables Agaves y Cactus. Ed. Trillas. México. 211 p.
- Pinedo-Espinoza J M, C Gallegos-Vázquez, L González de la Rosa, R G Campos-Montiel y A D Hernández-Fuentes (2014) Azucares reductores y azucares totales en 10 genotipos de nopales productores de Xoconostle (*Opuntia* spp.). Revista Científica Biológico Agropecuaria Tuxpan 2(3): 211-215.
- Orona-Castillo I, J A Cueto-Wong, B Murillo-Amador, J Santamaría-César, A Flores-Hernández, R D Valdez-Cepeda, J L García-Hernández, E Troyo-Diéguéz (2009) Extracción Nutrimental de Nopal-Verdura Bajo Condiciones de Riego por Goteo. J. PACD: 90-101.
- Osuna-Martínez U, J Reyes-Esparza and L Rodríguez-Fragoso (2014) Cactus (*Opuntia ficus-indica*): A Review on its Antioxidants Properties and Potential Pharmacological Use in Chronic Diseases. Nat Prod Chem Res 2 (6).
- Ozcan M M & F Y Al Juhaimi (2011) Nutritive value and chemical composition of prickly pear seeds (*Opuntia ficus indica* L.) growing in Turkey. International Journal of Food Sciences and Nutrition 62(5): 533–536.
- Pire - Sierra M C, E Garrido, H González e H Pérez. Estudio comparativo del aporte de fibra alimentaria en cuatro tipos de frutas de consumo común en Venezuela. Interciencia 35 (12): 939-944.
- Preciado-Rangel P, K M García-Villela, M Fortis-Hernández, R Trejo Valencia, E O Rueda Puente, and J R Esparza-Rivera (2015) Nutraceutical quality of cantaloupe melon fruits produced under fertilization with organic nutrient solutions. Ciencia e Investigación Agrícola 42 (3): 475-481.
- Ramírez- Ibarra J A, J L García – Hernández, M Fortis-Hernández, M A Gallegos-Robles, C Vázquez- Vásquez, E Salazar –Sosa y A Valenzuela –García (2014) Producción de chile jalapeño (*Capsicum annuum* L.) con abonos orgánicos. División II, Relación Suelo-

- Clima-Biota, Pp.145-149; In Memoria del XXXIX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, 19 al 24 Octubre de 2014. Ciudad Juárez, Chihuahua. Sociedad Mexicana de la Ciencia del Suelo, Universidad Autónoma de Ciudad Juárez. Ciudad Juárez, Chihuahua, México.
- Rodríguez-García M E, C de Lira, E Hernández-Becerra, M A Cornejo-Villegas, A J Palacios-Fonseca, I Rojas-Molina, R Reynoso, L C Quintero, A Del-Real, T A Zepeda y C Muñoz-Torres (2007) Physicochemical Characterization of Nopal Pads (*Opuntia ficus indica*) and Dry Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation. *Plant Foods for Human Nutrition* 62(3):107-12.
- Rodríguez-González S, H E Martínez-flores, C K Chávez-Moreno, L I Macías-rodríguez, E Zavala-mendoza, M G Garnica-Romo and L Chacón-García. 2014. Extraction and characterization of mucilage from wild species of *Opuntia*. *Journal of Food Process Engineering* 37:285–292.
- Ruiz-Espinoza F H, J F Alvarado-Mendoza, B Murillo-Amador, J L García-Hernández, R Pargas-Lara, J de D Duarte-Osuna, F A Beltrán-Morales, L Fenech-Larios. 2008. Rendimiento y Crecimiento de Nopalitos de Cultivares de Nopal (*Opuntia ficus-indica*) bajo Diferentes Densidades de Plantación. *J. PACD*: 23-35.
- Stintzing F C and R Carle (2005) Cactus stems (*Opuntia* spp): A review on their chemistry, technology, and uses. *Molecular Nutrition & Food Research*, 49, 175–194.
- Ting S V (1956) Rapid colorimetric methods for simultaneous determination of total reducing sugars and fructose in citrus juices. *Fruit juice assay. Agriculture and food chemistry* 4(3): 263-266.
- Trinidad- Santos A (s.a). *Abonos orgánicos*. Subsecretaría de desarrollo rural. SAGARPA. Dirección general de apoyos para el desarrollo rural. Junio, 2016: <http://www.sagarpa.gob.mx/desarrolloRural/Documents/fichasCOUSSA/Abonos%20organicos.pdf>
- Torres-Ponce R L, N M Morales-Corral, M de L Ballinas-Casarrubias y G V Nevárez-Moorillón (2015) El nopal: planta del semidesierto con aplicaciones en farmacia, alimentos y nutrición animal. *Revista Mexicana de Ciencias Agrícolas. Rev. Mex. Cienc. Agríc.* 6 (5): 1129-1142.

- Vázquez-Alvarado R E, F Blanco-Macías, M C Ojeda-Zacarías, R D Valdez-Cepeda, J R Kawas-Garza, J A Santos-Haliscak y J A Pérez-Herrera (2012) Uso de lombrihumus en la producción de nopal verdura cultivar Copena V1. Revista Salud Pública y Nutrición” Edición Especial 04: 15-40.
- Yahia E Y and C Mondragon-Jacobo (2011) Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.) Food Research International 44: 2311–2318.
- Orona-Castillo I, J A Cueto-Wong, B Murillo-Amador, J Santamaría-César, A Flores-Hernández, R David Valdez-Cepeda, J L García-Hernández y E Troyo-Diéguez (2004) Extracción Nutrimental de Nopal-Verdura Bajo Condiciones de Riego por Goteo. *J. PACD*: 90-101.

4. CONCLUSIONES GENERALES

El principal uso de *A. tetragonus* y *A. subinermis* es alimenticio. Se consumen los tallos inmaduros como verdura y en menor medida se consume la flor y/o fruto. La especie *A. tetragonus* es un recurso etnobotánico de importancia para los habitantes de la zona centro de Veracruz, mientras que *A. subinermis* para la zona de Tehuacán – Cuicatlán, Oaxaca. El requerimiento climático para *A. tetragonus* es de 35 °C temperatura máxima, 17 °C temperatura mínima, altitud de 1 a 525 msnm, distribuyéndose en clima cálido subhúmedo a semiárido; mientras que para *A. subinermis* fue de 38.6 °C temperatura máxima, 8.7 °C temperatura mínima, de 11 a 1515 msnm, en clima seco a cálido subhúmedo. De acuerdo a su distribución potencial son una alternativa nutricional para poblaciones rurales de México, *A. tetragonus* para la región costera del Golfo de México y *A. subinermis* para la zona centro-sur. El desarrollo fenológico de ambas especies es similar al cultivarlas bajo las mismas condiciones ambientales; la mayor producción de tallos inmaduros se concentró en primavera.

Al evaluar el crecimiento y calidad postcosecha de tallos comestibles de *A. tetragonus* en función de seis fuentes de fertilización y dos épocas de cosecha se encontró que las plantas fertilizadas con vermicomposta y gallinaza presentaron mayor crecimiento longitudinal acumulado y mayor número de brotes en comparación con los otros tratamientos. Hubo efectos en la calidad postcosecha de tallos inmaduros de *A. tetragonus* en función de la época de la época de cosecha, fuentes de fertilización y la interacción de ambos. Los tratamientos a base de N + enmienda, gallinaza y vermicomposta presentaron los contenidos más altos en la mayoría de los parámetros de calidad organoléptica, nutricional y contenido mineral. A excepción del K, los contenidos de macro y micronutrientes fueron mayores cuando los tallos cosechados fueron cosechados en otoño.

5. LITERATURA GENERAL

- Betancourt-Domínguez M A, T Hernández-Pérez, P García-Saucedo, A Cruz-Hernández & O. Paredes-López (2006) Physico-Chemical Changes In Cladodes (Nopalitos) From Cultivated And Wild Cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition* 61: 115–119.
- Córdoba L M, M M Hernández-Martínez, E Sánchez-Martínez (2000) Contribution to the present knowledge of *Acanthocereus tetragonus* (Linnaeus) Hummelink from the Sierra Gorda of Querétaro. *Cact. Suc. Mex.* 45:34-39.
- FAO, 1999. Guía para el manejo eficiente de la nutrición de las plantas. Roma, Italia. 30 pp. Junio, 2016: <ftp://ftp.fao.org/agl/agll/docs/gepnms.pdf>
- FAO, 2011. El Segundo Informe sobre el estado de los recursos fitogenéticos para la alimentación y la agricultura en el mundo. Comisión de recursos genéticos para la alimentación y la agricultura organización de las naciones unidas para la agricultura y la alimentación. Roma, 2010. Junio, 2016: <http://www.fao.org/docrep/014/i1500s/i1500s.pdf>
- Juárez-Cruz, A., M. Livera-Muñoz, E. Sosa-Montes, M. A. Goytia-Jiménez, V. A. González-Hernández y R. Bárcena-Gama. 2012. Composición química de tallos inmaduros de *Acanthocereus* spp. e *Hylocereus undatus* (HAW.) BRITTON & ROSE. *Revista Fitotecnia Mexicana* 35 (2):171-175.
- López-Romero P, E Pichardo-Ontiveros, A Avila-Nava, N Vázquez-Manjarrez, A R Tovar, José Pedraza-Chaverri y N Torres (2014) The Effect of Nopal (*Opuntia ficus indica*) on Postprandial Blood Glucose, Incretins, and Antioxidant Activity in Mexican Patients with Type 2 Diabetes after Consumption of Two Different Composition Breakfasts. *Journal Of The Academy Of Nutrition And Dietetics* 114 (11):1811-1818.

- Magloire F J, P Konarski , D Zou , Florian Conrad Stintzing and Changping Zou (2006) Nutritional and medicinal use of Cactus pear (*Opuntia* spp.) cladodes and fruits. *Frontiers in Bioscience*: 2574-2589.
- Molina M., J. C y L. Córdova T. (eds.). 2006. Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura: Informe Nacional 2006. Secretaría de Agricultura, Ganadería, Desarrollo Rural, Pesca y alimentación y Sociedad Mexicana de Fitogenética, A.C. Chapingo, México. 172p.
- Ramos-Aguirre, F. 2004. Viejos Sabores de Tamaulipas. *Cocina Indígena y Popular*. Ed. CONACULTA. Culturas Populares e indígenas. México.
- P. Ramírez V., R. Ortega P., A. López H., F. Castillo G., M. Livera M, F. Rincón S. y F. Zavala G. (eds). 2000. Recursos Fitogenéticos de México para la Alimentación y la Agricultura, Informe Nacional. Servicio Nacional de Inspección y Certificación de Semillas y Sociedad Mexicana de Fitogenética A.C. Chapingo, México.
- Yahia E Y and C Mondragon-Jacobo (2011) Nutritional components and anti-oxidant capacity of ten cultivars and lines of cactus pear fruit (*Opuntia* spp.) *Food Research International* 44: 2311–2318.