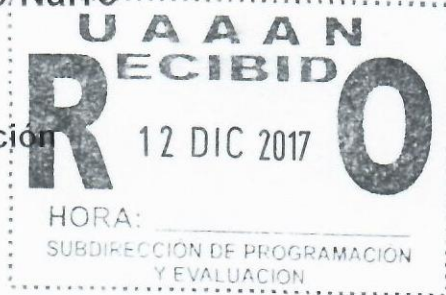




Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro

Dirección de Investigación

Subdirección de Programación y Evaluación



Proyecto de Investigación 2018

Unidad:	Saltillo	División:	Agronomía	Departamento:	Parasitología
Tema estratégico (ANA/PEP):	Producción y conservación				
Línea de investigación:	Taxonomía de Insectos				
Título del proyecto:	"Entomofauna asociada a <i>Opuntia</i> spp. y <i>Nopalea</i> spp. en el Desierto Chihuahuense Mexicano"				
Presupuesto solicitado (Máximo \$75,000)	75,000	El proyecto es:	Nuevo	Continuación	X
Tipo de investigación:	Básica	X	Aplicada	Tecnológica	e-mail del responsable droga@yahoo.com.mx
Vinculación:	Si	No	x	Fondos concurrentes:	x
Cooperante(s):	no				
Entidad (es):	Coahuila, Zacatecas, Durango, Chihuahua, San Luis Potosí	Municipio (s):	Diversos		
Localidades:	Diversas				
A realizar durante el(los) año(s):	2018				
Participantes		Adscripción (Clave Depto.)	Expediente No.	Firma	
Responsable	Dr. Oswaldo García Martínez	0082	957		
Colaborador:	Dr. José Ángel Villarreal Quintanilla	3614	1061		
Colaborador:	Dr. Sergio René Sánchez Peña	0082	2886		
Colaborador:					
Colaborador:					
Colaborador:					
		Grado por obtener	Matrícula	Firma	
Tesista:	Rosa Gloria Rocha Flores	Doctorado	71161399		
Programa Docente:					
Tesista:					
Programa Docente:					
Tesista:					
Programa Docente:					
	Vo. Bo.		Autoriza		
Firma y sello					
Nombre	Dr. Ernesto Cerna Chávez Jefe de Departamento		Dr. Armando Robledo Olivo Subdirector de Programación y Evaluación		

- Cada Jefe de Departamento deberá dejar copia para su archivo

1.-Título del proyecto

Presupuesto solicitado:

“Entomofauna asociada a *Opuntia* spp. y *Nopalea* spp. en el Desierto Chihuahuense Mexicano”

75,000

2.- Introducción

El cambio climático y las actividades humanas están propiciando el aumento de zonas áridas y semiáridas (desertización y desertificación), hecho que afecta de manera importante las actividades agropecuarias por las condiciones adversas que se generan. Las especies de la familia Cactaceae, (aproximadamente 1500 en el Continente Americano), tienen el tipo de metabolismo llamado Ácido de las Crasuláceas (MAC) y otras adaptaciones evolutivas que les permiten resistir la aridez y falta de agua. México se considera el centro con más diversidad de cactáceas del mundo, ya que tiene el mayor número de especies y endemismos (78 %), que juegan un papel biológico-ecológico muy importante en los hábitats donde se localizan; además, incluye especies que tienen mucha importancia económico-social, como lo es el nopal y la pitaya, ya que se utilizan como alimento, fruta, forraje, medicina, ornamento, entre otros.

En los estados de Aguascalientes, Guanajuato, Hidalgo, San Luis Potosí, Zacatecas y parte de Jalisco, Michoacán y Querétaro, se encuentra la mayor riqueza de especies de nopales silvestres (35% del total de *Opuntia*) y variedades cultivadas (144) (Gallegos-Vázquez *et al.*, 2003). Las especies de *Opuntia* se distribuyen en diferentes tipos de vegetación, (Miranda y Hernández X, 1993) y predominan en el Desierto Chihuahuense, zona árida de Tehuacán-Cuicatlán y Cuenca del Río Balsas (Rzedowskii, 1978).

La producción nacional de nopal verdura, se concentra en los estados de Morelos (328,750.45 ton.) y México (295,940.60 ton.), con derramas económicas de \$ 477,602.48 y \$ 615,718.58; los estados más productivos de nopal forrajero son Coahuila (82,413.88 ton.) y Aguascalientes (34,044.25 ton.) que producen ganancias de \$ 33,069.61 y \$ 12,925.56. Oaxaca produjo 1,974.35 toneladas de pitaya y Jalisco 1,238.12, con ganancias de \$ 29,304.30 y \$ 19,395.98 (miles de pesos), respectivamente (SIAP, 2014).

Algunas especies del genero *Opuntia* se consideran amenazadas y en peligro de extinción (Norma NOM-059-ECOL-2001), debido al comercio ilegal, extinción de sus hábitats, enfermedades y plagas. Entre las plagas se reporta, se reporta de *Narnia femorata* Stal (Hemiptera: Coreidae) que afecta a *Opuntia ficus-indica* (Palomares-Pérez *et al.*, 2012); *Cactophagus spinolae* Gyllenhae (Coleoptera: Curculionidae-Dryophthoridae) que actúa sobre pitaya (Bravo-Aviles *et al.*, 2014) y *Cactoblastis cactorum* Berc (Lepidoptera: Pyralidae) que atraca a especies de *Opuntia* (Zimmermann *et al.*, 2007). Los estudios entomológicos realizados específicamente en nopales y pitayas en México, enfatizan mayormente sobre plagas de plantaciones comerciales (Cano, 1983; Mandujano *et al.*, 2007).

Considerando que los nopales tienen su principal centro de distribución en México; que las zonas áridas y semiáridas cubren casi la mitad del territorio nacional; que la sede y dos unidades académicas de la Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro (UAAAN) están localizadas en el Desierto Chihuahuense; que el Departamento de Parasitología Agrícola de la UAAAN-Salttillo no ha generado información científica sobre insectos asociados a nopales en el Desierto Chihuahuense ni en plantaciones comerciales de éstas especies; que los nopales tienen mucha importancia económica y social; que como consecuencia del cambio climático y sus efectos, se espera que especies de cactáceas serán cada vez más importantes como alimento por lo que es necesario conservarlas (*Cactoblastis cactorum* Berc puede generar un desastre en nopales y no se conoce a ciencia cierta si ésta plaga está o no presente en el Desierto Chihuahuense) ya

que su pérdida afectaría cadenas tróficas y se perderían millones de pesos, y que el conocimiento de insectos asociados a éstas especies está en desarrollo, y que el nopal pertenece a la agenda nacional agrícola ANA 2016-2022, se estructura éste proyecto de investigación con los siguientes objetivos:

Objetivos

General: Determinar la entomofauna asociada a *Opuntia* spp. en el Desierto Chihuahuense y plantaciones comerciales y además, conocer el efecto de factores abióticos en las poblaciones de insectos asociados a éstas cactáceas.

Específicos:

Taxonomía.-

- a) Identificar familias, géneros y especies de la entomofauna asociada a nopales (*Opuntia* spp.)
- b) Determinar las especies plaga y de Hymenoptera Parasítica.
- c) Buscar enemigos naturales de *Cactophagus spinolae* y *Narnia femorata*.
- d) Confirmar o no la presencia de *Cactoblastis cactorum*.

Ecología.-

- e) Determinar la dinámica poblacional anual de entomofauna, plagas, Hymenoptera Parasítica y *Cactophagus spinolae*.
- f) Conocer qué factores abióticos influyen más en la expresión de la dinámica poblacional de la entomofauna asociada y
- g) Determinar índices de diversidad en las poblaciones de insectos.

Hipótesis

Se detectarán al menos seis órdenes, diez familias, 15 géneros y 20 especies. La humedad explicará al menos el 30 % de la dinámica poblacional de la entomofauna presente. Se detectarán al menos tres plagas, seis familias de Hymenoptera Parasítica, un parasitoide de *Cactophagus spinolae*. No se confirmará la presencia de *Cactoblastis cactorum*. Se detectarán al menos dos especies de insectos dominantes y dos con muy baja expresión cuantitativa.

3 -Revisión de Literatura

La falta de agua provoca reducción de la humedad aprovechable del suelo y del contenido de agua de los tejidos de las plantas, y ha sido considerada el factor ambiental que restringe con más frecuencia la productividad de los ecosistemas naturales y la agricultura, que ha generado pérdidas económicas en numerosas regiones a lo largo de la historia (Blum, 1997). El efecto del déficit de agua está determinado por su intensidad, duración y oportunidad, así como por la capacidad de las especies para sortearlo y tolerarlo (Bradford y Hsiao, 1982).

En especies con metabolismo fotosintético tipo C3, se han descrito los principales cambios fisiológicos, bioquímicos, agronómicos, fitopatológicos, entre otros causados por el déficit de agua. Sin embargo, existe

menos información de especies que efectúan el metabolismo fotosintético de las crasuláceas (MAC).

Las Opuntias se han adaptado perfectamente a zonas áridas caracterizadas por condiciones secas, lluvias erráticas y suelos pobres expuestos a la erosión. Algunas especies son inclusive consideradas como plantas naturalizadas en países como Sudáfrica y Australia, donde las condiciones ambientales son particularmente favorables (Reynolds y Arias-Jiménez, 2003).

Una de las familias más representativas de la biodiversidad biológica de México y que posee el metabolismo (MAC), es la Cactaceae, constituye un grupo de plantas excepcionalmente diverso por su gran variedad morfológica y taxonómica. Las cactáceas son exclusivas del continente americano y tienen su principal centro de diversificación en México. Se estima que en el país hay 669 especies, y que más de 70% de los géneros y de las especies son endémicas, distribuidas principalmente en las zonas áridas y semiáridas del país, que cubren casi la mitad del territorio nacional.

Entre los ambientes secos y semisecos de México, el Desierto Chihuahuense es una región de gran importancia biológica. En esta extensa región de 507 mil kilómetros cuadrados, que abarca territorios del centro y norte de México y una parte del sur de los Estados Unidos, se concentran 329 especies de cactáceas, lo que representa casi 60% de las especies mexicanas y más de 20% del total continental. Por ello, el Desierto Chihuahuense es el mayor centro de diversidad de México para este grupo botánico y un sitio privilegiado en la historia natural de la flora cactológica mexicana que debe ser conservado.

Dentro de la familia de las cactáceas, se encuentran numerosas especies de importancia económica, biológica y ecológica, una de las principales en México es el Nopal, le siguen en la actualidad la Pitaya, el Xoconoxtle entre otras especies que se están iniciando a exportar en grandes cantidades. El aprovechamiento del nopal en México se inició con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, principalmente a través de la recolección de frutos y partes vegetativas en poblaciones silvestres, las nopaleras influyeron en el asentamiento de algunas culturas indígenas en México. Numerosas tribus errantes concurrían durante la época de fructificación a lugares donde abundaban poblaciones de nopal y algunas de ellas establecieron ahí sus pueblos (Hernández, 1985). México es el centro más importante del mundo en concentración de cactáceas, posee el mayor número de especies y endemismos, cerca de 78 por

ciento.

Opuntia ficus-indica es, entre las cactáceas, la de mayor importancia agronómica, tanto por sus sabrosos frutos como por sus tallos que sirven de forraje o pueden ser consumidos como verdura. El mejoramiento genético que ha sufrido se remonta a la época prehispánica; los cronistas de indias ya relatan sobre estas plantas -y sus frutos-, que fueron llevadas a España posiblemente en el primer o segundo viaje de Colón a América, aunque el primer registro cierto es para México, en 1515 (según la crónica de Fernández de Oviedo de 1535, reproducida en López Piñero, 1992).

En su forma sin espinas, esta especie es una forma hortícola, no se encuentra silvestre. De acuerdo a Bravo (1991) su domesticación comenzó hace unos 8000 años. Callen (1965) ofrece un dato similar basado en el estudio de coprolitos humanos, fechados en unos 9.000 años, que contienen restos de la epidermis de esta especie.

La forma silvestre (con espinas) de la que se obtuvo la forma hortícola (sin espinas, *O. ficus-indica* en sentido restringido, u *O. ficus-indica*, fue descrita como *Opuntia megacantha* Salm-Dick, como se demuestra más adelante. Muchos otros nombres específicos de las series *Streptacanthae* y *Ficus-indicae* (Britton y Rose, 1919) corresponden a variaciones morfológicas menores de *Opuntia megacantha*. También los estudios cromosómicos muestran su identidad, como ha sido demostrado, por lo menos parcialmente, por Griffiths, Walkington y Benson, en varias publicaciones. Igualmente, Benson (1982) considera *O. megacantha* como sinónimo de *O. ficus-indica*, mencionándola como la "forma con espinas", pero sin distinguirla a nivel de variedad ni de forma. Varios otros autores siguen este criterio (Brutsch y Zimmermann, 1993, Gibson y Nobel, 1986).

Uno de los pocos autores que considera bajo *O. ficus-indica* solo a la forma inerme, es Bravo (1978), utilizando criterios exclusivamente morfológicos y no biológicos. Sin embargo en más de una oportunidad se contradice (1978: 282; 322). En la misma publicación para *O. ficus-indica* diferencia seis "variedades hortícolas", basándose principalmente en características de los frutos. También Scheinvar (1995) distingue como especies separadas a *O. ficus-indica*, *O. streptacantha* y *O. amyclaea*; sin embargo, también considera

que *O. ficus-indica* es una forma hortícola originada de *O. streptacantha* y que distinguirlas a nivel específico es conveniente por razones prácticas.

Opuntia, llamada nopal tunero en México, o solamente tuna como usualmente se conoce en el comercio, es una planta típica dentro del paisaje mexicano, y un importante símbolo de identidad para los mexicanos. Junto con el maíz y el agave, *Opuntia* ha sido un alimento básico y en el desarrollo cultural, como fue en el establecimiento de los grupos chichimecas del centro y norte del país.

Complementario a su importancia como alimento, estaban también sus usos como medicina, bebida, fuente de pigmentos, y como objeto de prácticas mágico-religiosas. Los *tlacuilos* (historiadores nativos del México pre-colombino, quienes usaban pictogramas para registrar eventos), cronistas, viajeros, historiadores y científicos han dejado testimonio de esto. Sin embargo, la importancia económica de *Opuntia* como forraje no fue percibida durante el período colonial español, o inclusive después de la Independencia.

Los pocos registros del uso de *Opuntia* durante las eras coloniales y de post-independencia indican que era usada como alimento para animales, especialmente en las zonas áridas y semiáridas del norte del país. Su uso se incrementó a principios del siglo XVII con la introducción del ganado a las áreas semiáridas y la subsiguiente disminución de pastizales. La situación obligó a los ganaderos a cortar los cladodios de *Opuntia* y, después de quemar las espinas, usarlo para alimentar al ganado, especialmente durante las sequías.

En la segunda mitad del siglo XX, el gobierno de México y algunas instituciones educativas comenzaron a reconocer la importancia del cultivo de *Opuntia*, particularmente para forraje. El Colegio de Posgraduados liberó algunas variedades mejoradas para detener la sobre-explotación de poblaciones silvestres de *Opuntia*, asociado con la alimentación intensiva de ganado durante sequías o como complemento regular de la dieta. Se promovieron plantaciones de *Opuntia* en apoyo a programas de reforestación y recuperación extensas áreas degradadas, con el propósito de controlar la desertificación. Desafortunadamente, hay pocos estudios sobre la historia de la *Opuntia*, con la excepción de la cochinilla, por lo que este capítulo presenta un breve registro del uso de la *Opuntia* como forraje en México.

ORIGEN

Según Flannery (1985), entre el final del Pleistoceno (ca. 100 000 años A.C.) y el principio del quinto milenio A.C., los grupos indígenas prehistóricos de los valles semiáridos de los estados de Hidalgo, México, Guerrero, Puebla y Oaxaca, comenzaron a cultivar una serie de plantas nativas, que después se convirtieron en la alimentación básica de las antiguas civilizaciones de América central. Por siglos, estos nativos americanos vivieron como nómadas, descubriendo qué plantas recolectar y consumir, cómo tostar la *Opuntia* y el agave para hacerlos comestibles, y cómo extraer el jarabe del mezquite (*Prosopis* spp.). El cultivo de frijoles, calabazas, *huatli* (*Amaranthus* sp.), chiles, aguacates, tomates, y, como Flannery (1985) sugiere, tal vez *Opuntia*, agave, y otras frutas semi-tropicales comenzaron entre 7 500 y 5 000 años A.C.

Desde el arribo del hombre a las zonas desérticas y semi-desérticas de México, aproximadamente hace 20 000 años, la especie *Opuntia* ha sido una fuente importante de alimentación, y como bebida o medicinal. Mucho antes de conocer el manejo hortícola de *Opuntia*, los mexicanos antiguos lo consumían en su forma silvestre. Fray Bernardino de Sahagún, en su trabajo *Historia General de las Cosas de la Nueva España* – escrito durante la primera mitad del siglo XVI- reportó que los nativos americanos vivían por muchos años y eran sanos y fuertes. Su vitalidad, según él, se debía a la dieta, la cual no era cocinada con otras cosas. Ellos comían “hojas de cactus con espinas”, tunas con espinas, raíces, vainas de mesquite, flores de yuca que llamaban *czotl*, miel, conejos, liebres, venados, serpientes y aves (Sahagún, 1997).

Sobre el uso de *Opuntia*, o “árbol sagrado”, como bebida para saciar la sed, Fray Toribio Motolinía dijo, “... estos indios a los que me refiero, debido a que son de una tierra tan infértil que a veces carecen de agua, toman el jugo de estas hojas de *nocpal*...” La fruta fresca y aromática de la *Opuntia*, la tuna, también era utilizada con este propósito; hacían *nocochtli*, *opulque* (una bebida fermentada, generalmente hecha de maguey– Nota del traductor). Aunque en realidad la palabra *tuna* se originó en Haití y fue introducida por los españoles durante la conquista.

El Códice De la Cruz-Badiano de 1552 describe que *Opuntia* se usaba para tratar algunas enfermedades del cuerpo humano, como curar quemaduras: “La parte quemada del cuerpo se cura con el jugo del *nopalli* que deberá ser usado junto con miel y yema de huevo...” (Velázquez, 1998).

El género *Opuntia* se extendió desde México a prácticamente todo el continente americano (desde Alberta,

Canadá, hasta la Patagonia, Argentina). En 1700, Tournefort propuso el nombre de *Opuntia*, por su similitud con la planta de espinas que crecía en el pueblo de Opus, Grecia (Velázquez, 1998). En México, varias especies del género *Opuntia* de la familia de las cactáceas son llamadas *nopal*. Todas ellas son endémicas en América, y de las 377 especies reconocidas, 104 son halladas silvestres en México, y 60 son endémicas en México.

Hay pocos estudios de la historia de *Opuntia*, excepto en su asociación con la cochinilla.

DISTRIBUCIÓN

La distribución geográfica del género *Opuntia* en México, según estudios recientes, refleja la abundancia e incidencia natural en asociaciones, pero las especies más importantes son (Granados y Castellanos, 1991; Flores y Aguirre, 1979):

- O. leucotricha* Guanajuato y el este de San Luis Potosí, con distribución irregular y densidades variables. Entre Santa María del Río y la ciudad San Luis Potosí, así como al sureste de Villa de Arista. Al igual que Zacatecas, con densidades altas en Fresnillo y Calera.
- O. lindheimeri* Con una densidad de hasta 1 000 plantas/ha en General Terán, Salinas, y Otros lugares en el estado de Nuevo León, Así Como en Tamaulipas, Guerrero e Hidalgo.
- O. streptacantha* San Luis Potosí: Zaragoza y el norte de la capital, norte de Bocas y el sureste de Moctezuma. Densidades de entre 200 y 600 plantas/ha se encuentran en San Luis Potosí. En Zacatecas: Noria de los Ángeles, Ojo Caliente, Troncoso y Guadalupe.

Esta distribución indica que la región de Mal Paso, al sureste de la ciudad de Zacatecas, tiene la mayor diversidad de especies de *Opuntia*. En contraste, cronistas e historiadores del período colonial registraron abundancia de *Opuntia* en prácticamente todo el país, desde las crónicas de los viajeros o en los trabajos científicos. La presente distribución incluye Querétaro, Guanajuato, Jalisco, Nayarit y Coahuila en México, y

Texas en los Estados Unidos.

Pedro de Rivera, en su viaje al norte de la Nueva España a principios del siglo XVIII, reportó que: “en la dirección de San Juan del Río, Querétaro, encontró gruesa vegetación de mezquites, *huizaches* (*Prosopis* sp.), y *Opuntia*. En dirección de Ojuelos, Jalisco, cerca de San Miguel el Grande, atravesó un llano con vegetación de roble, mezquite y *Opuntia*. En la frontera entre Nueva Galicia y Nayarit, atravesó montañas rocosas repletas de mezquite, guamuchiles, huizaches y *Opuntia*” (Trabulse, 1992a).

Alexander von Humboldt reportó que Villa de Saltillo, provincia de Coahuila, está localizada en planicies áridas que descienden hacia Monclova, Río Grande, y la provincia de Texas, donde en lugar de encontrar el trigo como en las planicies europeas, encontró solamente campos cubiertos de *Opuntia* (Humboldt, 1984).

MÉXICO COLONIAL

Descripción de la planta de *Opuntia*.

La morfología de *Opuntia* sorprendió a los europeos, quienes jamás habían visto a una planta similar, lo que condujo a la mejor descripción que ellos podían presentar. Durante el período colonial, los estudios y registros de *Opuntia* comenzaron con el trabajo de José Antonio Alzate sobre cochinilla. El *nopalli*, fue conocido por los españoles como *nopal*, y su fruta, como *tuna*; sin embargo, en el siglo XVI esta planta fue conocida también como *higuera de Indias*, *higuera de pala*, *tunal de Castilla*, *nopal de Castilla*, *chumbos*, *tuna chumbera*, *tuna mansa* y *tunal* (Rojas y Sanders, 1985).

La tuna presenta numerosos tallos modificados denominados cladodios (conocidos vulgarmente como “paletas” o “pencas”). Los cladodios tienen forma ovoide, elíptica u oblonga, similar a una raqueta de tenis; alcanzan una longitud de 33-60 cm y 18-25 cm de ancho; son aplanados, con un grosor de 1.8-2.3 cm; color verde pálido a oscuro, con o sin espinas dependiendo de la variedad. Los cladodios están unidos unos a otros, formando numerosas ramificaciones que pueden llegar a alcanzar una altura de 3 a 5 m. Además, se posicionan de tal forma de aprovechar al máximo la luminosidad, por lo que los cladodios que crecen en invierno tienen una orientación diferente de los que crecen durante el verano. Sobre ambas caras del

cladodio hay yemas, llamadas “aréolas”, que tienen la capacidad de desarrollar nuevos cladodios, flores y raíces dependiendo de las condiciones ambientales. Las aréolas presentan en su cavidad espinas de dos tipos: unas pequeñas, agrupadas en gran número (conocidas como “gloquidios”), y otras grandes que son hojas modificadas. Los cladodios desarrollados tienen 52-69 areolas por cada cara. La epidermis de la tuna está cubierta de una gruesa cutícula que la protege de una amplia gama de insectos y patógenos y evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas. Además, la cutícula es de color blanquecino, lo que le permite reflejar gran parte de la radiación, evitando el calentamiento excesivo del vegetal. Es así como puede tolerar temperaturas de hasta 60°C. La cutícula está interrumpida por la presencia de estomas, los que permanecen cerrados durante el día para evitar la deshidratación. Los tallos se lignifican con el tiempo y pueden llegar a transformarse en verdaderos tallos leñosos, agrietados, de color ocre blancuzco a grisáceo (Sudzuki *et al.*, 1993; Granados y Castañeda, 1996; Reyes-Agüero *et al.*, 2005; Sáenz, 2006; Álvarez, 2007).

Las flores son hermafroditas, solitarias y sésiles. Presentan una longitud de 6 a 7 cm y se desarrollan preferentemente en la parte apical del margen superior del cladodio. Las flores de la tuna presentan ovario ínfero y numerosos estambres (más cortos que los pétalos y el pistilo). Sus pétalos son de colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, blancas, entre otros colores, mientras que los sépalos son de color amarillo claro a rojizo o blanco. Sus flores son de antesis diurna y puede haber hasta 25 flores por cladodio. Las flores abren a los 35-45 días desde su brotación y aparecen en los cladodios después de seis meses.

En la mayor parte del mundo la tuna florece una vez al año. Sin embargo, bajo ciertas condiciones ambientales y con suministro de agua en verano, se presenta una segunda floración en marzo, que da origen a la llamada fruta “inverniza”. Este fenómeno sucede naturalmente en Chile (Pimienta, 1990; Sudzuki *et al.*, 1993; Reyes-Agüero *et al.*, 2005; Sáenz, 2006; Álvarez, 2007).

El fruto es una falsa baya con ovario ínfero, uniloculado y carnoso, en que la cáscara corresponde a la envoltura del ovario y la pulpa corresponde al lóculo desarrollado. La forma y tamaño de los frutos son variables (los hay ovoides, redondos, elípticos y oblongos, con los extremos aplanados, cóncavos o convexos) aunque en promedio presentan 7-9 cm de largo, 5-6 cm de diámetro y 8-14 g de peso. Los colores de los frutos también son diversos: cáscaras de colores rojos, anaranjados, púrpuras, amarillos y verdes con pulpas, en general, de los mismos colores. La epidermis de los frutos es similar a la del cladodio, con areolas

y abundantes gloquidios y espinas. La cáscara de los frutos varía en grosor, siendo también variable la cantidad de pulpa entre las variedades. La pulpa presenta semillas de 4-4.5 mm de longitud, las que se consumen junto con la pulpa. Los frutos presentan semillas abortivas, lo que aumenta la proporción de pulpa comestible. Debido a que existen preferencias en algunos mercados por frutos con pocas semillas o sin semillas, el mejoramiento genético está orientado hacia la búsqueda y multiplicación de variedades que presenten esta característica (Chessa y Nieddu, 1997; Scheinvar, 1999; Mondragón-Jacobo et al., 2001; Ochoa, 2003; Sáenz, 2006; Álvarez, 2007).

Biología floral

La brotación y floración requieren una temperatura mínima de 15-16 °C. El desarrollo floral, desde la yema floral hasta la antesis, requiere entre 21 y 75 días; la dehiscencia de las anteras puede ocurrir simultáneamente con la apertura floral o 12 h antes (Rosas y Pimienta, 1986; Nieddu y Spano, 1992). *Opuntia ficus-indica* es autocompatible. Himenópteros, especialmente abejas, son los principales visitantes de sus flores. El desarrollo de la semilla se lleva a cabo 30-70 días después de la antesis (Barbera *et al.*, 1992).

Crecimiento y desarrollo del fruto

El desarrollo en diámetro del fruto es de tipo doble sigmoideo. El período desde floración a madurez del fruto se extiende por 100 días. En Chile e Israel existe producción de fruta en verano e invierno, donde los frutos de verano tardan 80-85 días entre flor y fruto maduro, mientras que en invierno el proceso toma 130-135 días. El fruto fotosintetiza el 8-10% de los asimilados que consume (Sudzuki *et al.*, 1993).

Requerimientos del cultivo (clima, suelo)

Las plantas del género *Opuntia* se han desarrollado bien en distintos ambientes, desde zonas áridas a nivel del mar hasta territorios de gran altura como los Andes de Perú; desde regiones tropicales de México donde las temperaturas están siempre por sobre los 5 °C a áreas de Canadá que en el invierno llegan a -40 °C (Nobel, 1999). Por esta razón, estas especies pueden ser un recurso genético de interés para zonas ecológicas muy diversas.

La tuna se desarrolla bien con temperaturas medias anuales entre 12-34 °C, con un rango óptimo de 16-23 °C. Heladas de -10 °C afectan al cultivo, sobre todo es plantaciones jóvenes. Las bajas temperaturas (promedio diario menor a 15 °C) disminuyen el número de flores y alargan el período de maduración del fruto pudiendo llegar hasta después del invierno. En la fructificación, cuando el promedio de temperatura diario llega a 25 °C el período de maduración de los frutos es muy corto, lo que obliga a una rápida cosecha para evitar que los frutos pierdan su calidad comercial (Sudzuki et al., 1993; Ríos y Quintana, 2004; Álvarez, 2007).

El nopal se produce en zonas con precipitaciones anuales desde 116 mm hasta 1805 mm, siendo el ideal 400-750 mm. Al respecto, se señala que precipitaciones mayores a 1000 mm o menores a 200 mm limitan el crecimiento del cultivo. Los excesos de humedad pueden provocar enfermedades fungosas y favorecer daños por insectos (Álvarez, 2007; Sudzuki et al., 1993). Se adapta bien a suelos con diversas texturas y composiciones, pero se desarrolla mejor en suelos arenosos, calcáreos, con al menos 30 cm de profundidad, bien drenados, pH 6,5-8,5 y pedregosos (Ríos y Quintana, 2004).

Propagación y plantación

La tuna puede propagarse de forma sexual o vegetativa, siendo esta última práctica la más utilizada debido a que es más sencilla y se logra mantener las características de la planta madre, mientras que la propagación por semillas se utiliza para el mejoramiento genético. Los huertos comerciales son la fuente de material vegetativo, aunque existe el riesgo de propagar enfermedades y no hay certificación genética.

Desde el punto de vista botánico, las areolas son tejidos meristemáticos capaces de producir nuevos brotes, flores o raíces (Buxbaum, 1950). Por lo tanto, cladodios, flores y frutos en desarrollo son capaces de originar una nueva planta, ya que todos estos órganos poseen areolas; aunque sólo los cladodios se usan para la propagación de la tuna. La propagación vegetativa de la tuna se puede realizar usando paletas individuales, brazos de dos o más paletas, fracciones de paletas o areolas para la micropropagación.

Plagas y enfermedades

La cochinilla (*Dactylopius* sp.) es un insecto huésped de la tuna que produce el ácido carmínico, colorante

natural usado en la industria de alimentos, farmacéutica y cosmética. Sin embargo, si se quiere producir fruta, la cochinilla incide negativamente. Por esta razón no se recomienda tener plantaciones mixtas, ya que el beneficio de una será en perjuicio de la otra. Durante el invierno esta plaga tiene poca actividad, cuando las temperaturas aumentan comienza su actividad y la reproducción se hace notable, caracterizándose por su aspecto de pequeñas “motitas de algodón” que al ser aplastadas muestran una coloración rojo intenso en su interior. Ataca por igual paletas y frutos, y si el ataque a la planta es severo puede provocar la caída del fruto.

El Thrips también ha sido descrito afectando tunales. Ataca las paletas nuevas, provocando cicatrices y deformaciones de los cladodios. Este problema es más sensible cuando ataca plantaciones jóvenes, ya que estará afectando las paletas que formarán la estructura de la futura planta.

Se señala que las tunas son afectadas por bacterias entre las cuales se pueden mencionar: *Pseudomonas* sp., *Agrobacterium* sp., *Erwinia* sp. y *Xanthomonas* sp. Las bacterias del género *Pseudomonas* producen pudriciones en las paletas. La “pudrición apical” es una enfermedad ocasionada por bacterias del género *Erwinia*, que producen la muerte total de las paletas, iniciándose en el ápice y descendiendo progresivamente hasta su inserción en el tallo.

Dentro del grupo de hongos que afectan al cultivo de la tuna se pueden mencionar: *Phytophthora* sp., *Armillaria* sp. y *Alternaria* sp. *Phytophthora* sp. , que causan una enfermedad conocida como “pudrición húmeda”. Ataca a la tuna cuando existen heridas, aunque los daños no son mayores.

Entomofauna

Los artrópodos, principalmente los insectos, se relacionan de diversas maneras con las plantas y si bien los cactus mantienen una relación más restringida debido a su estructura morfológica (Texeira, 2006).

Recientemente se ha argumentado que los sistemas de polinización se encuentran en una crisis creciente que tiene como base la fragmentación de los hábitats, cambios en el uso del suelo, prácticas de agricultura moderna, uso de pesticidas y herbicidas e invasión de plantas y animales no nativos a los ecosistemas naturales (Kearns *et al.* 1998). La llamada “crisis de la polinización”, dada por el decremento de las

poblaciones de vectores animales por procesos de perturbación humana, afecta no sólo a procesos ecológicos y evolutivos sino también la producción y rendimiento de cultivos que requieren forzosamente de la presencia de vectores animales. De hecho se calcula que a nivel global los beneficios económicos que esta interacción provee a la humanidad son alrededor de 112 billones de dólares americanos anuales (Costanza *et al.* 1997). Sin embargo, y a pesar de la enorme importancia que tiene el proceso de la polinización principalmente por insectos en cultivos agrícolas, el uso de pesticidas se ha incrementado hasta el presente (Kearns *et al.* 1998).

Tradicionalmente la biología de la polinización ha estado influida por la hipótesis del polinizador más eficiente y la especialización (Stebbins, 1970). Esta idea central en los sistemas de polinización proviene del trabajo pionero de Darwin publicado en 1862, quien señaló que las especies podían desarrollar por selección natural, interacciones especializadas cuyas últimas con-secuencias podrían derivar en procesos de evolución recíproca (Thompson, 1994). El mismo Darwin visualizó que la especialización hacia algún polinizador radicaba en la eficiencia de los mismos lo cual a su vez podría redundar en la evolución de caracteres morfológicos y/o fisiológicos florales. Así por ejemplo, la especialización está implícita en el concepto de “síndromes de polinización” los cuales son considerados como un conjunto de rasgos florales que reflejan adaptaciones hacia algún tipo de polinizador (Waser *et al.* 1996).

Uno de los grupos de angiospermas que han sido definidos como altamente especializados en sus sistemas de polinización son las Cactaceae, cuyas flores están fuertemente asociadas con animales (Porsch, 1939, Grant y Grant 1979, Valiente-Banuet *et al.*, 1996). Así, las relaciones planta-polinizador han sido citadas como especializadas para diferentes especies del género *Opuntia* y su relación con abejas (Grant y Hurd 1979); para la interacción entre colibríes y especies de géneros como *Rathbunia*, *Peniocereus*, *Nopalea* y *Pachycereus* (Gibson y Nobel 1986); esfíngidos y especies de los géneros *Epiphyllum*, *Cereus*, *Trichocereus*, *Acanthocereus* y *Selenicereus* (Grant y Grant 1979) y entre murciélagos nectarívoros y cactáceas columnares de los géneros *Pachycereus* y *Stenocereus* pertenecientes a la tribu Pachycereeae (Valiente-Banuet *et al.* 1996).

4.- Procedimiento Experimental

El proyecto se realizará en campo y laboratorio de junio de 2016 a Diciembre de 2017. Para la recolecta de insectos se considerarán áreas abiertas (monte) de seis estados ubicados en el Desierto Chihuahuense (Chihuahua, Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, Durango, San Luís Potosí), y el Campus UAAAN (Buenavista, Saltillo, Coahuila), (Cuadro 1).

Ruta	Lugar de muestreo	Especie Cactácea	Días	Ki
------	-------------------	------------------	------	----

A) Saltillo-Torreón-Durango-Chihuahua	carretera	Nopal forrajero	3	20
B) Saltillo-Monclova-Ocampo-Sabinas-Acuña-Monterrey	Carretera	Nopal forrajero	3	22
C) Saltillo-Zacatecas	Carretera Plantación comercial	Nopal forrajero Pitaya	3	20
D) Saltillo-San Luis Potosí	Carretera Plantación comercial Plantación comercial	Nopal forrajero Nopal tunero Nopal verdura	3	
E) UAAAN-Buenavista, Saltillo, Coah.	Plantación comercial Campus	Nopal forrajero Nopal verdura	Cada 15 días	

Actividad	2017												2018										
	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O
Meses																							
Revisión de literatura	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Estructuración del proyecto	o																						
Defensa en Jornada						o												o					
Recolecta en campo	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Trabajo de laboratorio	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Estancia académica																					o		
Participación en congreso									o											o			
Análisis de datos							o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Redacción de artículo					o									o			o						
Publicación de artículo													o							o			
Redacción de tesis					o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Jornadas de evaluación científica						o											o						
Exámenes predoctorales																						o	
Disertación de Grado																							

Cronograma de Actividades para el 2018.

Actividad por realizar	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Salida a Campo colecta de especímenes, en rutas de Desierto Chihuahuense	X	X	X	X	X				X			
Material	X	X	X	X	X							
Congresos						X					X	
Pruebas de laboratorio			X									

Cronograma de distribución de presupuesto para el 2018.

Actividad por realizar	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Salida a Campo colecta de especímenes, en rutas de Desierto Chihuahuense	X	X	X	X	X				X			
Material	X	X	X	X	X							
Congresos						X					X	
Pruebas de laboratorio			X									

Duración total del proyecto

Año de Inicio	2018	Año estimado de conclusión	2018
---------------	------	----------------------------	------

5.-Productos Esperados

- Tres artículos científicos
- Dos notas científicas
- Dos participaciones en Simposium o congresos
- Colección científica entomológica de referencia del Desierto chihuahuense
- Una accesión de código de barras genético de especie
- Grado académico de doctorado

6.-Literatura Citada

Álvarez, B. 2007. Análisis de Factibilidad del cultivo de la Tuna en la Localidad de Icaño, Departamento La Paz. Dirección Provincial de Programación del Desarrollo. Ministerio de Producción y Desarrollo. Gobierno de la Provincia de Catamarca. Argentina.

Barbera, G., P. Inglese, y T. La Mantia. 1992. Influence of seed content on some characteristics of the fruti of cactus pear (*Opuntia ficus-indica* Mill.). Acta II Congreso Internacional de la Tuna y Cochinilla, Santiago, Chile. pp. 8-14.

Benson L. & Walkington, D.L. 1965. The southern California prickly Pears - invasion, adulteration and trial by fire. An Missouri Bot. Gard. 52: 262-273

Blum, A.1997. Constitutive traits affecting plant performance under stress. In: Developing Drought- and Low N- Tolerant Maize. G O Edmeades, M Bänziger, H.R. Mickelson, C B Peña-Valdivia (eds). Proc of a

Symposium, March 25-29, 1996, CIMMYT, México, D.F.: pp:131-135.

Bradford K J, T C Hsiao (1982) Physiological responses to moderate water stress. In: Physiological Plant Ecology, II. O L Lange, P S Nobel, C B Osmond, H Ziegler (eds). Springer-Verlag. Berlin. pp:263-324.

Bravo H., H. 1978. Las cactáceas de México. Vol 1: 1-743. Univ. Nac. Autónoma de México. ----- 1991. Id. Vol 3: 1-643.

Britton & Rose, The Cactaceae 1. 1919. Smitsonian Inst. Washington. 1-236.

Brutsch , XX & Zimmermann, H, 1993 COMPLETAR

Callen, E. O. 1965. Food habits of Some Pre-Columbian Mexican Indians. Economic Botany 19:335-343.

Chessa, I. y G. Nieddu. 1997. Descriptors for cactus pear (*Opuntia* spp.). Ed. P. Inglese. Università degli Studi di Reggio Calabria. Cactusnet Newsletter. FAO International Technical Cooperation Network on Cactus pear. Special Issue May 1997.

Granados, D., y A.D. Castañeda. 1996. El Nopal. 2a Reimpresion, Ed. Trillas, Mexico.

Gibson A. C. & Nobel P. S. 1986. The Cactus Primer. Pp 286. Harvard Univ. Press.

Kearns, C.A., INOUE, D.W. and WASER, N.M. (1998). Endangered mutualisms: the conservation of plant-pollinator interactions. Annual Review of Ecology and Systematics 29: 83-112.

Mondragón-Jacobo, C., S. Méndez-Gallegos y G. Olmos-Oropeza. 2001. In: Cactus (*Opuntia* spp.) as forage. FAO Plant Production and Protection Paper 169. Roma.

Nieddu, G., y D. Spano. 1992. Flowering and growth in *Opuntia ficus-indica*. Acta Hort. 296: 153-159.

Nobel P S (1988) Environmental Biology of Agaves and Cacti. Cambridge University Press, Cambridge. pp:166-270.

Nobel P S (1994) Remarkable Agaves and Cacti. Oxford University Press, New York. pp:89-126.

North G B, P S Nobel (1992) Drought-induced changes in hydraulic conductivity and structure in roots of *Ferocactus acanthodes* and *Opuntia ficus-indica*. New Phytol. 120:9-19.

Porsch, O. (1939) Das Bestäubungsleben der Kakteenblüte. II. Cactaceae. Jahrbuch der Deutsche Kakteen-Gesellschaft 2: 81-142.

Reynolds, S.G., y E.A. Jiménez. 2003. El nopal (*Opuntia* spp.) como forraje. Estudio FAO producción y protección vegetal 169, México.

Reyes-Agüero, J., R. Aguirre-Rivera y H. Hernández. 2005. Notas sistemáticas y una descripción detallada de *Opuntia ficus-indica* (L.) Mill. (Cactaceae). Agrocienca 39: 395-408.

- Rosas, P., y E. Pimienta. 1986. Polinización y fase progámica en nopal (*Opuntia ficus-indica* (L.). Miller) tunero. *Fitotecnia* 8: 164-176.
- Ochoa, J. 2003. Principales características de las distintas variedades de tuna (*Opuntia* spp.) de la República Argentina In: Inglese, P. y Nefzaoui, A. eds. *Cactusnet Newsletter*. FAO International Technical Cooperation Network on Cactus pear. Número especial. Roma.
- Pimienta, E. 1990. El nopal tunero. Universidad de Guadalajara, México.
- Sáenz, C., H. Berger, J.C. García, L. Galletti, V.G. de Cortázar, I. Higuera, C. Mondragón, A. Rodríguez-Félix, E. Sepúlveda, M.T. Varnero. 2006. Utilización agroindustrial de nopal. *Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO* N° 162. Roma.
- Scheinvar, L. 1999. Taxonomía de las *Opuntias* utilizadas. pp. 21-28. In: *Agroecología, cultivo y usos del nopal*. Estudio FAO Producción y Protección Vegetal N° 132.
- Sudzuki, F., C. Muñoz y H. Berger. 1993. El cultivo de la tuna (Cactus Pear). Departamento de Reproducción Agrícola. Universidad de Chile.
- Stebbins, G.L. (1970) Adaptive radiation of reproductive characteristics in Angiosperms, I: pollination mechanisms. *Annual Reviews of Ecology and Systematics* 1: 307-326.
- Teixeira V. 2006. Análisis de la diversidad de la composición de Cactáceas y su relación con los factores edáficos en el valle del río Chillón, Lima: cerro Umarcata y quebrada Orobel. Tesis para optar el Grado Académico de Magíster Scientiae. UNALM.
- Thompson, J.N. (1994) *The coevolutionary process*. University of Chicago Press, Chicago, Illinois. 376 pp.
- Valiente-Banuet, A., Arizmendi, M. C. y Rojas- Martínez, A. y Domínguez-Canseco, N. (1996) Ecological relationships between columnar cacti and nectar feeding bats in Mexico. *Journal of Tropical Ecology* 12: 103-119.