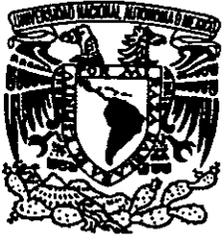


9



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

**FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES
CUAUTITLÁN.**

**“EVALUACIÓN DEL POTENCIAL DE
COMPATIBILIDAD DEL NOPAL TUNERO (*Opuntia
megacantha* Salm Dick) A TRAVÉS DE 6 TÉCNICAS DE
INJERTO CON NOPAL XOCONOSTLE (*Opuntia
joconostle* Weber in Diguet)”.**

T E S I S

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE
INGENIERA AGRÍCOLA.**

P R E S E N T A :

ROSALBA GARCÍA ELVIRA

284281

**ASESOR:
MC. SILVESTRE BENITEZ VICTORINO.
COASESOR: MC. ANTONIO CORTES JIMENEZ.**



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.



FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES CUAUTITLAN
 UNIDAD DE LA ADMINISTRACION ESCOLAR
 DEPARTAMENTO DE EXAMENES PROFESIONALES

UNIVERSIDAD DE LA
 AZCAPAZUCA
 MEXICO

ASUNTO: VOTOS APROBATORIOS

DR. JUAN ANTONIO MONTARAZ CRESPO
 DIRECTOR DE LA FES CUAUTITLAN
 PRESENTE

ATN: Q. Ma. del Carmen García Mijares
 Jefe del Departamento de Exámenes
 Profesionales de la FES Cuautitlán

Con base en el art. 28 del Reglamento General de Exámenes, nos permitimos comunicar a usted que revisamos la TESIS:

"Evaluación del potencial de compatibilidad del nopal tunero

(*Opuntia megacantha* Salm Dick) a través de 6 técnicas de

injerto con nopal xoconostle (*Opuntia joconostle* Weber in Diguet)"

que presenta la pasante: Rosalba García Elvira

con número de cuenta: 8803826-3 para obtener el título de :

Ingeniero Agrícola

Considerando que dicho trabajo reúne los requisitos necesarios para ser discutido en el EXAMEN PROFESIONAL correspondiente, otorgamos nuestro VOTO APROBATORIO.

ATENTAMENTE

"POR MI RAZA HABLARA EL ESPIRITU"

Cuautitlán Izcalli, Méx. a 06 de Septiembre de 2000

PRESIDENTE M.C. Silvestre Benítez Victorino

VOCAL M.C. Edvino Josafat Vega Rojas

SECRETARIO Ing. Hilda Carina Gómez Villar

PRIMER SUPLENTE Ing. Vicente Silva Carrillo

SEGUNDO SUPLENTE Ing. Miguel Bayardo Parra

INDICE

| | PAG. |
|---|------|
| INTRODUCCIÓN | 1 |
| OBJETIVOS | 3 |
| HIPÓTESIS | 4 |
| I. REVISIÓN DE LITERATURA | |
| 1.1. Consideraciones Acerca del Origen de las Cactáceas | 5 |
| 1.2. Generalidades del Nopal | 6 |
| 1.3. Morfología | 6 |
| 1.4. Anatomía y Fisiología | |
| 1.4.1. Raíz | 9 |
| 1.4.2. Hoja | 13 |
| 1.4.3. Aréolas | 13 |
| 1.4.4. Espinas | 13 |
| 1.4.5. Tallo | 14 |
| 1.4.6. Flor | 20 |
| 1.4.7. Fruto | 22 |
| 1.5. Diversidad y Clasificación Taxonómica | |
| 1.5.1. Diversidad | 23 |
| 1.5.2. Clasificación de las especies utilizadas | 24 |
| 1.6. Condiciones Ecológicas | 27 |
| 1.7. Distribución Geográfica | 28 |
| 1.8. Plagas y Enfermedades | 29 |
| 1.8.1. Plagas | 30 |
| 1.8.2. Enfermedades | 31 |
| 1.9. Utilización | 32 |
| 1.9.1. Importancia ecológica | 33 |
| 1.9.2. Importancia alimenticia | 33 |
| 1.9.3. Importancia frutícola | 34 |
| 1.9.4. Importancia forrajera | 35 |
| 1.9.5. Importancia medicinal | 36 |
| 1.9.6. Importancia industrial | 37 |
| 1.10. Generalidades sobre Propagación | 38 |
| 1.11. Definición del Injerto | 39 |
| 1.11.1. Antecedentes del injerto | 40 |
| 1.11.2. Tipos de injerto | 41 |
| 1.12. Propagación de Cactáceas | 42 |
| 1.12.1. Propagación por semilla | 43 |
| 1.12.2. Propagación por vástagos | 43 |

| | |
|--|----|
| 1.12.3. Propagación por esquejes | 44 |
| 1.12.4. Propagación por injerto | 44 |
| 1.13. Formación de la Unión del Injerto | 44 |
| 1.14. Proceso Inicial del Contacto Cambial | 46 |
| 1.15. Influencia del Patrón Sobre el Injerto | 46 |
| 1.16. Tamaño-hábito de Crecimiento | 47 |
| 1.17. Fructificación | 47 |
| 1.18. Quimeras | 48 |
| 1.19. Compatibilidad | 48 |
| 1.20. Limitantes | 49 |
| 1.21. Incompatibilidad | 50 |
| 1.21.1. Síntomas de incompatibilidad | 51 |
| II. MATERIALES Y MÉTODOS | |
| 2.1. Localización | 52 |
| 2.2. Condiciones ambientales | 52 |
| 2.3. Preparación del Terreno | 52 |
| 2.4. Insumos Agrícolas | 53 |
| 2.5. Desarrollo | 53 |
| 2.6. Materiales Utilizados | 57 |
| III. ANÁLISIS DE RESULTADOS | |
| 3.1. Diseño Experimental | 58 |
| 3.2. Toma de Datos | 59 |
| 3.3. Resultados | 59 |
| 3.4. Discusión de Resultados | 65 |
| CONCLUSIONES | 68 |
| BIBLIOGRAFÍA | 69 |

INTRODUCCIÓN.

Las zonas áridas y semiáridas de México, ocupan más del 60% del área total del país; esto es aproximadamente 1 450 000 Km²; se consideran zonas áridas aquellas regiones geográficas que presentan cambios bruscos en las temperaturas del día con respecto a la noche, con una precipitación pluvial anual no mayor de 250mm; y como zonas semiáridas las regiones que se caracterizan por tener una precipitación que va de 250 mm a 500 mm anuales. Incluyen suelos en su mayoría con características intrínsecas (como: baja fertilidad, alta pedregosidad, bajo contenido de materia orgánica y generalmente son suelos calcáreos). El tipo de vegetación que se localiza en la zona es de matorral xerófito, siendo la familia **Cactaceae** la predominante, por tener mayor adaptación a estas áreas.

Dentro de estas zonas se concentra el 17% de la población, cuyos habitantes se dedican principalmente a actividades de subsistencia tales como: agricultura rudimentaria, pastoreo y recolección de especies vegetales silvestres utilizables; las especies explotadas, más importantes son: el maguey (*Agave*), mezquite (*Prosopis*), candelilla (*Pedilanthus*), yuca (*Manihot*), biznaga (*Echinocactus*), guayule (*Parthenium*), jojoba (*Simmondsia*), gobernadora (*Brikelia*), calabacilla loca (*Cucurbita*), lechuguilla (*Agave*), palma china (*Yuca*), sotol (*Daylirion*), y nopal (*Opuntia*) entre otros. Este último género sobresale por sus múltiples usos entre ellos su importancia en la alimentación de la población mexicana.

México posee una gran diversidad de especies de nopales silvestres los cuales a través del tiempo se han logrado domesticar para satisfacer las diferentes necesidades de los habitantes de estas zonas; hay quienes al emigrar a otras regiones para establecerse, se han llevado consigo semillas o partes vegetativas de esta planta y se adaptan, gracias a sus características fisiológicas y morfológicas como: epidermis cerosa y gruesa que evita la evaporación del agua; glóquidas que captan y mantienen por más tiempo la humedad del ambiente y también como protección de sus enemigos naturales, el mucílago o "baba" que permite retener los nutrientes y agua necesaria para su sobrevivencia, así como un sistema radicular ramificado para una rápida y eficiente absorción de agua lo que le permite desarrollarse en condiciones ambientales adversas. Todo esto ha hecho fácil su adaptabilidad y propagación en diferentes tipos de climas, desde áridos hasta templados y en altitudes que van desde los 2 msnm hasta los 2675 msnm (su altitud óptima es de 800 msnm a 2500 msnm), su explotación rudimentaria es intensiva y se utiliza la planta para obtención de frutos (tuna) como forraje o como "nopalito" para verdura.

Esto nos indica el papel que ha desempeñado el nopal a nivel nacional desde los tiempos prehispánicos hasta nuestros días y de la relevancia que ha adquirido a nivel internacional por los beneficios que le ha traído al hombre incluyendo el uso industrial (colorantes extraídos de la cochinilla) y medicinal (control de diabetes).

No obstante lo anterior, el beneficio que del nopal se obtiene no siempre se lleva a cabo en forma racional ya que el sobrepastoreo y los severos desmontes han producido el deterioro de sus poblaciones nativas y su consiguiente disminución, lo cual además de afectar las nopaleras naturales ha propiciado que se agraven los problemas de degradación del suelo, promovidos principalmente por la erosión eólica.

Con estos antecedentes y conociendo la necesidad de prevenir otros problemas más drásticos, como los producidos por la desertificación, se considera necesario implementar una estrategia que permita la recuperación de las zonas afectadas, por medio de la reforestación.

Pero debido a que la distribución de muchas de las especies del desierto está en íntima relación con el tipo de sustrato en que se desarrollan, se plantea el uso de la técnica de injertación como herramienta para formar combinaciones especiales que permitan obtener los productos de plantas que, comúnmente, no se desarrollan en todos los terrenos, ya que se han observado que también la distribución de las diferentes especies de nopal, esta relacionada con la existencia de suelos provenientes de un tipo de sustrato.

La técnica de injertación presenta algunas ventajas sobre otros sistemas de propagación asexual; como son los esquejes, divisiones, hojas, cladodios, en algunos casos partes de tallos, porque con esto pueden obtenerse plantas de difícil propagación y/o en peligro de extinción; al realizar esta práctica disminuye la etapa juvenil.

OBJETIVOS.

- Evaluar la compatibilidad de seis técnicas de injerto entre tuna blanca (*Opuntia megacantha*) y tuna xoconostle (*Opuntia joconostle*).
- Realizar un análisis bromatológico de los frutos de tuna blanca (*Opuntia megacantha*) y tuna xoconostle (*Opuntia joconostle*) y del (os) injerto (s) que haya (n) presentado mayor compatibilidad.

HIPÓTESIS.

Al realizar las técnicas de injerto se espera que una de éstas desarrolle mayor prendimiento entre tuna blanca (*Opuntia megacantha*) y xoconostle (*Opuntia joconostle*); de la cual se obtendrá un fruto de mayor calidad (mayor cantidad de azúcares, menor acidez, mayor cantidad de pulpa, mayor cantidad de fibra, menor cantidad de cenizas, mayor peso y tamaño); con el fin de que su uso no sea únicamente como condimento sino que se diversifique su utilidad como: fruta fresca, fruta cristalizada, orejones y en general se amplie su industrialización.

I. REVISIÓN DE LITERATURA.

1.1. Consideraciones Acerca del Origen de las Cactáceas.

La flora de México ha sido considerada como una de las más ricas y variadas del mundo; a su notable grado de endemismo, ha contribuido la situación geográfica del país, lo accidentado de su fisiografía y sus climas variados así como las intensas inmigraciones recibidas tanto de Norteamérica como de América del Sur. (Pimienta, 1990)

Según algunos botánicos (Gray 1880; citado por Bravo 1978), la región septentrional de la República y el Suroeste de Estados Unidos, fueron centro de una zona mesófila, donde diversos taxa evolucionaron y se dispersaron hacia el norte y hacia el sur. Shumann 1899 (citado por Bravo 1978), emitió la hipótesis de que las cactáceas tuvieron origen en esa región, dada la gran cantidad de especies que ahí habitan. La flora de las regiones áridas del Valle de México no solo posee gran proporción de endemismo, si no que ha recibido migraciones de plantas xerófilas del sur del continente, cuyo paso a través del trópico húmedo no ha sido aún satisfactoriamente explicado. Bray 1898; (citado por Bravo 1978) postuló la existencia de una probable cadena montañosa, cuyas laderas occidentales, áridas, permitieron dicho tránsito.

En América del norte se localizan 92 géneros, en tanto que en América del Sur hay 51; de los géneros identificados en América del norte, 61 existen en México y 31 en Estados Unidos. Por sus peculiares condiciones de latitud, topografía y climas, México es el país que alberga posiblemente la mayor cantidad de especies; las cuales están representadas en los distintos tipos de vegetación determinadas por Miranda y Hernández (1963), a cuya ecología se adaptaron en el transcurso del tiempo y adquirieron formas y habitats variados; por lo que en diversos tipos vegetativos de las zonas áridas y semiáridas es donde están distribuidos el mayor número de géneros y especies.

Hasta el momento no se conoce en que época se originaron y diferenciaron las cactáceas; pero se supone que sus formas ancestrales fueron plantas foliadas extinguidas que vivieron en territorios emergidos del caribe.

Fueron plantas mesófilas que a fines del período terciario habitaban regiones con climas subtropicales más o menos cálido-húmedo y que adquirieron gradualmente sus características xerófilas al ir disminuyendo la humedad a medida que los desiertos se formaban; de dichas formas se originaron las primeras *Opuntioideas* y *Cereoideas* que emigraron hacia el norte y hacia el sur a lo largo del continente, regiones en que la mayoría se diferenció en géneros que alcanzaron un endemismo muy notable. (Buxbaum 1969; citado por Bravo, 1978)

Como resultado de su adaptación al medio seco presentan determinadas modificaciones estructurales; entre estas adaptaciones ecológicas destacan las siguientes:

- a) El gran desarrollo de su parénquima, responsable de su succulencia.
- b) La reducción de la superficie transpiratoria al adquirir formas globosas.
- c) La atrofia hasta estados vestigiales del limbo de las hojas o su transformación en escamas, espinas y glóquidas.
- d) El engrosamiento de la cutícula y de las membranas celulósicas de los tegumentos.
- e) Las excrescencias cerosas de las células epidérmicas.

A dichas adaptaciones hay que agregar las de orden fisiológico, entre las cuales se pueden citar:

1. Las propiedades del protoplasma para subsistir en estado de anhidrobiosis durante la sequía.
2. Capacidad de las raíces para absorber el agua con rapidez debido al aumento de presión osmótica y al gran desarrollo del sistema de absorción cuyos pelos absorbentes se forman al inicio de la época de lluvias.
3. Asimilación activa durante la temporada de lluvias y aceleración del crecimiento.
4. Baja proporción transpiratoria durante los períodos secos.
5. Alto índice de transpiración a mayor temperatura.
6. Adaptación de algunas especies a los suelos salinos, debido a su alta presión osmótica. (Bravo, 1978)

1.2. Generalidades del Nopal.

Con base a lo antes descrito se considera que las cactáceas son originarias del continente americano, en donde se encuentran distribuidas principalmente en las regiones áridas y semiáridas. Las especies del género *Opuntia* son originarias del sur de los Estados Unidos, México, Ecuador y Perú.

México se considera como el centro de origen del nopal por poseer gran diversidad de especies, además de que existen evidencias de que fueron cultivados desde 500 a.C. en Tehuacán, México. Es posible encontrarlo en las planicies áridas del centro y norte del país, creciendo en diferentes climas, suelos, altitudes y tipos de vegetación; también se ha reportado su existencia en climas tropicales y subtropicales. Sin embargo, en las zonas semiáridas existe la variación más amplia, por lo que algunos botánicos consideran estas zonas como el punto de origen de los nopales (Pimienta, 1990). Posteriormente fue llevado de América a la península Ibérica por los navegantes españoles durante el siglo XVI y de ahí se ha distribuido a diferentes partes del mundo; ahora se encuentra en condición cultivada y silvestre en España, Portugal, Italia, Argelia, Marruecos, Túnez, Grecia, Israel, Australia, Sudáfrica, Argentina, Brasil, Colombia y Estados Unidos. (Flores, 1977)

1.3. Morfología.

La morfología de las plantas lleva en cierta forma impresos, diversos caracteres que proporcionan datos de las condiciones del medio en el que viven.

Sus características más importantes las han adquirido por herencia de los caracteres de antiguas líneas evolutivas. (Bravo, 1978)

En las zonas áridas y semiáridas del país existen diferentes factores que limitan el crecimiento de las plantas. El agua es el principal factor limitante; sin embargo, otras características ambientales como vientos fuertes y secos, cambios bruscos de temperaturas a través del día, deficiencia de nutrientes en el suelo y la presencia de sales y sustancias tóxicas, agudizan el problema de la falta de agua.

La evolución del nopal en este tipo de ambientes en los cuales predominan los factores limitantes sobre los favorables, ha conducido a que las diferentes especies del subgénero *Opuntia* desarrollen características morfológicas, fisiológicas y bioquímicas que le permiten adaptarse a dichas condiciones adversas.

En el nopal una modificación importante para enfrentar estas condiciones es la reducción en el tamaño de la lámina foliar (hojas) y lo efímero de éstas. Las hojas del nopal se diferencian durante el desarrollo de los cladodios jóvenes (brotes tiernos) y, después de treinta a cuarenta días, las hojas se desprenden del cladodio y son reemplazadas por las espinas, que son hojas modificadas esclerificadas. La presencia de hojas pequeñas y efímeras contribuye a reducir la pérdida de agua en las plantas por el proceso de transpiración foliar. En ausencia de hojas permanentes, el proceso fotosintético se realiza en los tallos de color verde. (Benson, 1963)

Otras adaptaciones importantes en esta planta se localizan en la epidermis de los cladodios, que se encuentra revestida de una cutícula gruesa que la protege de la evaporación (Conde, 1975). La cutícula no es digestible para organismos pequeños que traten de penetrar en ellos (Gibson y Nobel, 1986). En las células epidérmicas de cladodios jóvenes se encuentra una capa de cristales de oxalato de calcio (drusas), que es refractaria y actúa disminuyendo la absorción excesiva de energía luminosa (Jacobsen 1960). Debido a que el tallo es el principal órgano fotosintético del nopal, su epidermis tiene un número alto de estomas que participan en el intercambio de gases (CO_2 y H_2O) entre la planta y la atmósfera (Cuadro 1). Estudios recientes han revelado que la mayoría de morfoespecies presentan estomas hundidos.

En el nopal tunero no se diferencia hojas permanentes, por lo que el proceso fotosintético se lleva a cabo en los cladodios. La actividad fotosintética de un cladodio se prolonga hasta por tres años. Debajo de la epidermis de los cladodios se distingue una capa de células de color verde intenso que constituye el tejido del clorénquima, y que debe su color al abundante contenido de cloroplastos en sus células en este tejido es donde se realiza la fotosíntesis. En la porción interna de los cladodios se encuentra un cilindro de células blancas que debe su color al reducido número de cloroplastos y a la presencia de vacuolas grandes, las cuales ocupan el 95% del volumen celular (Gibson y Nobel, 1986). Técnicamente a este tejido se le conoce con el nombre de parénquima medular,

siendo su principal función el almacenamiento de agua; este tejido determina el carácter de succulencia en el nopal.

En el clorénquima y en el parénquima medular se diferencian células que almacenan mucílago, vulgarmente conocido como "baba del nopal". Las células mucilaginosas se encuentran también en la cáscara de los frutos, ya que anatómicamente la cáscara se considera como un tallo modificado. (Pimienta y Engleman, 1985)

CUADRO 1

| ÓRGANO | CAMBIO ADAPTATIVO | IMPORTANCIA |
|--------|--|--|
| Hoja | Reducción del tamaño de la lámina foliar Hojas efímeras de vida corta (30-40 días); posteriormente son reemplazadas por las espinas | Se reduce la pérdida de agua por transpiración foliar |
| Tallo | La epidermis se reviste de una cutícula gruesa Diferenciación del tallo con abundante clorénquima clorofílico Diferenciación de capas de cristales de oxalato de calcio en la epidermis y en el colénquima | Reduce la transpiración epidermal Realiza la función fotosintética Los cristales por ser refractarios disminuyen la absorción de energía luminosa |
| Aréola | Diferenciación de espinas y glóquidas | Aumenta grosor de la capa frontera (reducción transpiración) Absorción de energía solar de onda corta, lo cual ayuda a moderar los extremos de temperatura. |

Pimienta (1990).

El mucílago presente en las células de la corteza se ha descrito como un polisacárido ácido (Trachtenberg y Mayer, 1981a), que posee una estructura altamente ramificada (McGarvie y Parolis, 1981). Estudios histoquímicos han demostrado que el mucílago se encuentra presente sólo en el aparato de Golgi, y es probablemente sintetizado en éste y en las vesículas que se derivan de él. (Trachtenberg y Mayer, 1981b)

Como ya se ha mencionado, las espinas son comunes en los cladodios de nopal y reemplazan a las hojas pequeñas y efímeras en los estadios iniciales del desarrollo de los cladodios. Las espinas se originan de estructuras vegetativas llamadas aréolas, que se consideran como homólogas de las yemas laterales de

un brote (Buxbaum, 1950). Es importante añadir que de las areolas también se diferencian tallos, órganos foliares, glóquidas, raíces y flores. (Boke, 1980)

Se han sugerido diversas funciones para las espinas: actúan como una defensa del nopal para evitar ser comido por animales y como órgano de absorción de agua debido a su habilidad de condensar agua del aire. Las espinas, en conjunto con las glóquidas, ayudan a disminuir la tasa de transpiración, debido a que aumentan el grosor de la capa frontera. Otra función que se atribuye a las espinas es la absorción de energía solar de onda corta, lo que ayuda a moderar los extremos de temperatura en los cladodios durante el día.

Sin embargo, esta ventaja de control de temperatura también puede ser un factor adverso si se considera que las espinas pueden reducir la cantidad de radiación que incide sobre la superficie de los tallos o cladodios y como consecuencia, se reduce la eficiencia fotosintética de las plantas, es decir, en nopales con mayor frecuencia de espinas en la superficie del cladodio se espera menor actividad fotosintética, la cual puede reducir la productividad neta de las plantas. (Nobel, 1983)

El nopal presenta un sistema radical superficial y esta distribución obedece principalmente al hecho de que el nopal se propaga generalmente por vía asexual. En las plantas que se propagan por partes vegetativas, las raíces pueden originarse de yemas laterales adventicias y no se distingue la dominancia de una raíz principal, como ocurre en las plantas que se propagan por la vía sexual. En el nopal, las raíces se diferencian a partir de las aréolas que se localizan en la porción del cladodio, que se encuentra enterrado en el suelo o en contacto con éste. En el caso de cladodios que se siembran en posición vertical, el sistema radical adquiere el aspecto de cabellera fasciculada.

Estudios realizados sobre la distribución radical del nopal tunero han revelado que la mayor densidad de raíces se encuentra de 0 a 30 cm de profundidad. Se ha encontrado también que en plantaciones en las que periódicamente se aplica estiércol y se realizan prácticas culturales (pasos de rastra), la mayor cantidad de raíces se localiza a una distancia horizontal de la planta de 15 a 65 cm mientras que en las plantaciones que reciben una menor frecuencia de prácticas culturales se distinguen raíces con longitudes que oscilan entre 4 y 8 m además, en el primer caso, las raíces son suculentas y poco ramificadas, y en el segundo, éstas son más ramificadas y de apariencia corchosa. (Hernández, 1978)

1.4. Anatomía y Fisiología.

1.4.1. Raíz.

El agua es crucial para la vida. Para que una planta crezca, incluso para que germine requiere tomar agua del suelo generalmente. La absorción de agua y

la reducción al mínimo de su pérdida son dos de los procesos fisiológicos más importantes de las plantas nativas de regiones donde el agua es escasa.

En general el sistema radical del género *Opuntia* es superficial y particularmente denso; las raíces muertas proporcionan gran cantidad de materia orgánica al grado de cambiar el color de los horizontes superficiales de las plantaciones viejas. El parénquima cortical de las raíces gruesas permanece turgente y funciona como almacén de agua. Las raíces secundarias mueren durante períodos largos de sequías y vuelven a crecer durante los lapsos de lluvias (Barrientos 1983). Una característica de las especies resistentes a sequías es su gran proporción de masa en raíces y la profundidad de las mismas. Los pastos perennes y los arbustos de zonas áridas, por lo general, tienen una gran proporción de materia seca en sus raíces que, en casos extremos, puede llegar a un 90% del total de materia seca. (Fischer y Turner, 1979)

En relación con este aspecto, Sudzuki (1975) menciona que durante períodos de sequía el sistema radicular de las cactáceas se desarrolla mucho más que su copa aérea. La misma autora (1969) demuestra con sus experimentos que:

1. En el suelo seco, algunas plantas tienen la capacidad de incrementar la absorción de agua mediante sus raíces superficiales, debido a que en estas se eleva un potencial hídrico más negativo.
2. La absorción adicional de agua que realizan las cactáceas se logra al aumentar el volumen radicular, el cual hace que haya mayor superficie de absorción. En estas plantas hay mayor presión osmótica que la ejercida por las raíces de plantas comunes, lo que les permite obtener una cantidad extra de agua.
3. El mecanismo de absorción de agua se relaciona con el funcionamiento de los estomas; esto es, su cierre y apertura están condicionados al horario de mayor humedad relativa del aire y de menor temperatura ambiental.

Las raíces de los agaves y de los cactus tienden a estar a poca profundidad en suelos porosos y arenosos. Las lluvias ligeras que caracterizan a las regiones áridas y semiáridas por lo general no humedecen el suelo a gran profundidad. Así, las raíces someras están idealmente situadas para responder rápido a las lluvias ligeras. Sin embargo, las raíces enfrentan una disyuntiva cuando el suelo se seca. Las raíces pueden convertirse en los conductos por los cuales se da una pérdida masiva de agua en los tallos, los cuales poseen un alto contenido, hacia el suelo seco.

Existen varios tipos y formas de raíces, las cuales desempeñan distintas funciones. Las raíces principales que se originan en el tallo tienden a ser largas, exploran gran volumen de suelo para obtener agua y nutrientes. Las raíces también ayudan a anclar la planta, las raíces laterales delgadas se originan en las raíces principales e incrementan mucho el área de contacto entre el sistema

radical y las partículas de suelo, lo cual facilita una toma adicional de agua y de nutrientes del suelo. (Nobel, 1998)

En general la raíz de las cactáceas es semejante a la de otras dicotiledóneas; proceden de la radícula del embrión (forma pivotante) y en algunos casos, son adventicias (forma ramificada); fijan a la planta en el suelo, absorbe el agua con las sustancias nutritivas en ella disueltas y puede en algunos géneros almacenarla en sus tejidos.

Cannon (1911), citado por Bravo ((1978), en su estudio acerca de las raíces de plantas desérticas observó la existencia de tres tipos de raíces:

1. Cuando la raíz principal adquiere mayor desarrollo que las secundarias.
2. Cuando las raíces secundarias crecen más que la principal.
3. Cuando la raíz principal y las secundarias alcanzan aproximadamente el mismo desarrollo.

Desde el punto de vista fisiológico puede asentarse, como regla general, que la raíz principal constituye el sistema de fijación, pues se introduce verticalmente en el suelo y su desarrollo es proporcional al tamaño y a la fuerza de tracción del vegetal, y que las raíces secundarias intervienen particularmente en la absorción, pues la longitud que alcanzan, la profundidad que llegan y el grado de ramificación que adquieren, están en relación con el factor humedad y con las demás características del suelo. (Cruz, 1983)

En las zonas áridas las lluvias, aunque torrenciales, son de corta duración, y la sequedad, así como lo elevado de la temperatura hacen que la escasa agua que persiste en el suelo después de los escurrimientos, se evapore o se filtre rápidamente a las capas profundas. El sistema de absorción tiene entonces que adaptarse para captar el agua con rapidez, caracterizándose tanto por su extraordinaria ramificación como por la gran longitud que alcanza a veces más de 15 m extendiéndose horizontalmente de una profundidad que va de 5 a 25 cm (Bravo, 1978). La región somera del suelo puede ser extremadamente caliente durante el verano. La superficie del suelo donde estas especies crecen puede alcanzar 70 °C, en contraposición con 55°C observado a 5 cm de profundidad; estas elevadas temperaturas han demostrado ser letales para las células de la raíz. En la época de lluvias el humedecimiento del suelo induce el crecimiento de nuevas raíces en los agaves; algunas de estas se originan en la base del tallo, por lo que el número de raíces principales tiende a incrementarse con el paso de los años. Aunque en suelo húmedo se producen continuamente raíces principales nuevas, un incidente de lluvia aislada por lo general induce a ramificaciones en las raíces principales existentes. Estas ramificaciones perdurarán mientras el suelo esté húmedo, pero morirán y se desprenderán (abscisión) en cuanto éste se seque. Un experimento realizado en Israel reportó que seis meses después de plantado un artículo de *Opuntia ficus-indica* en suelo húmedo y fértil, aproximadamente 80% en peso seco de su sistema radical tendrá raíces laterales relativamente delgadas.

El agua que toma la planta se mueve dentro y a través de varios tipos de células y por dos sendas distintas. La senda apoplástica (célula que carece de cromatóforos), que abarca el movimiento del agua dentro de las paredes celulares, inicia con el agua que entra en las paredes celulares de las células epidérmicas. Las paredes celulares rodean y encierra a todas las células vegetales, son fuertes pero porosas y están compuestas principalmente de fibras resistentes de un polímero denominado celulosa. Las regiones entre los polímeros celulósicos están llenos de agua. Estas regiones llenas de agua permiten al líquido moverse de una pared celular a la de la célula adyacente y así atravesar la corteza de la raíz por la senda apoplástica.

El agua también puede atravesar la epidermis radical y la corteza al moverse hacia el interior de las células, forma lo que se conoce como senda simplástica. Los contenidos internos de una célula o citoplasma puede pasar de una célula a otra por medio de estructuras en formas de túneles pequeños llamados plasmodesmos. El agua se puede mover de una célula a otra a través de los plasmodesmos sin atravesar la membrana celular que rodea al citoplasma. La membrana celular es una barrera formidable en contra del movimiento de las moléculas, en especial de aquellas que están cargadas de electricidad o son relativamente grandes. Así, los plasmodesmos facilitan enormemente la difusión de material entre células adyacentes, como agua, la cual puede moverse de una célula a otra mediante la corteza radial en la senda simplástica.

En la capa de células conocida como endodermis se bloquea la senda apoplástica. Específicamente, la pared celular donde se ponen en contacto las células endodérmicas adyacentes está llena de una sustancia cerosa, suberina, que reemplaza el agua entre los polímeros celulósicos, de esta manera, el agua y los solutos del suelo deben de entrar al citoplasma de las células endodérmicas radicales para continuar su movimiento al sistema vascular de la raíz y posteriormente llegar al tallo. La endodermis llena con suberina las paredes celulares de contacto entre sus células, de esta manera es el sitio en el que se puede dar la regulación celular de lo que entra en el tallo.

Después de cruzar la endodermis, el agua puede entrar en las células conductoras del tejido vascular conocido como xilema. Las células del xilema maduro son simplemente conductos huecos hechos de paredes celulares. Estas "células" carecen de membrana, citoplasma y núcleos, y las paredes celulares entre células consecutivas a lo largo del xilema con frecuencia se desintegran. Esto significa que las células conductoras de agua del xilema solo funcionan cuando están muertas. Debido a que estas células se alinean en una configuración tubular, el agua y los nutrimentos disueltos por lo general fluyen rápidamente en el xilema a lo largo del eje de la raíz para llegar al tallo. (Nobel, 1998)

1.4.2. Hoja.

En gran parte de los géneros de la subfamilia *Opuntioideae* las hojas tectrices se modifican: la base se transforma en un tubérculo poco prominente, el peciolo desaparece y el limbo se reduce, adquiriendo formas cónicas o cilíndricas y es generalmente caduco; a veces puede persistir transformado en espina cuando los tejidos se esclerotizan.

En el caso de las hojas reducidas de formas cónicas o cilíndricas, en las que no se distingue haz ni envés, Bailey (1968) citado por Bravo (1978) ha demostrado que el parénquima clorofílico o empalizado se dispone formando un cilindro que rodea, juntamente con los haces vasculares secundarios, el haz vascular central.

El mismo autor agrega que las hojas de la especie *Opuntia subulata*, nativa de América del Sur, en su mayoría son grandes, largas, angostas y casi circulares en sección transversal y tienen el parénquima clorofiliano como los haces vasculares secundarios, formando un semicírculo en torno del haz vascular central. (Bravo, 1978)

1.4.3. Aréolas.

Las aréolas son los órganos más característicos de las cactáceas y por consiguiente del nopal, su significado fue objeto de controversias, pero actualmente, se les considera como yemas homólogas a las yemas axilares de las otras dicotiledóneas. Las yemas de las dicotiledóneas, debido a sus meristemas dan origen a hojas, nuevos tallos y flores; las yemas o aréolas de las cactáceas en general forman hojas reducidas, flores, nuevos tallos, espinas, glóquidas, cerdas, pelos y a veces raíces adventicias.

En casi todas las especies existe, al centro de las aréolas, un meristemo de crecimiento integrado por dos porciones, la abaxial o externa, que forma las espinas y la adaxial que origina las flores. La abaxial entra primero en actividad y ya que se ha formado las espinas se activa la parte adaxial productora de flores. (Pimienta y Engleman, 1983)

1.4.4. Espinas.

Las espinas son también órganos muy característicos de las cactáceas y aunque en algunas especies faltan, como *Lophophora*, *Aztekium*, *Astrophytum myriostigma*, *A. asterias* y en pocas especies de *Epiphyllum*, *Opuntia*, *Rhipsalis*, etc., según las investigaciones anatómicas que se han hecho acerca de su proceso de formación, las espinas son consideradas como hojas modificadas.

En el género *Opuntia* es posible observar estados de transición entre hojas y espinas. Poindexter (1951) citado por Bravo (1978), indica que aunque la

homología entre las hojas y las espinas ha sido demostrada, tienen sin embargo, algunas diferencias estructurales como son la reducción de los parénquimas y la lignificación de los tegumentos.

Las espinas se forman a expensas de los tejidos meristemáticos de las aréolas de la misma manera que las hojas; su crecimiento se debe a un meristemo que existe en su base y el endurecimiento por el proceso de lignificación al que se ha hecho referencia. Las espinas aparecen en la aréola casi al mismo tiempo, pero sucesivamente, adquiere una disposición bilateral.

En las cactáceas hay distintos tipos espinas, Ganong (1894) citado por Bravo (1978); agrupó en tres clases: las gruesas o defensivas, las suaves y las glandulares.

Entre las espinas defensivas están comprendidas las glóquidas o "aguates" propias de la subfamilia *Opuntioideae*, son muy delgadas, pequeñas, rígidas y comunmente muy numerosas; forman haces en la región adaxial de la aréola; su estructura es semejante a la de las espinas, pero mucho más sencilla poseen en el exterior células fusiformes que dejan en la superficie una porción libre a la que se debe que cuando se tocan penetran en la piel fácilmente y se extraen con dificultad.

A las espinas de las cactáceas se le atribuyen varias funciones: defender a la planta de los animales, impedir juntamente con la masa de pelos lanosos, la excesiva transpiración y condensar el agua atmosférica que a veces puede penetrar a los parénquimas. (Gibson y Nobel 1986)

1.4.5. Tallo.

La conservación del agua es una de las ventajas ecológicas y agronómicas potenciales más importantes de los agaves y los cactus. Los tallos almacenan típicamente grandes volúmenes de agua en relación con sus superficies, a través de los cuales la pierde por transpiración. El área de los tallos de agaves y cactus son una adaptación crucial a las regiones áridas y semiáridas también son interesantes desde el punto de vista de su adaptación a su temperatura y radiación solar ya que las espinas y la cobertura de pelos que se encuentran a lo largo del tallo les permite soportar altas temperaturas o en su defecto temperaturas bajas para evitar el daño por congelamiento de la planta (Nobel 1998).

Las especies del género *Opuntia* que parecen derivar de las *Pereskias* a través de las *Pereskiopsis*, han sido agrupadas en subgéneros de acuerdo con la forma de sus tallos. En el subgénero *Cylindropuntia* las especies tienen tallos arbustivos y generalmente poseen un tronco del que parten ramas cilíndricas o artículos provistos de series espiraladas de tubérculos que casi se tocan entre sí por el acortamiento de los entrenudos. Las ramas laterales comunmente, presentan el aspecto de aparentes verticilos dispuestos casi siempre hacia la parte

superior del tallo principal. En el subgénero *Opuntia (Platyopuntia)* las especies son arbustivas si están provistas de un tronco bien definido o rastreras si carecen de él; el tronco es más o menos cilíndrico, pero las ramas a que da origen son aplanadas y discoides en forma de raqueta (cladodio) y los podarios que son poco elevados están más o menos distantes y ordenados, como en todas las cactáceas en series espiraladas. (Bravo 1978)

La estructura histológica del tallo en el nopal y el resto de las cactáceas es semejante en lo general a la de las demás dicotiledóneas pero tiene algunas modalidades propias de las plantas suculentas(MAC) Metabolismo Ácido Crasuláceo. El sistema tegumentario está constituido por los tejidos epidérmico y peridérmico; las membranas de las células epidérmicas que se encuentran en contacto con el medio externo, se hallan revestidas de una gruesa película de cutina que impide la evaporación del agua y proporciona una resistencia a las células sobre ella, por excreción se deposita algunas veces un revestimiento ceroso en forma de escamas diminutas o de gránulos muy finos; estas formaciones dan cierta protección a la epidermis ya sea reflejando los rayos del sol o bien proporcionándole alguna sombra.

Debajo de la epidermis existe en algunos géneros como *Pereskia* y *Opuntia*, una capa de células que constituye la hipodermis que contiene inclusiones cristalinas de oxalato de calcio. En la parte vieja de los tallos la epidermis desaparece pero es sustituida por la peridermis integrada por estratos celulares que se suberifican. En casi todos los géneros debajo del sistema tegumentario está el tejido colenquimatoso que da consistencia y solidez al tallo.

Los estomas en las cactáceas están más o menos hundidos y tienen en promedio 35 estomas por mm^2 de epidermis. Este número de estomas por unidad de superficie es más bien típico en agaves y cactus, la cutícula de los agaves y cactus tiende a ser más gruesa que la de las especies con hojas delgadas, el espesor con frecuencia es de 20 micrómetros o más ($1 \text{ micrómetro} = 10^{-6} \text{ m}$) el espesor de la cutícula tiende a engrosar con la edad, aunque se pueden formar cutícula de los tallos maduros. Cuando los estomas están abiertos el vapor de agua, el bióxido de carbono y el oxígeno pasan con facilidad de adentro hacia afuera por los poros estomáticos y relativamente hay poco movimiento de estos gases por la cutícula. En la medida en que los estomas cierran parcialmente, disminuyen el intercambio de gases con el medio circundante. Si los estomas se cierran por completo, se reducen enormemente el intercambio de gases entre el interior de las hojas o de los tallos y el ambiente, debido a que la única senda que queda es la cutícula. Algunos estudios indican que el mayor o menor hundimiento de los estomas en la epidermis es directamente proporcional a este factor, lo que influye en la optimización del agua.

Los estomas que se localizan en una epidermis impermeable operan como reguladores de la pérdida de agua entre la hoja y la atmósfera seca circundante, sin embargo, los estomas son el sitio de entrada del CO_2 por lo que una reducción de la pérdida de agua a través del control estomatal tiene como consecuencia una

disminución en la fijación de CO₂ por lo tanto, en la productividad. No obstante, el control estomatal para la pérdida de agua es un mecanismo de sobrevivencia y no de optimización de la productividad excepto en circunstancias especiales. (Turner, 1979)

Para que el mantenimiento del balance interno del agua en la planta sea efectivo, los estomas se deben cerrar firmemente y la pérdida de agua se efectuará solo a través de la cutícula. (Turner et al 1978)

Tomando en cuenta lo anterior y considerando que una gran fracción de la superficie de la tierra es árida o semiárida, el cultivo del nopal tunero que requiere de poca o ninguna agua de riego pueda asumir una gran importancia agronómica en el futuro. (Nobel y Hartssock 1984)

EFICIENCIA EN EL USO DEL AGUA POR UN CLON DE
NOPAL TUNERO Y OTRAS ESPECIES VEGETALES

| ESPECIE | MASA DE AGUA (kg) NECESARIA PARA PRODUCIR UN kg DE MATERIA SECA |
|---------------------------------------|---|
| Magüey (<i>Agave americana</i>) | 93 |
| Nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) | 267 |
| Maíz (<i>Zea mays</i>) | 367 |
| Trigo (<i>Triticum sp</i>) | 507 |
| Alfalfa (<i>Medicago sativa</i>) | 750 |

Brutsch 1984.

La gruesa cutícula de agaves y cactus tiende a asegurar que se difunda poco vapor de agua fuera de los tallos durante el cierre estomático, que es el factor más importante que les permite tolerar largos períodos de sequía en regiones semiáridas. (Nobel, 1998)

La capacidad de las cactáceas para tolerar esto es una combinación de características que incluyen: el almacenamiento de agua en el tallo, la baja permeabilidad de la epidermis y la capacidad de las células para resistir la deshidratación. Las plántulas grandes de agaves y cactus pueden tolerar sequías prolongadas, en parte debido a su alta razón volumen-área. En los agaves y cactus la permeabilidad de la epidermis al agua tiende a disminuir a medida que el espesor de la cutícula aumenta con la edad por lo que las plantas adultas toleran sequías de meses y hasta años.

Durante sequías prolongadas el parénquima esponjoso y otras células del tallo pierden una cantidad cuantiosa de agua. Esto ocasiona que las células se enjuten y las paredes celulares adquieran un aspecto más irregular. Por lo general durante la sequía se desarrollan conexiones entre las células. En la medida en la que la pérdida de agua continúa, las conexiones también pueden desarrollarse dentro de las células cuando sus membranas se separan de la pared celular. La concentración de solutos disueltos en las células se incrementa con la pérdida de

agua. Esto es, a medida que la sequía avanza se tiene el mismo número de moléculas disueltas por célula en un volumen de agua mucho menor. Las altas concentraciones de solutos pueden afectar adversamente varios procesos celulares, ya que afectan la estructura molecular, las membranas y las reacciones químicas.

En la mayoría de especies vegetales con hojas delgadas, la pérdida de 30% de agua es letal. En contraste, las células parenquimatosas de muchos agaves y cactus pueden tolerar pérdidas de agua del orden de 70 a 95% de su volumen antes de sufrir un daño irreversible. Es evidente que las células de estas suculentas toleran una concentración relativamente grande de solutos y de cambios perceptibles en su configuración celular antes de que resulten afectados los procesos celulares. Durante las fases iniciales de la sequía el parénquima puede disminuir de 30 a 40% de espesor, en tanto que el clorénquima disminuye en menos de 10%. Por lo tanto, el agua se pierde de preferencia del parénquima antes que del clorénquima. La pérdida preferencial de agua de los tejidos de almacenamiento y la tolerancia a la deshidratación celular extrema son adaptaciones ambientales de los agaves y cactus al medio árido. (Nobel, 1998)

Inmediatamente abajo del sistema tegumentario o del tejido colenquimatoso cuando existe, está el parénquima en empalizada o clorofiliano, semejante al de las hojas pues está formado por varias capas de células prismáticas, grandes y alargadas; de paredes delgadas y con abundantes cloroplastos; este tejido es muy importante porque careciendo la mayoría de las cactáceas del limbo de las hojas, en él se efectúa la fotosíntesis. Debajo se encuentra el parénquima colector que forma una zona bastante amplia, con células grandes, esferoidales, turgentes por la gran cantidad de agua y diversos polisacáridos que almacenan (mucílago) a este tejido se deben las formas suculentas de las cactáceas.

Por lo que respecta al tejido conductor, hay que indicar que presenta según Bailey (1960) citado por Bravo (1978), un alto grado de especialización logrado desde antes que la familia adquiriera su estructura suculenta. Los artículos (cladodios) de la *Opuntia*, integran un cilindro reticulado y aplanado de acuerdo con la forma de tallo; de estos haces salen paquetes vasculares hacia la corteza, que terminan en los parénquimas o en los tejidos diferenciados de las aréolas.

La parte central de tallo está ocupado por la médula, tejido que forma una columna central cuyo diámetro varía con la edad. (Bravo, 1978)

Las especies del género *Opuntia* se caracterizan por presentar un metabolismo diferente a las plantas superiores C_3 y C_4 ; ya que las plantas pertenecientes a este género han tenido adaptaciones fisiológicas y bioquímicas para las condiciones desérticas limitantes. Uno de los cambios más importantes es su proceso fotosintético denominado metabolismo ácido crasuláceo (MAC).

Este tipo de fotosíntesis se distingue de la mayoría de plantas en que los estomas se encuentran cerrados durante el día y abiertos en la noche, cuando la

temperatura y el déficit de presión de vapor son ordinariamente bajos. En la fotosíntesis MAC, el CO_2 del aire es fijado a ácido málico durante la noche; este ácido se almacena en las vacuolas de las células de la corteza.

Durante el siguiente período de luz, el ácido málico es liberado de la vacuola y descarboxilado en el citoplasma para liberar CO_2 el cual es finalmente refijado y reducido en los cloroplastos por medio del ciclo de Calvin. Una de las ventajas de esta ruta metabólica es que se abate la pérdida de agua por transpiración, debido a que los estomas están abiertos en la noche y cerrados en el día. (Kluge y Ting 1978; Whitting *et al.* 1979)

La acumulación del ácido málico durante el transcurso de la noche ocasiona que los cladodios reduzcan su pH, es decir, acidifican los tejidos. Esta acidificación o acumulación de ácido es más intensa en cladodios jóvenes que en adultos, y dentro del cladodio es mayor en el clorénquima que en el parénquima medular. El parénquima medular se considera como un tejido de almacenamiento de agua.

Además de que la acidificación es más intensa en cladodios jóvenes, también se ha registrado que es mayor en las primeras horas del día. El consumo de cladodios jóvenes por ganado bovino en las primeras horas del día ocasiona diarrea en estos animales. En relación al consumo de cladodios por animales domésticos, se recomienda alimentarlos con cladodios secos antes de que empiece la estación de lluvias. (Samish y Ellern, 1975)

La fijación neta del CO_2 y la pérdida de agua han sido investigadas tanto en el laboratorio como en el campo. Debido a que la apertura de los estomas de las plantas MAC ocurre predominantemente por la noche (cuando las temperaturas de la planta y del aire son más bajas), la pérdida de agua tiende a ser menor para las plantas MAC que para la mayoría de los otros tipos de plantas (C3 y C4), cuyos estomas se abren sólo durante la luz del día. La eficiencia en el uso del agua (fijación de CO_2 sobre pérdida de agua) resultante es 3 a 7 veces mayor para las cactáceas cultivadas C3 y C4. Ciertas especies de cactáceas son eficientes no solamente con respecto a las utilización de agua sino que también pueden ser altamente productivas, especialmente bajo riego. (Nobel, 1991)

Las especies del género *Opuntia*, se consideran MAC; ésta aseveración está basada en que estas plantas no cambian de metabolismo fotosintético en respuesta a la aplicación de agua de lluvia o de riego. (Osmond, 1978)

En realidad quien descubrió que los artículos de la *Platyopuntia* toman el CO_2 durante la noche fue Teodoro Nicolás de Saussure en 1804, científico suizo, cuyos amplios intereses incluían la química vegetal y la fisiología. Los detalles de la acumulación de ácidos orgánicos en el clorénquima de los agaves y de los cactus por la noche y su disminución durante el día no se aclaró sino hasta la década de los 80's. (Nobel, 1998)

Otro aspecto interesante del metabolismo MAC es que la fijación nocturna de CO_2 es más eficiente cuando prevalecen días calientes y noches frías. Por este motivo, las plantaciones comerciales de nopal tunero es más eficiente en localidades con tales características. (Gerwick y Edwards, 1978)

La orientación de los cladodios tiene influencia en la formación de frutos: los cladodios de nopal orientados norte-sur produjeron frutos de mayor tamaño y con mayor contenido de sólidos solubles que los orientados este-oeste. La formación de raíces fue mayor en cladodios orientados norte-sur. (Becerra, 1975)

Se ha observado también que la posición de los cladodios (verticales, horizontales, etc.) influyen en su actividad fotosintética. Los verticales generalmente interceptan menos luz que los horizontales. La posición u orientación de los cladodios varía con la latitud y condiciones ambientales en que se desarrolla el nopal.

Esta diferencia en la orientación del cladodio depende también de los meses en que se presenta la precipitación pluvial. Por ejemplo en Israel o en California, donde las lluvias ocurren en invierno, la orientación norte-sur es la más común; en cambio en localidades de la República Mexicana, donde la precipitación se presenta en verano, la orientación más frecuente en los cladodios es este-oeste. La orientación de las pencas tiene efectos fisiológicos particulares en la productividad del nopal ya que ésta, frecuentemente es limitada por la disponibilidad de luz. (Nobel, 1982b)

Lozano (1958), menciona que las partes soleadas de los cladodios del nopal producen más frutas; en la región de San Luis Potosí, la cara sur de los cladodios orientados producen casi la totalidad de los frutos en tanto que en la cara norte es casi improductiva porque esta sombreada.

Las partes soleadas producen frutos con un contenido más alto de sólidos solubles que las partes sombreadas; las partes soleadas también acumulan mayor cantidad de carbohidratos y de auxinas, por lo que también, tienen un mayor enraizamiento debido a que los carbohidratos proporcionan energía para los nuevos crecimientos y las auxinas promueven la división y el alargamiento celular de las nuevas raíces. (Becerra, 1975)

En plantas con órganos fotosintéticos fijos como el nopal, se dispone de mecanismos fisiológicos que interceptan mensajes ambientales que les permiten orientar sus pencas en crecimiento para que puedan aumentar la interceptación de luz solar. (Nobel, 1982)

Sin embargo, aún cuando la planta orienta algunos de sus cladodios en posición favorable, todavía existen limitantes de disponibilidad de luz, ya que los órganos fotosintéticos, además de ser fijos son gruesos e impiden el paso de luz a las pencas internas. En este caso, las podas de formación deben ser orientadas al lograr un acomodo adecuado para reducir el autosombreado.

El sombreado tiene efectos negativos en la productividad ya que la luz es necesaria para la diferenciación de yemas florales además, las pencas sombreadas con el tiempo muestran pérdida de color, lo que causa reducción en su actividad fotosintética. En otras especies vegetales, los órganos fotosintéticos sombreados presentan abscisión prematura; en las pencas sombreadas del nopal no ocurre abscisión y permanecen en las planta por periodos largos. Por consiguiente, para mantenerse vivas necesitan obtener energía a través de la respiración, utilizando substratos almacenados en la misma penca o bien de otras pencas de la misma planta, por lo que éstas llegan a ser parásitas de aquellas que son fotosintéticamente activas. (Nobel 1982)

1.4.6. Flor.

Las flores del nopal son hermafroditas, pues en la misma flor se encuentran los órganos reproductores de los dos sexos (estambres y ovario) aunque en el nopal conocido como "tapón" (*Opuntia robusta*) es frecuente encontrar el fenómeno de dioecia, es decir, la presencia de flores unisexuales, ya sea con flores masculinas o femeninas, en las que no se diferencia el ovario o los estambres. Generalmente se forma una flor con aréola y son sésiles, naciendo hacia la extremidad o "corona" de los cladodios. (Felipe, 1986)

El perianto (conjunto de sépalos) de la flor, presenta cambios en el color durante la apertura y cierre de esta; los estambres son numerosos en cantidades que oscilan entre 480-500 y se encuentran insertos en la cavidad receptacular u "ombligo". El estilo es ensanchado en la base y termina en un estigma lobulado amplio; es hueco y presenta un canal con epidermis glandular en la que se desarrollan los tubos polínicos. El ovario es ínfero y está rodeado por un tejido vegetativo que se interpreta como el receptáculo, el cual, a la madurez del fruto constituye la cáscara (Pimienta *et al.* 1985). En la cavidad del ovario se diferencian los óvulos que se encuentran dispuestos en una placentación parietal. (Pimienta y Engleman, 1981)

Por lo general, la floración ocurre durante los meses de abril y mayo en las formas y variedades silvestres y cultivadas que se desarrollan en los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato y Jalisco. En los estados de México, Hidalgo y Puebla la floración ocurre más temprano: febrero, marzo y abril. En ocasiones aparecen flores aisladas durante el transcurso del verano.

Un aspecto distintivo de la flor de nopal es que es efímera: se abre y se cierra el mismo día; este comportamiento contrasta con el de la mayoría de las plantas, en que las flores que se abren permanecen abiertas hasta que se transforman en fruto u ocurre la abscisión. Se distinguen dos tipos de flores: flores tipo A y tipo B en relación con la hora del día en que ocurre la apertura y los días que permanecen abiertas. Las flores en su mayoría, presentan comportamiento tipo "A" y empiezan su apertura a las 9:00; este proceso dura aproximadamente dos horas, de manera que a las 11:00 se encuentran completamente abiertas. El cierre ocurre a partir de las 18:00 es más rápido, generalmente a las 19:00 las

flores se encuentran cerradas. Las flores clasificadas como tipo "B" empiezan la apertura a las 15:00, se abren completamente a las 16:00 y se cierran a las 19:00. Estas flores se abren de nuevo al siguiente día empezando la apertura y el cierre de igual manera que las flores clasificadas como tipo "A". Un número relativamente bajo de las flores en una planta madura de nopal muestra este tipo de comportamiento.

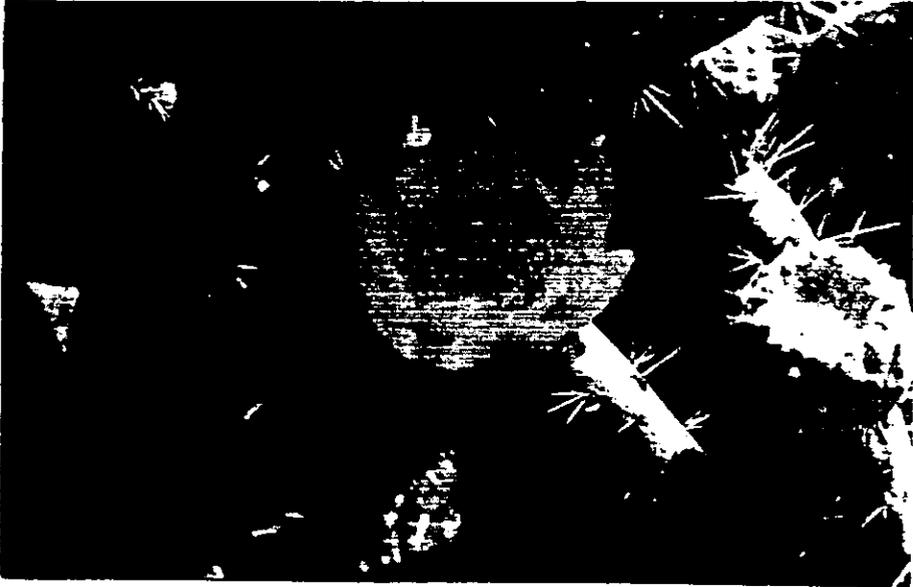


Fig. 1 Características de la flor del género *Opuntia*

Las flores efímeras son comunes en especies de bosques tropicales secos y aparentemente, este comportamiento reduce la pérdida de agua por la transpiración en las flores, debido a que éstas se abren y se cierran el mismo día. Es probable que en el caso del nopal tunero, la corta apertura de sus flores efímeras sea uno de los mecanismos que la planta usa para reducir la pérdida de agua. Otra explicación probablemente se relaciona con el estigma, que es del tipo húmedo; en este tipo de estigmas la receptividad mengua cuando prevalecen temperaturas altas y vientos secos durante la apertura de la flor, condiciones ambientales que son comunes en las zonas áridas y semiáridas, por lo que potencialmente pueden causar desecación del estigma y por consiguiente restringir la germinación de granos de polen. (Rosas, 1984)

El estigma de las flores de *Opuntia* tiene una estructura adecuada para el aterrizaje de algunos insectos, al estar situado en la mayoría de los casos en una posición superior a la de los estambres. Estas flores son visitadas principalmente

por coleópteros, lepidópteros, dípteros e himenópteros, considerándose las abejas y escarabajos como los principales insectos polinizadores en *Opuntia* (Grant y Grant, 1982). Estudios recientes de polinización por insectos, en poblaciones silvestres de nopal tunero en el Altiplano potosino-zacatecano, revelaron que el principal polinizador es la abeja de hábitos solitarios *Diadasia rinconis*. (García, 1985)

En los estigmas de las flores de nopal ocurre tanto la autopolinización como la polinización cruzada. No obstante, existen diferencias en el tiempo y en el sitio del estigma en que ambos tipos de polinización ocurren. La autopolinización empieza al momento de la apertura (polinización por contacto) y continúa en la flor abierta (autopolinización por insectos y por el viento; la polinización cruzada es llevada a cabo principalmente por insectos (abejas); en ambos casos, el polen se puede depositar en la porción superior del estigma (Pimienta et al. 1985). No se ha cuantificado la importancia del viento en la polinización cruzada.

Un aspecto interesante de algunas especies de nopal tunero es la dehiscencia de las anteras antes de la apertura de la flor y que ha sido clasificado como cleistogamia preantesis. En este caso, cuando la flor se abre, la porción basal del estigma se encuentra cubierto por granos de polen, algunos de los cuales ya han empezado a germinar; esto se debe a que el estigma es receptivo antes de la apertura de la flor. (Rosas, 1984)

1.4.7. Fruto.

El fruto del nopal tunero ha sido descrito como una baya unilocular, poliespérmica y carnosa, que se origina de una flor con ovario ínfero y que su estructura es compleja, ya que en ella interviene no solo el ovario sino también los órganos en que está incluido: tejido medular del eje y el pericarpelo (Bravo, 1978). Cuyos óvulos están dispuestos en una placentación parietal (Pimienta y Engleman, 1981). El sistema de protección del ovario está dado por los tejidos que se originan en el braquiblasto (tallo con entrenudos muy cortos), el receptáculo que rodea al ovario da origen a la cáscara en el fruto maduro. (Rivera et al. 1981)

La cáscara como en el cladodio presentan los mismos tejidos, siendo los conductos del mucílago más desarrollados en la cáscara que en cladodio, además la disposición de las células de la corteza se encuentran en hileras desde la epidermis hasta el tejido vascular y en la cáscara, presentan una disposición irregular; en muchas especies la pulpa está integrada por los funículos, que cuando se llenan de azúcares, es comestible como en las "tunas" y "pitahayas", el pericarpo carnoso de otras especies es también comestible "xoconostle" (Bravo, 1978). Una investigación realizada por Rivera et al. (1981) reportan la presencia de un mesocarpio y endocarpio originados de las paredes del ovario que constituye la parte comestible. Un estudio reciente sobre el desarrollo de la porción comestible del fruto (pulpa), reveló que ésta se origina de células papilares de la epidermis dorsal de la envoltura funicular y el funículo. La envoltura funicular

contribuye con 90% de la parte comestible y el funículo con el 10% (Pimentia y Engleman, 1985). El pericarpelo, presenta areolas que llevan glóquidas y espinas setosas, éstas últimas pueden caer cuando el fruto está maduro. En el ápice del fruto presenta una concavidad receptacular u "ombigo", el cual sirve como un indicador de cosecha. (Alvarado, 1978)

En las especies de *Opuntia* el pericarpelo puede ser carnoso como el de las "tunas" y "xoconostles", o seco como el de algunas especies de *Cylindropuntia*; su color varía desde el verde, amarillo o anaranjado, hasta el rojo o púrpura. (Bravo, 1978)



Fig 2 Características del fruto de *Opuntia megacantha*

1.5. Diversidad y Clasificación Taxonómica.

1.5.1. Diversidad.

El género *Opuntia* está formado por dos subgéneros el *Cylindropuntia* y el *Platyopuntia*, el primero comprende las especies de forma cilíndrica y el segundo a las especies de forma aplanado, conocidos comúnmente como nopales. (Salgado, 1984)

El subgénero *Platyopuntia* presenta un gran número de especies por lo que su clasificación es bastante complicada, debido al gran polimorfismo que presenta, por ser una planta alógama (polinización cruzada) se presentan diferencias considerables en las variedades tetraploides tanto en el tamaño y forma de sus tallos así como la sexualidad; existiendo las condiciones dioica y hermafrodita. (Vázquez, 1981) .

Los subgéneros mencionados están clasificados en series; contiene 22 series y 377 especies según Backeberg (1977) de las cuales, 104 se encuentran silvestres en México y de éstas 60 son especies mexicanas (Granados, 1996); lo cual da una idea de su gran diversidad y al mismo tiempo de su dificultad para separarlas y ordenarlas taxonómicamente debido a que la mayoría de las descripciones se realizaron con base en un solo ejemplar sin considerar la variabilidad existente en su hábitat original. Esto ha ocasionado diferenciación de especies que en realidad, no son más que variedades híbridos, etc. (Bravo, 1978b)

El género *Opuntia* debe su nombre a un pueblo antiguo de Grecia llamado Opus u Opuncia, de la región del Leócrida Beocia, donde se dice que crecía una planta similar a las cactáceas. (Bravo, 1978)

Muchos estados de la República Mexicana principalmente los que se ubican en zonas áridas, dependen en gran parte de nopal tunero para subsistencia, pues gran cantidad de familias se dedican a cultivarlo para producir tunas o recolectan las tunas silvestres. El fruto del nopal varía en forma y fisiología de acuerdo con especie; cuando tiene sabor dulce se le conoce como tuna y cuando el sabor es ácido se le conoce como xoconostle. (Granados, 1996)

DIFERENTES ESPECIES DE NOPAL Y LA COLORACIÓN DE SUS FRUTOS

| ESPECIE | COLOR DEL FRUTO | NOMBRE COMÚN |
|-------------------------|--|-------------------|
| <i>O. ficus-indica</i> | Blanco, intermedio entre amarillo y rojo | Nopal de castilla |
| <i>O. duranguensis</i> | Rojo | Tapón |
| <i>O. megacantha</i> | Amarillo o rojo | Nopal manso |
| <i>O. streptacantha</i> | Guinda | Nopal cardón |
| <i>O. amyclaea</i> | Blanco | Nopal alfajayucan |
| <i>O. leucotricha</i> | Blanco | Nopal duraznillo |
| <i>O. xoconostle</i> | Rojo | xoconostle |

Barrientos 1981.

1.5.2. Clasificación de las Especies Utilizadas.

De las 2 especies experimentales tratadas en el presente trabajo su clasificación es la siguiente:

| CLASIFICACION | TUNA BLANCA | TUNA XOCONOSTLE |
|---------------|-------------------|-------------------|
| Reino | Vegetal | Vegetal |
| División | Angiospermae | Angiospermae |
| Clase | Dicotiledoneae | Dicotiledoneae |
| Orden | Opuntiales | Opuntiales |
| Familia | Cactaceae | Cactaceae |
| Subfamilia | Opuntioideae | Opuntioideae |
| Tribu | Opuntiae | Opuntiae |
| Género | <i>Opuntia</i> | <i>Opuntia</i> |
| Subgénero | Platyopuntia | Platyopuntia |
| Especie | <i>Megacantha</i> | <i>Joconostle</i> |

Clasificación Pablo Cruz Hernández 1982.

"Tuna blanca" *Opuntia megacantha* Salm-Dyck.

Plantas altas, de cuatro a cinco metros de alto o más, con tronco leñoso más o menos definido. Artículos grandes, desde obovados hasta oblongos, a menudo oblicuos, como de 40 a 60 cm de largo o más, color verde ligeramente glauco. Hojas pequeñas, como de 3 mm de largo verdes o purpúreas. Aréolas más bien pequeñas, en los artículos grandes distantes entre sí de 4 a 5 cm, cuando jóvenes con tomento café. Espinas aplanadas blancas generalmente de 1 a 5, ligeramente extendidas a veces casi porrectas, por lo común de 2 a 3 cm de largo, a veces escasas y confinadas a las aréolas superiores; glóquidas escasas, amarillas, caducas; a veces vuelven a crecer en los artículos viejos. Flores amarillas hasta anaranjadas, como de 8 cm de ancho; ovario obovoide, con o sin espinas. Fruto de 7 a 8 cm de largo.

Distribución: Estados de San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato y Zacatecas.

Según Britton y Rose (1963), crece aclimatada en Jamaica, sur de California y Hawaii.

Está especie fue introducida en África del Sur en donde hoy constituye una verdadera plaga.

Griffiths (1914) citado por Bravo (1978) postuló la teoría de que *O. megacantha* representa la forma silvestre de la cual se originó evolutivamente *O. ficus-indica*. Benson (1969) citado por Bravo (1978) concluye que *O. megacantha* difiere del higo de indias (*O. ficus-indica*) "únicamente por la presencia de espinas y es tan solo un cultivo o variedad hortícola en el basto complejo de árboles frutales mexicanos para los que el nombre Linneano de *O. ficus-indica* debe ser usado".

Así pues para Benson, *O. megacantha* no es más que la forma silvestre de *O. ficus-indica*. Esta planta produce frutos comestibles muy grandes y agradables, y existen numerosas variedades y formas cultivadas; se hibrida

fácilmente con otros nopales, principalmente con los demás miembros de la serie número XVI *Streptacanthae* Britton et Rose. (Bravo, 1978)



Fig. 3 Plantas adultas de *O. megacantha* y *O. joconostle*

"Xoconostle" *Opuntia joconostle* Weber in Diguet. "tempranilla", "joconostle".

Arborescente de 2 a 3 m de altura, con tronco bien definido, como de 20 cm de diámetro, grisáceo; ramificación abundante. Artículos pequeños, ovales, con epidermis glabra, de color verde claro ligeramente amarillento. Espinas blancas de longitud desigual. Flor amarilla. Fruto subgloboso, como de 2 cm de diámetro, de pulpa ácida rosada, ligeramente perfumada.

Distribución: cultivada en los estados de Jalisco, Querétaro, Edo. de México y Michoacán; silvestre en varios lugares del Altiplano.

Los frutos son comestibles, de sabor ácido, se preparan como dulces cubiertos y también para condimentar algunos platillos regionales aparecen en marzo. El nombre de esta especie alude al sabor del fruto y proviene del náhuatl "xoconochtli" que significa tuna agria. (Bravo, 1978)

1.6. Condiciones ecológicas.

Los hábitats en que se desarrollan las especies de nopal tunero tienen las siguientes condiciones en común:

1. Inviernos relativamente benignos.
2. Período seco que coincide con los meses invernales.
3. Lluvias en verano.
4. Precipitación media anual que oscila entre 200-650 mm.

Sin embargo, algunas especies de nopal tunero se han naturalizado en países con lluvias invernales (Italia, Israel y Sudáfrica). Es evidente, por la distribución del nopal tunero en el mundo, que esta especie presenta un alto grado de adaptación ecológica, aunque un factor común en las áreas en que se ha establecido es el grado de aridez. Algunas especies de nopal tunero ocurren en las zonas áridas y semiáridas de Sudamérica, Australia, Sudáfrica, India, Nueva Caledonia, Madagascar, Islas Mauritanas, norte de África, Crimea, Sicilia, Islas Galápagos, Bahamas, Fidji y Arabia Saudita. (Mayer y McLaughlin, 1981)

En México la explotación comercial del nopal tunero se localiza en dos zonas; una de estas se ubica en las partes semiáridas del centro-norte de México, que incluye a los estados de Zacatecas, San Luis Potosí, Aguascalientes, Jalisco y Guanajuato; la otra en el centro-sur e incluye a los estados de Hidalgo, México, Tlaxcala y Puebla.

La altitud oscila entre 1840 y 2200 msnm aunque las principales zonas productoras se localizan en altitudes superiores a los 2100 msnm el clima de estas zonas es clasificado como templado seco y las lluvias generalmente se presentan de mayo a septiembre, aunque llegan a registrarse algunas lluvias en el invierno. La precipitación pluvial fluctúa entre 400-500 mm. Los porcentajes de humedad del suelo durante el período seco del año (noviembre-abril) están alrededor del 10% y en el verano llegan a ser superiores al 20%. La temperatura media anual varía entre 16 y 18°C, registrándose las temperaturas más altas en mayo y agosto y las más bajas en diciembre y enero. La mayoría de los suelos se derivan de rocas ígneas; los tipos de suelo más comunes son el planosol y el xerosol en los que la vegetación natural es de matorrales y pastizales. Las texturas que predominan son: migajón-arcilloso, franco-arenoso y migajón-arenoso. El contenido de materia orgánica es relativamente bajo (0.8 y 1.8%) y el pH varía de moderadamente ácido (5.1-6.0) a ligeramente ácido (6.1-6.7).

En la zona productora del centro-sur se presentan diferencias en los tipos de suelos entre las principales zonas productoras. Se desarrollan en suelos feozem, vertisol y luvisol; los más abundantes son los feozem, que se caracterizan por presentar una capa superficial oscura y suave, rica en materia orgánica y en nutrimentos, los luvisoles se distinguen por tener acumulación de arcilla en el subsuelo, son ácidos o muy ácidos y los vertisoles son suelos muy fértiles. La precipitación pluvial es superior a la que se registra en los estados de la zona

centro-norte ya que ésta fluctúa de 400-700 mm. La temperatura media anual es similar para la mayoría de las zonas productoras y varía entre 14-18°C.

Se ha intentado el establecimiento de plantaciones comerciales en localidades con precipitación pluvial anual inferior a 300 mm, pero se han registrado problemas en su establecimiento y desarrollo por efecto de la sequía; también se ha observado que cuando el nopal tunero se cultiva en altitudes inferiores a 1000 msnm en las latitudes inferiores a 22 °N la floración es escasa y en algunos casos no hay formación de frutos y se presenta únicamente crecimiento vegetativo, lo cual es una desventaja cuando se pretende producir tuna. Las temperaturas bajas (-6 a -8 °C) afectan el desarrollo y establecimiento de las especies cultivadas de nopal tunero.

Las condiciones climáticas que prevalecen en México hacen que nuestro país albergue la mayor cantidad de especies, distribuidas en las planicies áridas del centro y norte del país y que se sitúan en los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Chihuahua, Durango y Aguascalientes. (Pimienta, 1990)

En general, el nopal tunero se adapta a suelos coluviales con profundidades entre 20 y 40 cm a texturas medias (migajón-arcilloso; migajón-arenoso) y con valores de pH que oscilan entre 5.0 y 7.5. Por lo general, en los suelos en que se desarrolla el nopal tunero se ha observado que los niveles altos de materia orgánica es bajo (1 a 2), aunque se ha observado que los niveles bajos de materia orgánica favorecen el desarrollo y productividad del nopal tunero. (Mondragón y Pimienta, 1987)

También se ha observado que no se desarrollan satisfactoriamente en suelos calcáreos, que reducen su crecimiento, ni en los de textura arenosa donde las plantas son más sensitivas a sequía prolongadas. (Pimienta, 1986)

1.7. Distribución Geográfica en México.

Los nopales constituyen uno de los recursos vegetales susceptibles de aprovecharse eficientemente por el hombre, preferentemente en las zonas áridas y semiáridas de la República Mexicana, principalmente en los estados México, Puebla, Durango, Chihuahua, Nuevo León, Sonora, Baja California, Guanajuato, Zacatecas, Aguascalientes, San Luis Potosí. (Vázquez, 1981)

Superficie sembrada de nopal tunero en la República Mexicana en el año de 1997.

| ESTADO | SUPERFICIE (Has.) |
|-----------------|-------------------|
| Aguascalientes | 1,566 |
| Chihuahua | 1 |
| Coahuila | 77 |
| Guanajuato | 196 |
| Hidalgo | 5,386 |
| Jalisco | 1995 |
| México | 12,940 |
| Michoacán | 14 |
| Oaxaca | 8 |
| Puebla | 1,909 |
| Querétaro | 120 |
| San Luis Potosi | 6,424 |
| Sonora | 21 |
| Tamaulipas | 364 |
| Zacatecas | 13,809 |
| TOTAL | 44,830 |

Fuente: Centro de estadística Agropecuaria SAGAR 1997.



Mapa 1. Distribución del género *Opuntia* en la República Mexicana

1.8. Plagas y Enfermedades.

En el nopal tunero se ha identificado un número relativamente alto de insectos fitófagos, que han sido descritos en diferentes publicaciones (Anónimo 1979; Cruz 1982; Salgado y Salgado 1984; Pimienta 1986). Sin embargo, estas

descripciones se han apoyado en el trabajo previo realizado por García (1965) en el Valle de México.

1.8.1. Plagas.

1. Picudo barrenador *Cactophagus spinolae* Gyll.

Este organismo se alimenta de brotes tiernos de nopal. Las larvas devoran los tejidos internos de las pencas y forman una serie de galerías en los ejes principales. En las partes afectadas del nopal se observa una acumulación de secreciones gomosas que después se hacen de color café-amarillento y finalmente negro esta plaga provoca que disminuya la producción y en casos extremos la muerte de la planta.

2. Picudo de las espinas *Cylindrocopturus biradiatus* Champs.

La forma adulta de este organismo aparece durante los meses de abril y mayo; las hembras depositan sus huevecillos en la base de las espinas del nopal y entre junio y julio nacen las larvas, que comienzan a alimentarse de los tejidos de las plantas y originan un escurrimiento que da lugar a una especie de escamas y cintas de secreciones que pronto se endurecen y ocasionan un secamiento en la base de las espinas.

3. Chinche gris *Chelinidae tabulata* Burm.

Este insecto aparece durante los meses en que comienza a aumentar la temperatura del medio. Tanto los adultos como las ninfas succionan la savia, y en las partes que atacan forman manchas circulares claras que debilitan la planta y reducen su producción. Cuando el daño es fuerte, la cutícula se endurece y se agrieta. Se reproduce durante todo el año, pero alcanza su nivel más alto de población en los meses de junio a agosto. Durante el invierno cesa la reproducción y los adultos permanecen en lugares protegidos formando grupos.

4. Gusano blanco del nopal *Lanifera cycladea* Druce

Este tipo de gusanos depositan sus huevecillos sobre las pencas del nopal, las larvas avanzan hacia el interior de la penca hasta llegar al eje principal y afectan el tejido leñoso y perforan toda la planta interna; así la debilita hasta su muerte o impiden que produzca nuevos brotes.

5. Cochinilla o grana *Dactylopius indicus* Green.

Los daños que genera este organismo se localizan en la parte basal de las espinas del nopal. Los ataques severos de esta plaga causan un amarillamiento intenso en las pencas y los frutos; en la planta puede llegar a causar la muerte, mientras que en los frutos demerita la calidad y puede inducir la caída prematura de éstos.

6. Trips *Sericothrips opuntiae* Hood y *Rophalotrips bicolor*

Estos organismos perforan los tejidos de la planta al succionar el jugo celular. Las pencas atacadas por los trips se cubren de manchas de color amarillento o gris blanquecino y se ven sucias debido al excremento oscuro y

brillante del insecto; después aparece el amarillamiento o coloración parda, la costra y la desecación de la parte atacada, causan pérdidas por daños a la fruta y nopalitos tiernos pues producen manchas plateadas y deformaciones, esta plaga se reproduce durante el período seco.

7. Gusano cebra *Olycella nephelasa* Dyar

En enero principalmente las larvas de este gusano atacan al nopal joven o a las pencas tiernas formando abultamientos externos; creando galerías en los cladodios dañando únicamente la parte interna de color claro de la penca (parénquima medular), permaneciendo intacta la porción verde externa (clorénquima).

8. Gallina ciega *Phyllophaga* sp.

Las gallinas ciegas y jóvenes se alimentan de raíces y partes subterráneas de la planta hasta el principio del otoño; en la primavera los adultos suben a la planta donde se aparean; los síntomas de daños por esta plaga se manifiestan por deshidratación que causa arrugamiento de las pencas, esto se puede corroborar porque en las raíces es visible el daño causado por esta plaga.

9. Araña roja

Este organismo es un ácaro de color rojo que vive sobre las pencas de nopal en colonias numerosas; se alimenta mediante la succión de la savia de las plantas y forma manchas con apariencia de quemadura, si el ataque es intenso el cladodio adquiere color leñoso o café. Esta plaga puede acabar con la nopalera si no se controla a tiempo.

10. Gusano de alambre *Diabrotica* sp.

Estos gusanos devoran y royen las raíces y otras partes subterráneas de la planta; con frecuencia producen daños muy graves. La invasión por este tipo de organismo se reconoce debido a la marchitez que presenta la planta en su parte aérea.

11. Caracol *Helix aspersa* Muller

Este organismo se alimenta de la parte superficial de las pencas de nopal e impide el fenómeno de la síntesis clorofiliana, lo cual ocasiona la reducción de nuevos brotes en las pencas afectadas. (García, 1965)

1.8.2. Enfermedades.

En plantaciones cultivadas son comunes tres enfermedades:

1. Por virus.

En poblaciones silvestres de *Opuntia* es común encontrar tres tipos de virus: El virus *zygocactus*, un virus similar al virus del mosaico del tabaco y un tercero que tiene la forma de varilla flexible que corresponde al virus X de los cactus. Los síntomas más comunes son "manchas cloróticas" o "mosaico". Chessin y Leseman (1972), citados por Pimienta (1990)

2. Por bacterias.

Erwinia caratorora el síntoma es hinchamiento excesivo de cladodios.

3. Por micoplasmas.

Los síntomas característicos de esta enfermedad son:

- a) Reducción del crecimiento de la planta, que se acompaña por la hinchazón de los cladodios y la pérdida gradual del color verde de éstos.
- b) Los brotes vegetativos y las flores son de tamaño reducido y se forman por lo general en la parte plana del cladodio, a diferencias de las plantas sanas, en las que éstos se encuentran en el borde superior de las pencas ("corona").
- c) Los rendimientos son bajos debido a que se forma un número reducido de frutos que, además de ser pequeños, se caen de la planta en diferentes periodos de su desarrollo.

4. Mancha negra.

La enfermedad se ve como una mancha redonda clorótica, la parte interna del tejido se vuelve de color verde oscuro y conforme avanza el daño se torna negro debido a la pudrición de los tejidos. Cuando la enfermedad ha avanzado, bajo la epidermis se observa una pudrición blanda, semiacuosa de color negro.

5. Mal del oro.

Las plantas de nopal también son afectadas por otros tipos de patógenos, como los hongos. Una enfermedad importante causada por ese tipo de patógenos es la denominada "mal del oro" que se caracteriza por invadir paulatinamente las pencas de nopal, con un cambio en la coloración de las pencas de un color verde oscuro a un color amarillo-oro. (Pimienta, 1990)

6. Proliferación excesiva de yemas.

Los síntomas se manifiestan tanto en pencas como en frutos y se caracterizan por una brotación exagerada de yemas de diferentes posiciones de la penca, la cual se acompaña de abultamiento de la aréola y la abscisión prematura de las espinas. Los brotes que se forman son deformes y en los frutos también se observa brotación exagerada en la cáscara o receptáculo y en algunos casos se ha observado diferenciación de nuevos frutos a partir de las aréolas de la cáscara del fruto.

1.9. Utilización.

La tuna del nopal fue uno de los primeros y principales frutos que recolectaron para consumo los indígenas de América en las zonas áridas y esto se debió a que la tuna tiene un sabor agradable y fresco.

Para los nahuas, las cactáceas tuvieron gran importancia en la vida económica, social y religiosa; también los aztecas y otomíes emplearon el nopal en sus cultos religiosos, incluso lo reprodujeron en forma asexual por medio de tallos y artejos; existen informes de que los nahuas elaboraban vino o mezcal a partir de pitaya, tunas, mezquites, etc..

El nopal ha adquirido gran importancia actualmente, debido a sus distintos tipos de explotación (alimenticia, forrajera, frutícola, industrial, medicinal así como ecológica) que han beneficiado al hombre, social y económicamente.

En el norte del país se destaca la importancia del nopal como forraje y en el centro del país como fruto y como verdura debido a que en el Valle de México alcanza su mayor relevancia en cuanto a producción de fruto y verdura. En el sur de México, el nopal se destaca principalmente por la producción de grana, una industria que había desaparecido debido a la sustitución de la grana por tintes sintéticos en alimentos o cosméticos, pero ahora que el mercado mundial retorna a los productos naturales; se espera que la industria de la grana renazca ya que sería una fuente de ingreso muy importante para los campesinos. (Bautista 1982, citado por Granados 1996)

1.9.1. Importancia ecológica.

El nopal no sólo tiene importancia en los aspectos económicos si no también en la ecología o ambiental pues protege la capa fértil del suelo contra la erosión debido al tipo de sistema radicular que posee; así mismo, los cladodios retienen partículas orgánicas que mueven el aire, las cuales resbalan por su superficie tersa hasta el suelo o bien se quedan en las conjunciones de las ramificaciones, de donde el agua de lluvia las arrastra para depositarlas en el pie de las plantas para formar así una capa de materia orgánica que aumenta constantemente de espesor y mejora la calidad del suelo. Además, cuando el nopal se encuentra en forma silvestre constituye un nicho ecológico en el que crecen animales (como la rata magueyera) que se consume por el hombre y plantas como las gramíneas que sirven para el pastoreo. (CODAGEM, 1982)

1.9.2. Importancia alimenticia.

Antes de la Colonia, el nopal era utilizado como alimento por los indígenas, una vez que se preparan para consumo los artículos o nopales picados casi siempre se les llama "nopalitos"; estos eran preparados en diversas formas: los nopalitos eran cocinados, tostados en el comal y guisados con carne de animales silvestres como venado, armadillo, conejo, ratas o bien con calabacitas; otra forma distinta era cuando se cocinaban los nopalitos con el mosco de superficie de agua, llamado "axayacatl", o con guiso de hormigas. El uso de nopal fue después adaptado por los conquistadores, colonos, población mestiza y criolla, de ahí que se conozcan con nombres castellanos las viandas y productos industriales actuales: nopalitos poblanos, nopalitos navegantes, ensalada de nopal, etc. (Sodi, 1968)

Las flores de algunas especies del género *Opuntia* son comestibles y han sido usadas como alimentos por varias tribus indígenas de México. Los indígenas que habitaron en el altiplano-potosino usaban los pétalos de diversas especies de nopales a manera de verduras mezcladas en los guisos. (Diguët, 1928 citado por Sánchez-Mejorada, 1982)

La explotación del nopal para usarlo como verdura en el consumo humano, tanto en fresco como en diversos guisados, constituye una parte importante en la economía familiar de los habitantes de ciertas regiones del país, las cuales por una parte presentan las condiciones ambientales propicias para el cultivo y por otra (aún más importante), los hábitos alimenticios de la población dan a los "nopalitos" cierta importancia dentro de la dieta. En el valle de México, la región de Milpa Alta sobresale como productora de nopales para verdura ya que bajo manejo intenso de cosechas cada quince días, se alcanzan productividades de más de 400 toneladas de peso fresco/ha al año. (Granados, 1996)

Para los nopalitos se utilizan varias especies, *O. robusta*, *O. streptacantha*, *O. rastrea* en el desierto chihuahuense. También se aprovechan algunas especies de *Nopalea*, como *N. auberi*, *N. cochenillifera* y *N. karwinskiana* siendo la más importante *O. ficus-indica*, que es la que se siembra en la región de Milpa Alta. (Nobel, 1998)

1.9.3. Importancia frutícola.

Los cactus en general y sus frutos en particular, han jugado un papel importante en la vida diaria de los indoamericanos; los frutos los consumían ya sea frescos o después de cocerlos en hornos de piso, estos los almacenaban o algunas veces los hervían, salaban y mezclaban con harina de maíz. También secaban al sol semillas y frutos de cactus; tales productos podían durar un año o más y eran fáciles de transportar.

En toda latinoamérica se han desarrollado industrias caseras (agroindustrias) las cuales venden frutos de más de 40 especies de cactus, de 15 géneros recolectados de poblaciones espontáneas. Con el tiempo y con un mejoramiento en las prácticas de comercialización, algunas de estas especies tomaron importancia económica y son producidas a escala comercial. La popularidad de las tunas en Estados Unidos está aumentando y en 1992 se importaron de México más de 10,000 ton de tunas, incluyendo la tuna roja, además de los frutos que al madurar toman una coloración amarillo-verdosa tanto por dentro como por fuera. Las tunas son ricas en azúcar, por lo general de 70 a 80% con base en peso seco. Alrededor de un tercio del contenido de azúcar es fructosa y para aquellos con diabetes común es más tolerable que la glucosa y sacarosa. Las tunas también son ricas en vitamina C (ácido ascórbico) y bajas en grasas. (Nobel, 1998)

También a través de nombres vulgares se han clasificado los nopales tuneros en los diferentes países donde se han introducido. En España recibe el nombre de "higo chumbo", en Francia se le conoce como "figuier-indica" o "higo de raqueta", en Estados Unidos se les llama "peras de cacto" o "peras manzana", en América Latina "higos Barberry", en Sicilia, Córcega y Cerdeña, donde se ha naturalizado su cultivo lo llaman el "pan del pobre" y el "manjar de los ricos" (Díaz-Robledo, 1981). "Sabras" en árabe y hebreo (que significa espinoso por fuera pero dulce por dentro) y se considera como un símbolo distintivo del habitante de

Israel, popularizándose después como "higo de las indias", de donde se derivó el nombre científico de *Opuntia ficus-indica*; la palabra tuna es de origen haitiano y fue introducido por los españoles en sus numerosos viajes. (Rojas, 1961)

1.9.4. Importancia forrajera.

El nopal que se utiliza como forraje ya posee importancia a nivel mundial; así es posible mencionar algunos de los países y regiones en donde se han realizado trabajos sobre éste: Madagascar, África del sur, Australia; Argelia, Tunes, España, Italia, India, Argentina, Brasil, Guatemala, E. U. y México.

Según De Alba (1971) citado por Granados (1996) la causa principal de la baja productividad del ganado en México se debe a la alimentación deficiente del mismo, principalmente en las zonas áridas y semiáridas donde la producción de forraje es pobre e irregular durante el año y variable en cada año; por lo que la utilización del nopal para el consumo de los animales constituye un recurso valioso en estas zonas. El nopal es considerado como un forraje de emergencia cuando escasean otros debido a la falta de humedad. (Barrientos 1969; Flores y Bauer 1977, citados por Pimienta, 1990)

Investigaciones realizadas en México muestran que el nopal es un forraje tosco con gran contenido de agua y pobre en materia seca, pero que por su energía comestible puede ser considerado al mismo nivel de los forrajes toscos de la época seca del año, como pajas y rastrojos. Estos autores, apoyados en un estudio de formulación de raciones de costo mínimo, concluyen que el nopal es un forraje que puede formar parte de raciones para alimentar ovejas, corderos y vaquillas en desarrollo, pero que no se recomienda para vacas lecheras en producción ya que baja la producción de leche o el peso del animal aunque es un suplemento alimenticio valioso para los ganaderos de las zonas áridas. (Flores y Bauen, 1977 citados por Pimienta, 1990)

En casos aislados se ha registrado el uso de la tuna para alimentar ganado bovino, aparentemente con resultados satisfactorios, de hecho el consumo de la tuna por el ganado ocurre en forma natural cuando los animales comen los frutos maduros que se desprenden de la planta.

En el norte de México se encuentran nopaleras naturales distribuidas en tres zonas económicamente importantes desde el punto de vista de la producción de ganado, éstas son las siguientes:

1) Zona nopalera potosino-zacatecano, que incluye partes territoriales de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Coahuila; está compuesta fundamentalmente por *O. streptacantha*, *O. leucotricha*, *O. robusta* y *O. imbricata*.

2) Zona nopalera del norte de México, esta comprende el norte de Tamaulipas y el norte y oriente de Nuevo León; es una zona de gran importancia ganadera existen principalmente *O. lindehimery* y *O. engelmanni*.

3) Zona nopalera difusa, esta zona se extiende desde las zonas de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, Coahuila, Durango y Chihuahua; en esta zona se presenta *O. cantabrigensis*, *O. rastrera*, *O. lindehimery*, *O. leucotricha*, *O. azurea*, *O. macrocentra* y *O. mocrodasys*. Las especies más sobresalientes de ésta región son las cinco primeras. (Granados, 1996)

1.9.5. Importancia medicinal.

Los nopales tuvieron gran importancia en las culturas prehispánicas de México (Hernández citado por Bravo, 1978), menciona diversos usos medicinales del nopal, dentro de los que destacan el uso de frutos con sus semillas para detener el flujo del vientre, sobre todo si proviene del calor. La goma o mucílago templaba el calor de los riñones y de la orina; su jugo o líquido es admirable contra las fiebres biliosas y malignas, principalmente si se mezcla con jugo de pitahaya.

Durante el México independiente, en el altiplano potosino-zacatecano el nopal era utilizado en la preparación de remedios medicinales (Paez, 1978 citado por Figueroa, 1984), menciona que las tunas machacadas y reducidas a pulpa cruda o cocida y las pencas azadas o cocidas en agua además de ser partidas longitudinalmente eran utilizadas como cataplasma. El jugo de las tunas y pencas detiene las fiebres producidas por el calor, también se menciona que las raíces de algunas especies de nopal son buen remedio contra las hernias, ericipelas, el hígado irritado y las úlceras. Sodi (1968), menciona que las pencas descortezadas y mezcladas con agua ayudaban a bien parir a las mujeres que bebían esta mezcla. Este autor, refiriéndose a la baba del nopal (mucilago) menciona que, al añadirle aceite que se extraía del insecto *Monoephus axinus* resultaba una solución excelente para desagrietar los pies, las manos y los labios.

Existen informes en la literatura de que los frutos tienen una acción purgante benéfica para remover parásitos gastrointestinales. Sin embargo, también se menciona que la alimentación continua con tuna da como resultado inflamación del tracto gastrointestinal, probablemente debido a las espinas, pero no se descarta que esta inflamación sea debida a cristales de oxalato de calcio, que se encuentran en la pulpa de la tuna. (Pimienta, 1990)

En 1970 se registró una patente francesa de un medicamento para el tratamiento de diabetes, el cual contiene *coubar*, flores de limón amargo y frutos de *Opuntia*. Estudios realizados en México por el IMSS, han mostrado que la administración en ayunas de cladodios de nopal a individuos sanos o diabéticos causa disminución de glucosa. (Pimienta, 1990)

En el hemisferio norte las tunas tienden a madurar entre julio y octubre. La compensación estacional de alrededor de seis meses en el hemisferio sur conduce a una cosecha de fruto de enero a abril, en países como Chile y África del sur. En 1992 a nivel mundial se cultivaron 60,000 ha. para la producción de tunas; más de 80% de estos terrenos se localizan en México, donde también se encuentra la mayor diversidad de especies cultivadas. Al año se pueden obtener

dos cosechas de tuna, si se mantiene el suelo húmedo por lluvia o por irrigación complementaria. La cosecha anual típica es de 5 a 10 ton/ha de fruta fresca; y 22 ton/ha cuando se dan dos cosechas al año. Se pueden obtener rendimientos más altos con manejo intensivo; en Chile, Israel y África del Sur se han obtenido rendimientos anuales de tuna fresca de al menos 30 ton/ha. (Nobel, 1998)

De la industrialización de la tuna se pueden obtener diferentes productos alimenticios:

- a) Melcocha
- b) Queso de tuna
- c) Miel de tuna
- d) Colonche
- e) Fruta cristalizada
- f) Mermelada de tuna
- g) Tunas deshidratadas
- h) Condimento para alimentos

1.9.6. Importancia industrial.

La grana o cochinilla (*Dactylopius coccus* Costa), es una de las plagas del nopal a partir de la cual se obtiene un tinte carmín; su aprovechamiento se remonta al período tolteca o sea, alrededor del siglo X de nuestra era y se empleaba para colorear textiles, esculturas, edificios, murales y códices. Las túnicas de los emperadores aztecas, incluyendo a Moctezuma, eran de color carmín intenso, para lograr este color los emperadores exigían a sus súbditos el pago de impuestos con insectos, específicamente insectos que tuvieran color intenso. En 1620, Felipe III señaló que uno de los preciados frutos que se cultivaban en las Indias occidentales era la grana o cochinilla, mercadería valorada al igual que el oro y la plata. Fray Bernardino de Sahagún indica que existían tres tipos de grana: la fina o "recia", la "baja" que mezclaban con harina o greda, y la menor calidad o "falsa". En 1784 se consideraba que la mejor era la grana pastre, la cual se obtenía de las hembras que habían tenido crías. En ese mismo siglo (XVI), los conquistadores españoles exportaron *Platyopuntia* a los litorales mediterráneos y en 1831 a las Islas canarias para producir cochinilla. (Nobel, 1998)

Los insectos que se utilizan para producción comercial del pigmento se alimentan de los artículos de ciertos nopales como *O. ficus-indica*, *O. tomentosa*, *O. streptacantha*, *O. pilifera* y *O. megacantha*. (Piña, 1981)

La mixteca alta constituyó uno de los mercados más sobresalientes durante la época en que la grana tuvo buen mercado; sin embargo ésta región fue afectada por el decaimiento de la oferta y la demanda del colorante. Esta baja en el mercado se debió a la destrucción de las plantaciones por los indígenas, así como a la caída del monopolio español de la grana a partir de la guerra de la

independencia de México, con lo que se estableció una libre competencia entre los países productores. (Granados, 1996)

Actualmente el cultivo de cochinilla para la producción del colorante rojo (carmin) se realiza en el estado de Oaxaca México, Argelia, Islas Canarias, Chile, Marruecos, África del sur y en especial en Perú. El ácido carminico procedente de la cochinilla se utiliza como colorante de alimentos, bebidas, cosméticos (incluyendo al lápiz labial), indicador de pH (detector visual de la acidez o de la alcalinidad de una solución) y pigmento muy apreciado por los artistas (Crimson lake); debido a que los colorantes derivados del alquitrán (anilina) están asociados con el cáncer en animales de laboratorio, se ha renovado el interés por el carmin para dar color a los alimentos incluyendo: camarones, jaleas, cerezas maraschino y el aperitivo italiano Campari. En 1992 la producción mundial fue de 300 ton; cerca de 90% procede de Perú y el resto a las Islas Canarias. (Nobel, 1998)

1.10. Generalidades sobre Propagación.

La propagación es una actividad destinada a conservar y reproducir plantas especiales o variedades seleccionadas, de particular interés. En la mayoría de los casos las plantas cultivadas más comunes se propagan por vía sexual o natural, es decir, por semilla en condiciones controladas. (Boselli, 1986)

Los tipos fundamentales de propagación pueden dividirse en dos grupos: propagación sexual y propagación asexual. Por medio de la multiplicación por semillas (sexual), las plántulas que se obtienen pueden semejarse a cualquiera de los progenitores, a ambos o a ninguno, dependiendo de las similitudes genéticas de los progenitores. Sin embargo, la experiencia, en la mayoría de las especies frutales, es que en pocos casos se obtendrán plantas de iguales características como las de aquellas de donde la semilla procede. (Pimienta, 1990)

Las plantas obtenidas de semilla, gracias a su sistema radicular bien desarrollado, se acomodan también a un terreno menos fértil, con tal de que sea profundo, que las obtenidas por reproducción asexual. (Rigau, 1976)

La propagación asexual es la duplicación de una planta completa a partir de un tejido celular u órgano vivo con capacidad de regeneración (tallo, raíz, tubérculo, bulbo y estolón) debido a que este tipo de propagación implica la división mitótica de las células, en el cual hay una duplicación íntegra del sistema cromosómico y del citoplasma asociado, de la célula progenitora, para formar las células hijas. La división celular mitótica se desarrolla cuando inicia la propagación a partir de las raíces y los brotes o a la formación de tejido callus en el proceso de injerto o gemación. (González, 1984)

La propagación asexual lleva consigo la regeneración de tejidos o diversas partes de la planta. Esta capacidad de regenerar la estructura entera de la planta, es una propiedad que poseen todas las células vegetales vivientes. (Hartman y Kester, 1995)

En la propagación asexual hay diferentes tipos de multiplicación como son: estacas, acodos, injertos, vástagos y yemas. (Tamaro, 1981)

Cuando un grupo de plantas se origina a partir de un solo individuo y se propagan por medios vegetativos, se denomina clon. Los clones pueden ser mantenidos durante cientos de años o pueden formarse naturalmente, reproduciéndose las plantas por medio de bulbos, clones, rizomas, estolones y acodamientos superiores.

La propagación asexual a partir de yemas que pueden estar en un tallo aéreo (estaca o esqueje) o en un tallo subterráneo (tubérculo, cormo, etc.) tiene muchas ventajas, principalmente la de guardar con fidelidad el tipo de planta "madre" pues no hay alteración por genes extraños. (Rojas, 1984)

1.11. Definición de Injerto.

El injerto consiste en la operación de unir íntimamente o insertar una parte de una planta en otra mediante la formación de un callo de soldadura; en el aspecto fisiológico actúan como si se tratara de una sola planta, debido a que las soluciones absorbidas por la raíz son llevadas por los conductos capilares a las zonas foliares donde se transforman en principios nutritivos, los cuales descienden a toda la raíz y la nutren. Pero en el aspecto anatómico cada una de las partes conserva su individualidad y peculiaridad, de tal forma que las características de la raíz no influyen ni modifican las cualidades distintivas frutales de la variedad injertada. (Solares, 1979)

Una de las partes constituye el sistema radicular y se le conoce como patrón, portainjerto o pie. La otra da lugar a la parte aérea, la cual absorbe el carbono del aire y transforma la sabia bruta en elaborada, llamándose injerto, púa o variedad. (Cartagena, 1985)

Para la multiplicación de plantas por injerto existen ciertas leyes que regulan la sucesión mutua entre patrón e injerto exigiendo la existencia de una cierta analogía entre una y otra variedad o especie, ajustada a sus caracteres anatómicos y naturaleza fisiológica, a esto se le conoce como afinidad o simpatía.

La afinidad resulta total cuando el patrón e injerto pertenecen a una misma familia y a un mismo género, relativa cuando uno y otro pertenecen a una misma familia y a un mismo género pero son de diferente especie, y muy relativa cuando el injerto se practica entre individuos pertenecientes a una misma familia pero de géneros y especies distintos. En este último caso no puede preverse, en caso de prender el injerto, lo que resultará de la asociación, por no existir sobre él ninguna ley que lo regule, siendo los efectos quienes lo determinan (Juscáfresa, 1973).

Las ventajas del injerto son:

a) Permite propagar una variedad nueva conservando íntegramente todos los caracteres de la planta madre (precocidad, fertilidad, etc.).

- b) Se obtienen plantas que no se pueden reproducir por semilla, o bien multiplicar por estaca o con otros sistemas.
- c) Una variedad buena puede sustituir a una mala sin que sea preciso arrancarla para volver a plantarla.
- d) Puede restaurarse un árbol agotado con la transfusión de savia procedente de elementos sanos y vigorosos.
- e) Aumenta la productividad de una planta y acelera la fructificación.
- f) Hace posible cultivar en algunos suelos especies que de otra forma no podrían prosperar en los mismos (calcáreos). (Pidi, 1981)

En la soldadura del injerto los fenómenos que se verifican y que hay que tener en cuenta cuando se procede a realizarlo, son los siguientes: los tejidos del injerto y del portainjerto se ponen en íntimo contacto de modo que los *cambium* estén muy próximos; en los estratos superficiales se producen células de neoformación que se sueldan formando un tejido denominado *callo*; algunas de las células que componen el callo se diferencian dando origen a un nuevo cambium; mediante la actividad del nuevo cambium se forman los tejidos con esta condición: *liber* hacia el exterior y *leño* hacia el interior; la perfecta soldadura de los tejidos vasculares del injerto y del portainjerto con los de neoformación es el requisito indispensable para el buen logro del injerto, de modo que se reestablezca el flujo ascendente y descendente. (Brunelli, 1986)

González (1984), en su estudio nos menciona que para el buen éxito de los injertos existen algunas condiciones básicas, las cuales a continuación se enumeran:

1. Compatibilidad entre injerto y púa.
2. Contacto entre regiones cambiales de patrón e injerto.
3. Injerto realizado en épocas en que ambos componentes se encuentren en estado fisiológico adecuado y similar.
4. Protección de la desecación a todas las superficies cortadas.
5. Cuidados posteriores a la operación.

1.11.1. Antecedentes del injerto.

El injerto se ha realizado naturalmente sin la intervención del hombre desde hace muchos siglos; se cree que de la observación de una soldadura natural de dos ramas, (o sea de un injerto de aproximación); despertó la curiosidad de los hombres y se inició así la actividad de injertar.

Cuenta la leyenda que Saturno enseñó a los hombres el arte de injertar; algunos libros chinos que se remontan de 5000 a 6000 años a.C. hablan del

injerto como de una práctica común. Se tiene pruebas de esta actividad entre los fenicios y egipcios.

Sin embargo los latinos fueron los que hablaron con riqueza de detalles, aunque también con mucha fantasía. Al respecto recuérdense los escritos de Catón, Barrone y Columella.

Muchos fueron los que apelando a los escritos latinos hablaron sobre el injerto (Crescenzi en el siglo XIV; Galli, Davanzati, Sodesini, Nicosia en los siglos XVII y XVIII), aunque en algunos casos no contribuyeron al conocimiento científico.

Existen testimonios del uso y la práctica del injerto a partir de la mitad del siglo XIX sobre todo en el campo vitícola, a causa de la sensibilidad radical de las variedades europeas a la filoxera (insecto que en la práctica estaba destruyendo los viñedos de Europa). Con el injerto se empleaban raíces de vid de origen americano que ofrecían una resistencia notable a este insecto. (Brunelli, 1986)

1.11.2. Tipos de injerto.

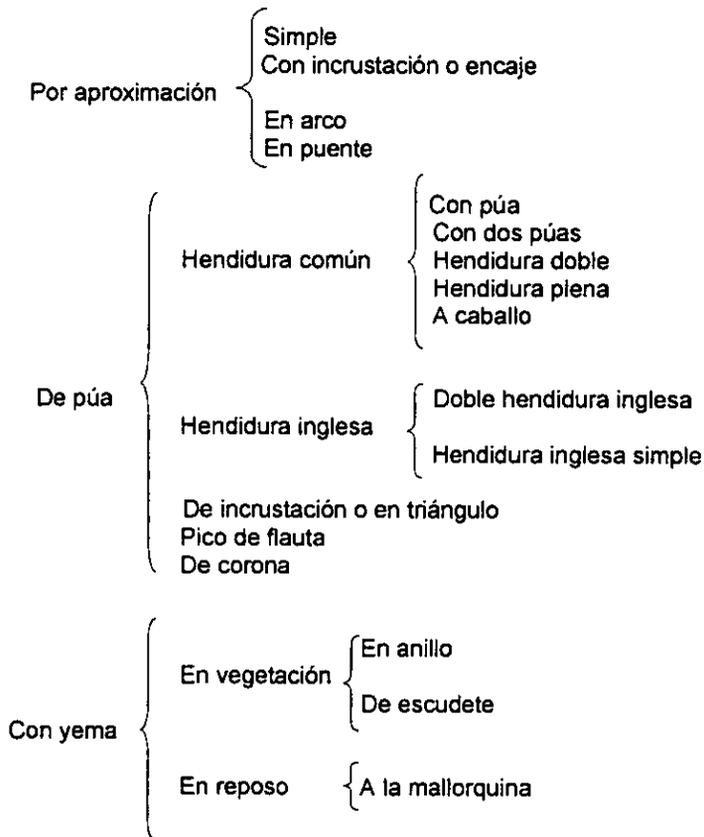
Según la fase vegetativa del portainjerto, los injertos pueden distinguirse en tres grupos:

1. **Injertos leñosos.**- Cuando se practica el injerto en el período de reposo vegetativo y los dos miembros están ya bien lignificados.
2. **Injertos semileñosos.**- Cuando se injerta durante el período vegetativo y los dos miembros están ya parcialmente lignificados.
3. **Injertos herbáceos.**- Cuando el portainjerto y el injerto todavía están en estado herbáceo.

Respecto a la forma y modalidades de ejecución de los injertos se distinguen tres categorías: injertos por aproximación, púa y de yema.

Los injertos por aproximación se producen frecuentemente en la naturaleza cuando dos ramas se enzarzan y se unen de forma estable; encuentran aplicación en fruticultura, cuando no es posible obtener buenos resultados con las otras modalidades de injerto.

TIPOS DE INJERTO



Pidi (1981).

En los injertos de púa el empalme está formado por una porción de rama provista de una o más yemas, denominada púa, que se inserta de varias maneras en el portainjerto.

En los injertos de yema, llamados también de escudete, el empalme está constituido por una porción de corteza con o sin madera, que contiene una yema.

1.12. Propagación de Cactáceas.

Dentro del mundo vegetal, una de las familias botánicas más fascinantes por sus formas y adaptaciones, son las cactáceas. Esta familia se caracteriza por tener árboles, arbustos o hierbas con tallos carnosos y espinas aunque se tienen

algunas excepciones. Sin embargo, la característica más importante es la presencia de areolas en sus tallos y a veces en sus flores y frutos, estas estructuras se asemejan a minúsculos cojincillos provistos de lana y espinas.

Los métodos de propagación de la familia *Cactaceae* conocidos hasta el momento son: por semilla, vástagos, esquejes, injertos y por cultivo de tejidos. (Reyes, 1994)

1.12.1. Propagación por semilla.

La multiplicación de cactáceas por medio de semillas es una forma tradicional y convencional de propagación. Es el método sexual de reproducción de plantas, el cual implica la recombinación de material genético. Se trata de un trabajo prolongado que requiere de espacio y mucha paciencia. Las semillas se pueden obtener de dos fuentes, una es la colecta en el campo y la otra es producto de la polinización natural o artificial bajo cultivo. Las semillas deben de ser colectadas y almacenadas cuando menos un mes antes de ponerse a germinar. Se recomienda guardarlas en sobres de papel en un lugar fresco y seco o en refrigeración a una temperatura de 8°C. Generalmente la mayoría de las semillas de las cactáceas son viables por mucho tiempo (de 5 a 10 años) a temperatura de 20 a 25°C y 80% de humedad atmosférica. Dentro del sobre se agrega un poco de captan para evitar la proliferación de hongos.

Las ventajas de este método son:

- a) Se obtienen individuos con nuevas características genéticas (recombinación genética por lo tanto las descendencias son fértiles)
- b) Es el único medio de reproducción cuando una especie tiene limitantes para su propagación vegetativa
- c) Disminuye el costo de operación ya que las semillas son relativamente fáciles de germinar.

Las desventajas son: difícil obtención de las semillas y la lentitud en el crecimiento y desarrollo. De todos los métodos de propagación este es el mejor para la conservación de la diversificación genética y así las plantas siguen siendo fértiles para incorporarse a la población silvestre cuando sea necesario.

1.12.2. Propagación por vástagos.

Los vástagos son brotes que emergen alrededor de la planta madre, se presentan en algunas cactáceas globosas, que forman clones o hijuelos, como *Mammillaria epithelantha*, *Echinocereus*, etc. Dicho método es relativamente fácil, ya que se trata de desprender los vástagos. Una vez separados se les aplica una mezcla de enraizador y fungicida en una proporción de 1:1 y dejarlos cicatrizar durante 15 días, después se plantan en un sustrato similar al utilizado por la planta madre.

Las ventajas de este método son:

- a) Obtención de plantas resistentes y de rápido crecimiento.
- b) Propagación cuando no se tienen muchos ejemplares para la reproducción sexual.
- c) Es muy útil para tratar de aumentar la cantidad de plantas progenitoras y productoras de semillas.

Las desventajas son: la carencia total de recombinaciones genéticas, no hay una homogeneización en tallas, no es muy útil para la propagación masiva y no es recomendable como medio principal para la conservación.

1.12.3. Propagación por esquejes.

Es el método asexual más fácil para propagar los cactus, fragmentándolos en trozos que deben dejarse cicatrizar en un lugar seco y ventilado con un mínimo de 10 días. Los ejemplares muy grandes requieren de 1 a 2 meses, es conveniente espolvorear la herida con un fungicida. El enraizamiento ocurre de 30 a 45 días, aunque en algunas especies aparecen de 10 a 15 días. En general es utilizado para la mayoría de las cactáceas de tipo columnar y Opuntias; la estación del año más propicia para la propagación es en primavera.

La ventaja es que se obtienen ejemplares adultos y de buen tamaño en poco tiempo y la desventaja es la carencia de recombinación genética.

1.12.4. Propagación por injerto.

Este método de propagación consiste en unir porciones de dos plantas distintas. Se utiliza en las cactáceas y en otras plantas para ayudar a aquellas que tienen dificultad para vivir directamente en el suelo y también para obtener ejemplares raros o llamativos. Es interesante esta técnica para salvar especies en peligro de extinción ya que puede ayudar al crecimiento de plantas que han perdido el sistema radicular, también funciona para aprovechar la parte terminal sana de un ejemplar enfermo o de enraizamiento difícil. (Reyes, 1994)

Lozano (1958) menciona que la práctica de injertación es factible entre especies y entre géneros, característica única que presenta esta familia.

1.13. Formación de la Unión de Injerto.

Se han efectuado numerosos estudios detallados de la cicatrización de las uniones de injerto, en su mayoría en plantas leñosas. (Moore, R., and D. B. Walker, 1981)

La formación de una unión de injerto puede considerarse como la cicatrización de una herida. Una lesión al tejido como la que puede ocurrir si el extremo cortado de una rama se raja longitudinalmente cicatrizará con rapidez si las partes afectadas se juntan estrechamente entre sí. Se producen nuevas

células de parénquima por la proliferación abundante de las células de la región cambial de ambas partes, formando tejido calloso. Algunas de las células del parénquima de nueva producción se diferencian para formar células de cambium produciendo subsecuentemente xilema y floema. Si entre las dos partes rajadas se interpone una tercera parte separada, cortada en tal forma que un gran número de las células de su región cambial puedan ser colocadas en contacto estrecho con aquellas del cambium de las partes rajadas, la proliferación de células de parénquima en la región cambial de ambas partes producen una pronta cicatrización completa, quedando la porción extraña, insertada completamente unida con las partes originales partidas.

Sin embargo, esta porción de tejido adicional, la púa, no reasumirá con éxito su crecimiento a menos que se establezca una conexión vascular de manera que pueda obtener agua y nutrientes. Además, la púa debe tener una región meristemática terminal, una yema, para que pueda continuarse el crecimiento de la rama y finalmente aprovisione fotosintatos al sistema radical.

En la cicatrización de una unión de injerto, las partes del injerto que originalmente se preparan y colocan en contacto estrecho, no se desplazan en sí mismas o crecen juntas. La unión se forma por completo mediante células que se desarrollan después de que se ha efectuado la operación de injerto. Además, debe de hacerse resaltar que en una unión de injerto no se efectúa una mezcla de contenidos celulares. Las células producidas por el patrón y la púa conservan cada una de ellas su propia identidad. La secuencia en la cicatrización de una unión de injertos es:

1. El tejido recién cortado de la púa, con capacidad de actividad meristemática, se coloca en contacto seguro, íntimo, con tejido similar recién cortado del patrón, de manera que las regiones cambiales de ambos estén en estrecho contacto. Las condiciones de temperatura y humedad deben ser tales que estimulen la actividad de crecimiento en las células recién expuestas y en las circundantes.
2. Las capas externas expuestas de células de la región cambial tanto de la púa como del patrón producen células de parénquima que pronto se entremezclan y entrelazan, formando lo que se llama *tejido-callos*.
3. Algunas células de este callo de nueva formación que están en la misma dirección de la capa de cambium de la púa y el patrón intactos se diferencian en nuevas células cambiales.
4. Estas nuevas células cambiales producen nuevo tejido vascular, xilema hacia el interior y floema hacia el exterior, estableciéndose así conexión vascular entre la púa y el patrón. (Hartmann, 1995)

1.14. Proceso Inicial del Contacto Cambial.

Para que el injerto resulte, es necesario que las zonas generatrices del injerto y del sujeto estén en íntimo contacto entre sí. El nuevo tejido de callo que se origina de la región cambial está formado por células de pared delgada, turgentes, que con facilidad pueden secarse y morir. Para la producción de esas células de parénquima es importante que alrededor de la unión de injerto se conserve elevada la humedad del aire. Esto explica la necesidad de encerrar prolijamente la unión de injerto o de colocar los injertos de raíz en un medio húmedo para mantener un alto nivel de hidratación de los tejidos. También es de importancia que la región de la unión de injerto se conserve tan libre como sea posible, de organismos patógenos. Las células de la pared delgada en condiciones de humedad y temperaturas relativamente elevadas, proporcionan un medio favorable para el desarrollo de hongos y bacterias, que son bastante perjudiciales para la formación exitosa de la unión. El encerrar con prontitud la unión de injerto ayuda a prevenir esas infecciones. (Rigau, 1981)

Durante la operación de injerto, las células cortadas y dañadas por la navaja se vuelven de color pardo y mueren, formando una placa necrótica que separa las dos partes del injerto. Se desarrolla peridermo de lesiones y las capas de contacto se vuelven suberizadas. Debajo de esas células muertas, las células vivas muestran un incremento en la actividad citoplasmática. Al injertar púas en patrones establecidos, el patrón produce la mayor parte del callo, estas células de parénquima que comprenden el tejido esponjoso del callo penetran en la delgada capa necrótica en un tiempo y pronto llena el espacio que hay entre los dos componentes del injerto (patrón y púa), enlazándose íntimamente y proporcionando cierto sostén mecánico y permitiendo también un paso limitado de agua y nutrientes entre el patrón y el injerto. Durante algún tiempo, entre el callo que se origina del patrón y aquel que se origina de la púa, existe una línea parda más o menos continua, formada por células muertas y machacadas, remanentes entre los dos tejidos del injerto, sin embargo, esta línea poco a poco es reabsorbida y desaparece.

En el puente de callo, la capa de cambium recién formada comienza a tener actividad cambial característica, depositando nuevo xilema hacia el interior y nuevo floema hacia el exterior, al igual que el cambium vascular original del patrón y de la púa y lo continua haciendo durante toda la vida de la planta. (Hartmann, 1995)

1.15. Influencia del Patrón Sobre el Injerto.

La combinación de dos plantas (genotipos) diferentes en una sola planta por medio de injerto, en la cual una parte produce el brote y la otra las raíces, puede producir patrones de crecimiento que difieren de aquellos que hubieran tenido las partes componentes cultivadas por separado. Algunos de estos efectos son de gran valor hortícola, mientras que otros son perjudiciales y se deben evitar. Las características alteradas pueden resultar:

- a) De reacciones de incompatibilidad.
- b) Del hecho que una de las partes del injerto tenga uno o más caracteres específicos que no se encuentren en la otra como resistencia a ciertas enfermedades; nemátodos o insectos, o bien tolerancia de ciertas condiciones adversas del clima y del suelo.
- c) Interacciones específicas entre el patrón y la púa que alteran el tamaño, desarrollo, productividad, calidad del fruto u otros atributos hortícolas. (Hartmann, 1995)

1.16. Tamaño-hábito de Crecimiento.

De Ravel (1976), reconoce actualmente que el portainjerto ejerce gran influencia sobre el desarrollo del injerto, influencia que se manifiesta en diversas direcciones:

Uno de los efectos más significativos del patrón es el control del tamaño que a veces va acompañado por un cambio en la forma del árbol aparentemente, el patrón altera el vigor de un cultivar dado que se le injerte. En manzanos, mediante la selección apropiada de patrones, se ha obtenido una gama completa de tamaños de árbol -desde enanos hasta muy grandes- al injertar la púa de un cultivar en patrones diferentes. (Bunyard, 1920)

En la actualidad se ha desarrollado una amplia diversidad de patrones controladores del tamaño para algunos de los árboles frutales principales (Brase, 1959). Los más notables son la serie de patrones para manzano propagados vegetativamente colectados y desarrollados en la East Malling Research Station en Inglaterra a partir de 1912. Estos patrones se clasificaron en cuatro grupos, principalmente por el grado de vigor que impartían al cultivar injertado (enanos, semienanos, vigorosos y muy vigorosos). (Montgomery, 1963)

1.17. Fructificación.

El patrón empleado puede influir en la precocidad de la fructificación, la formación de las yemas fructíferas, el cuajado de los frutos y en el rendimiento de un árbol. En general, la precocidad de la fructificación esta asociada con los patrones achaparrantes y la lentitud en el inicio de la fructificación con patrones vigorosos.

En algunos casos, los patrones vigorosos de crecimiento robusto producen una planta más grande y más vigorosa de la cual se obtienen cosechas más grandes en un período de años más largo. Por otra parte, los árboles formados sobre patrones achaparrantes pueden ser más fructíferos, y si se les siembra a menores distancias, producen rendimientos más elevados por hectárea, en especial en los primeros años de producción. (Preston, 1958)

El patrón también tiene influencia sobre el fruto en cuanto al color, la rugosidad, tamaño de los frutos, el aroma, sabor (el equilibrio entre ácidos orgánicos e hidratos de carbono determina si un fruto será dulce, insípido o agrio) y a la conservación de los mismos. (De Ravel, 1976)

1.18. Quimeras.

Cuando se confeccionan injertos sólo se origina un empalme mecánico de los tejidos, de pie e injerto; a través de nuevas formaciones. Nunca se dá la fusión genética de los elementos puestos en contacto los cuales se desarrollan en forma adyacente como parte de la planta compuesta, ejemplos: planta de cítricos con follaje variegado, duraznos con sectores vellosos y lisos. Sin embargo, muy ocasionalmente en la naturaleza, se originan verdaderos híbridos. Winkler denomina a esa fusión de tejidos de pie e injerto con el nombre de "quimeras" y se clasifican en:

Mixtas.- formación por lo común temporaria de una mezcla irregular de tejidos.

Mericlinales.- derivados de las mixtas, formadas por los tejidos delgados separados del resto de la superficie.

Sectoriales.- originadas en un sector definido, de simetría radial, aparece con frecuencia en raíces, tallos, frutos, (manzanas, naranjas).

Periclinales.- formadas por capas de células derivadas del injerto y dando por consiguiente, origen a híbridos de injerto. (Vidal, 1979)

Si las púas del injerto se cortan severamente, casi hasta el nivel del patrón a veces pueden salir yemas adventicias en el callo de la región de unión del injerto. Ocasionalmente pueden desarrollarse una yema que contiene tejidos, tanto del patrón como del injerto, permaneciendo distintas las células de ambos componentes sin importar que tanto se entremezclen. (González, 1984)

1.19. Compatibilidad.

La compatibilidad se define como la armonía más o menos perfecta entre el patrón y el injerto que repercute sobre el desarrollo normal de la planta y que algunos autores conocen con el nombre de afinidad. (Calderón, 1977)

También es necesario que exista afinidad botánica de las especies que se emplean, ya que es inútil realizar injertos con individuos de familias diferentes. Algunas combinaciones se sueldan, pero en un breve tiempo aparecen los síntomas de incompatibilidad: desarrollo dificultoso, hojas cloróticas con crecimiento hisiodométrico de las dos partes (el injerto crece más que el portainjerto), las plantas pueden ser injertadas más fácilmente cuando son jóvenes y en el estadio de pie franco. (Brunelli, 1986)

La afinidad es la semejanza o la analogía que existe entre individuos que pertenecen a género y especies con gran proximidad de parentesco, lo cual provoca que tejidos celulares de igual naturaleza puedan soldarse entre sí; lo cual garantiza un éxito en el injerto. (González, 1984)

La compatibilidad esta dada por el reconocimiento celular de las partes injertadas y la continuidad de los tejidos vasculares en el área de unión del injerto. (Esau, 1970 citado por Nieto, 1983)

1.20. Limitantes.

Dado que uno de los requerimientos para lograr una unión de injerto es la coincidencia de los tejidos cercanos a la capa de cambium que producen callo, el injerto, generalmente está limitado en las angiospermas a las dicotiledóneas y en las gimnospermas a las coníferas. Ambas tienen una capa de cambium vascular que se extiende como un tejido entre el xilema y el floema. En las plantas monocotiledóneas de las angiospermas, que no tienen un cambium vascular, el injerto es más difícil, obteniéndose un porcentaje bajo de prendimiento. (Muzik, 1958)

Antes de iniciar una operación de injerto se debe determinar si las plantas a combinarse son capaces de unirse y que tenga éxito dicha unión. No hay una regla definida que pueda seguirse con exactitud a este respecto. En general entre más cercanas botánicamente sean las plantas a injertar, son mayores las probabilidades de que la unión se haga con éxito. (Hartmann, 1995)

Injerto dentro de un clon: Una púa puede volverse a injertar sobre la planta de la que se obtuvo, y una púa de un clon dado puede injertarse en otra planta del mismo clon.

Injerto entre clones de una misma especie: En los árboles frutales y de nueces los diferentes clones de una especie casi siempre se pueden injertar entre sí sin dificultad, produciendo árboles satisfactorios. Sin embargo, en especies de coníferas, en especial en el abeto *Douglas*, se han presentado problemas de incompatibilidad al injertar entre sí individuos de la misma especie tales como clones seleccionados de *P. menziesii* sobre patrones también de *P. menziesii* procedentes de semilla. (Copes, 1970)

Injerto entre especies de un mismo género: El injerto entre plantas de especies diferentes, pero del mismo género, tiene éxito en algunos casos pero no en todos. Por ejemplo, los injertos entre la mayoría de las especies del género *Citrus* tienen éxito y se emplean bastante a escala comercial. (Herrero, 1955)

Injertos entre géneros de la misma familia: Cuando las plantas que se van a injertar entre sí pertenecen a la misma familia pero son géneros diferentes, las probabilidades de que se logre una unión con éxito son muy remotas. Se pueden encontrar casos en esos injertos que tienen éxito y se usan comercialmente, pero

en la mayoría de los intentos las combinaciones fallan. El naranjo trifoliado (*Poncirus trifoliata*), se usa de forma comercial como patrón enanizante para diversas especies del género *citrus*; el membrillero (*Cydonia oblonga*), desde hace mucho se ha usado como patrón enanizante para ciertas variedades de peral. La combinación opuesta membrilleros sobre peral, no tiene buen éxito.

Injertos entre familias: Se considera que es imposible tener éxito al injertar entre sí plantas de familias botánicas diferentes, pero se han reportado casos en los que se ha tenido éxito. Esto ha sido posible en plantas herbáceas de vida corta en las cuales el tiempo requerido ha sido relativamente breve; se hicieron con éxito injertos que formaran conexiones vasculares entre patrón e injerto usando trébol blanco dulce (*Melilotus alba*), como púa sobre patrón de girasol (*Helianthus annuus*), se uso injerto de hendidura sobre el parénquima de la médula del patrón. Las puas crecieron con vigor por más de dos meses, hasta donde se sabe; no existen casos en que plantas perennes leñosas pertenecientes a familias diferentes se hayan injertado con éxito permanente. (Hartmann, 1995)

La unión de los tejidos del injerto y del portainjerto es satisfactorio si los tejidos se encuentran cercanos a la zona cambial. En general, los injertos entre plantas son más exitosas en dicotiledóneas que en monocotiledóneas y en coníferas. Las dicotiledóneas se caracterizan por presentar crecimiento secundario, el cual se origina en tejido meristemático terminal denominado cambium vascular, el que debido a su actividad meristemática lateral influye notablemente en la fusión de tejidos por injertación. Al estar ausente este meristemo en las monocotiledóneas se dificulta el injerto. En este tipo de plantas no se tiene un criterio definido para realizar un injerto. En general, las plantas que tengan afinidad en parentesco, desde el punto de vista taxonómico, son las especies en que más posibilidad se tendrá de éxito en la injertación. Sin embargo esto no es muy consistente, ya que las clasificaciones actuales se basan en las características reproductoras, en tanto que en el injerto la interacción de las partes que se pretenden unir son entre partes vegetativas del esperofito. (Simmons, 1981 citado por Nieto, 1983).

1.21. Incompatibilidad.

Existen varias definiciones de incompatibilidad, que varían según el autor. Por un lado, Brunelli (1986) la define como el fracaso de injerto, o sea cuando se verifica una muerte prematura de la planta atribuible a la falta de unión de injerto y patrón; este término no debería aplicarse a aquellos casos cuyo tratamiento y condiciones ambientales parecieran la causa más cercana al fracaso, o a los casos en que se produce un crecimiento anormal que perjudica la funcionalidad del injerto. La mayor prueba de incompatibilidad puede aparecer con varios años de retraso, algunas veces las combinaciones entre patrón e injerto crecen normalmente durante varios años, pero es notable una malformación de crecimiento en la plantación debido a diferentes grados de soldadura de los injertos. La rotura de plantas en el lugar del injerto se debe a una forma de incompatibilidad en la que las fibras del injerto y del portainjerto no se sueldan

entre ellas. Si bien los elementos nutritivos pueden atravesar el punto de injerto de manera suficiente y consentir un adecuado crecimiento de la madera y de las raíces, una pequeña fuerza mecánica o cualquier tensión imprevista pueden dividir completamente las partes con una fractura nítida.

Esta incompatibilidad en el lugar del injerto puede ser superada con el uso de un intermediario o mediante el llamado "injerto de puente", con una variedad compatible tanto con el portainjerto como con el injerto.

La incompatibilidad es el mal funcionamiento de la combinación injertada en sus diversos grados y en su distinta localización, que puede ir desde un ligero abultamiento en el lugar de la soldadura, un desigual crecimiento en grosor de ambas partes o una pequeña disminución de vigor en la parte aérea, todas sin importancia hasta la muerte del árbol con separación de las partes o sin ella. (Calderón, 1977)

La incompatibilidad constituye un grave problema en la fruticultura ya que se presenta de manera muy variada siendo influenciada por la composición genética de los individuos y por factores ambientales tales como: defectos mecánicos en la unión, empleo de mastiques con efectos cáusticos sobre el árbol, la diferente consistencia de los tejidos herbáceos, semiñelosos y leñosos puestos en contacto, cambios de temperatura muy bruscos, las lluvias primaverales abundantes, sequías estivales, ventarrones, parásitos, enfermedades que pueden hacer fracasar a los injertos. (Soler, 1976)

1.21.1. Síntomas de incompatibilidad.

Una unión incompatible puede manifestarse por:

- a) Fracaso en la unión de pie e injerto.
- b) La muerte prematura de los árboles, que sólo pueden vivir un año o dos en vivero.
- c) Por el pobre desarrollo que imprimen a la copa: crecimiento débil, follaje amarillento, defoliación precoz en el otoño.
- d) La marcada diferencia de diámetro en los troncos, o en el vigor del pie, injerto.
- e) La diferencia de tiempo entre pie e injerto, en la iniciación y término de la vegetación.
- f) Un sobrecrecimiento en el tronco, arriba o por debajo del injerto. (Vidal, 1979)

II. MATERIALES Y MÉTODOS

2.1. Localización.

El experimento se realizó en las instalaciones de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán UNAM; en el jardín botánico. Se localiza en los límites del municipio de Cuautitlán Izcalli, Edo. de México sobre el km. 2.5 carretera Cuautitlán-Teoloyucan, a los 19°41'35" de latitud norte y a 99°11'41" longitud oeste, a una altura de 2252 msnm.

2.2. Condiciones Ambientales.

De acuerdo a la clasificación de Koppen, modificada por Enriqueta García (1973), se presenta en la región un clima C(Wo) (w) b(i') que corresponde al tipo templado, el más seco de los subhúmedos, con régimen de lluvia en verano y seco en invierno (menos del 5% de la precipitación anual con verano largo y fresco con temperatura extremosa respecto a su oscilación).

La temperatura media anual es de 13.9 °C, el mes más frío es enero con 11.7°C y el mes más caliente es junio con 18.3 °C, con una temperatura de 2.3°C como mínima y una máxima de 26.5 °C en promedio. La precipitación media anual es de 607 mm concentrándose en los meses de mayo a octubre, julio es el mes más lluvioso con 128.9 mm y febrero el mes más seco con 38 mm en promedio.

De la Teja (1982) menciona que el promedio anual de días con heladas es alto (64 días), abarcando desde octubre hasta abril, siendo más frecuentes en diciembre, enero y febrero; las tempranas se pueden presentar entre el 8 y el 10 de septiembre y las tardías hasta el mes de mayo, la frecuencia de granizada es baja, se observa en verano principalmente.

Tiene un pH de 6 a 7 (Apuntes de la cátedra de suelos 1996).

De acuerdo con el sistema FAO-DETENAL (1968) los suelos de la FES-Cuautitlán han sido clasificados como vertisoles pélicos y presentan una textura fina, son arcillosos; son suelos pesados difíciles de manejar por ser plásticos y adhesivos cuando están húmedos y duros cuando se secan, formando grietas profundas y pueden ser impermeables al agua de riego y/o de lluvia.

2.3. Preparación del Terreno.

1. Un barbecho y dos pasos de rastra.
2. El área del terreno fue de 200 m² fraccionándose en 6 surcos con una distancia de 1.5 m entre cada uno.
3. En el lomo de los surcos se hicieron excavaciones de 20 a 25 cm de profundidad a una distancia de 1.5 m entre estas.

2.4. Insumos Agrícolas.

1. Material vegetativo. Este se obtuvo de las plantas madres ubicadas en las instalaciones del ex-jardín botánico al norte de la FES-C, las cuales fueron trasladadas al área experimental del jardín botánico ubicado al sur de la misma.
2. Plaguicidas. Para el control de araña roja se utilizó Quelate en una proporción de 5 ml / 20 lt. de agua aplicándose para toda la superficie.
3. Herbicidas. Para el control de malezas, se utilizó Faena en una proporción de 5 ml/20 lt de agua aplicándose para toda la superficie.

2.5. Desarrollo.

De la plantación se identificaron las plantas más sanas y vigorosas; de estas se seleccionaron cladodios de dos años, pero menores de cuatro, deben estar de color verde oscuro y libres de daños por plagas, enfermedades, granizo, animales etc. El corte de las pencas se realizó en el punto de unión del cladodio con la planta, es decir, el desprendimiento debe de ser "limpio", dado que es importante evitar heridas, debido a que estas son puerta de entrada de enfermedades.

Las enfermedades causadas por virus, espiroplasmas y micoplasmas se llevan de planta a planta con la herramienta que se utiliza para cortar las pencas; por lo que se desinfectaron los utensilios usados con una solución de cloro (6%) y agua en partes iguales introduciendo la herramienta en la solución por un minuto aproximadamente; aunque esto es laborioso, es recomendable realizarlo ya que en los últimos años se ha registrado una alta incidencia de enfermedades.

Al tener cortadas las pencas éstas se pusieron a orear 22 días, de los cuales 11 fueron de un lado y los otros 11 restantes del otro; con el fin de que la herida cicatrizara y evitar al momento de la siembra pudrición y ataque de hongos al cladodio. Las pencas fueron enterradas a un tercio de su tamaño y orientadas con respecto a la salida del sol; esto es, que la cara plana se colocó en dirección de las hileras, y además en forma perpendicular a la trayectoria del sol durante la primavera y el verano que es de oriente a poniente. Aunque esto último no es un factor limitante para el desarrollo de la planta, ya que aunque la penca madre no se establezca perpendicular a la trayectoria del sol, ésta tiene mecanismos fisiológicos de fotorrecepción que le permiten captar mensajes de ambiente, los cuales inducen a que las nuevas pencas que brotan de la penca madre se orienten de acuerdo con la trayectoria del sol.

Ya establecidos los cladodios se revisaron cada 15 días para observar la formación de callo y emisión de raíces; a los 60 días se midieron las raíces emitidas teniendo una longitud de 25 cm; con lo cual se procedió a realizar las diferentes técnicas de injerto que a continuación se describen:

- ENCHAPADO.

Este método consiste en hacer un corte longitudinal de las dos especies de *Opuntia*, uniendo el envés de la tuna blanca con el haz del xoconostle presionando fuertemente las dos partes para asegurar que no existan burbujas de aire y evitar pudriciones.



- HIJUELO.

En esta técnica se calculan los tiempos de brotación de los cladodios de las dos especies, ya que los dos brotes deben coincidir en tamaño y desarrollo para poder llevar a cabo este procedimiento; al tener un brote de tuna blanca con un crecimiento no mayor a 1 cm se desprende del punto de unión de la penca y se sustituye por el hijuelo del xoconostle procurando tener las mismas características físicas y con esto hacer coincidir los dos puntos. Esta técnica fue la última en realizarse ya que se retrasó aproximadamente tres semanas que fue el tiempo que tardaron los hijuelos en tener el tamaño deseado.



- CORONA.

Este injerto consiste en cortar de 15 a 20 cm en promedio de la punta de los cladodios dependiendo del tamaño de éstos, retirándose la parte cortada del nopal tunero y colocando la punta del nopal xoconostle, este método es el más práctico por la simplicidad de su realización .



- ESTACA.

Para poder realizar esta técnica se debe de contar con un cuchillo o navaja con suficiente filo para que el corte sea lo más limpio posible; a la penca de nopal tunero se le hace un corte en forma de "U" y se inserta la parte del xoconostle cortada previamente. El tamaño de la abertura depende del tamaño del cladodio, regularmente es menor a la cuarta parte del tamaño total.



- CUÑA.

En este método el corte que se realiza debe tener la forma de "V" y se hace en las dos especies de *Opuntia*; esto se dificulta porque deben quedar a la misma altura y que no sobresalga cualquiera de las dos. ya que al existir esto provoca la entrada de aire y con esto el fracaso del injerto.



- DOBLE CUÑA.

Esta técnica es la más difícil de realizar ya que al hacer el corte en forma de "W" nos damos cuenta que la penca del xoconostle no cubre en su mayoría al nopal tunero por lo que se tuvo que repetir en varias ocasiones tratando de adaptar las dos especies.



Para asegurar el prendimiento del injerto se aplicó una mezcla de cera de campeche con brea (4:1) con el fin de mantener sellado y aislado de ataques de plagas y enfermedades que perjudicarían el experimento; revisándose a diario

para sellar los injertos abiertos, este proceso se llevó a cabo aproximadamente durante 12 semanas, posteriormente se aplicaba una vez a la semana esto fue por 8 semanas.

En el inicio de la época de lluvias la maleza se controló manualmente, posteriormente se tuvo que hacer una aplicación de herbicidas para mayor efectividad en la eliminación de ésta.

Se realizaron mediciones en brotes de nopal y de tuna resultantes del injerto cada tercer día utilizando un vernier, con el fin de observar el tiempo de desarrollo de éstos ya que no existen estudios con respecto al tema (Tabla 1 y 2).

También se efectuó un análisis bromatológico a los frutos de tuna blanca, xoconostle así como del injerto con el fin de determinar las modificaciones adquiridas con el injerto (Cuadro 2).

2.6. Materiales Utilizados.

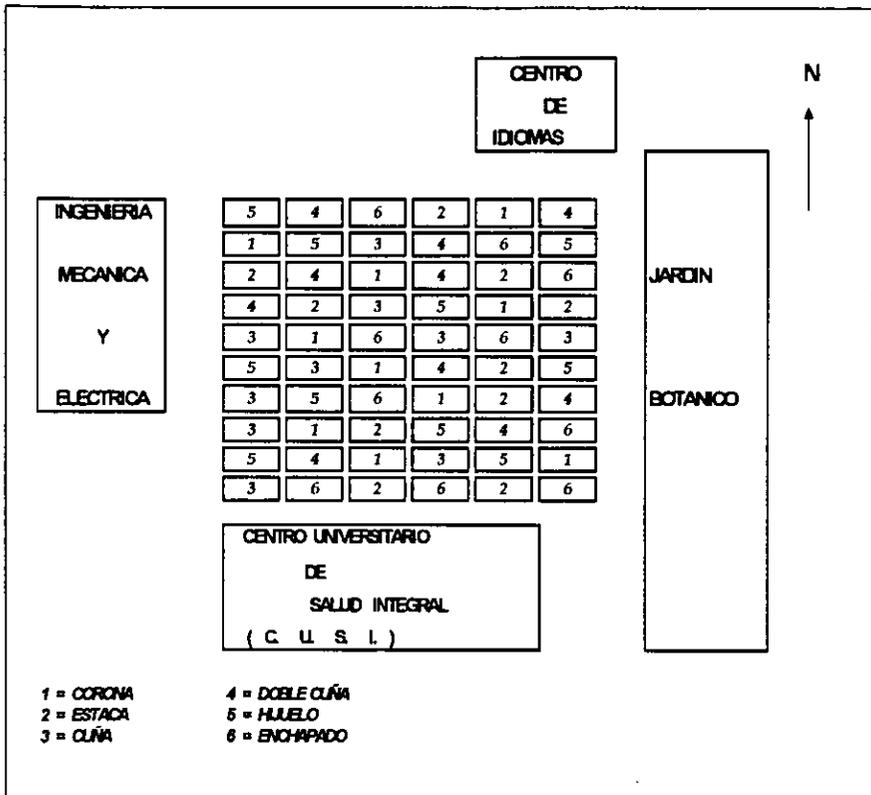
- Azadones
- Brea
- Carretilla
- Cera de campeche
- Cinta métrica
- Cuchillos
- Flexómetro
- Herbicidas
- Material vegetativo (pencas de nopal tunero y nopal xoconostle)
- Mochila para la aplicación de agroquímicos
- Palas rectas
- Pico
- Plaguicidas
- Vernier

III. ANÁLISIS DE RESULTADOS

3.1. Diseño Experimental.

Para el análisis del experimento se utilizó la prueba de X^2 ya que las variables que se evaluaron fueron de si hubo o no el prendimiento entre las dos especies, se realizó aleatoriamente la distribución de los injertos resultando de la siguiente forma:

DISTRIBUCIÓN DE LAS UNIDADES EXPERIMENTALES



El experimento constó de seis técnicas diferentes de injerto y cada una tuvo 10 repeticiones dando un total de 60 pencas injertadas, cada penca injertada se consideró como una unidad experimental.

3.2. Toma de Datos.

Al término de 28 semanas se observó que los injertos de corona, estaca, cuña y doble cuña ya habían prendido; por otro lado en las técnicas de enchapado e hijuelo hubo incompatibilidad desde el inicio, ya que en el transcurso de las 2 primeras semanas de haberse realizado, los injertos en su totalidad se deshidrataron hasta caerse.

En las cuatro técnicas restantes se procedió a evaluar el porcentaje de prendimiento en cada una de ellas. Se retiró la cera de la unión del injerto con la finalidad de determinar en que parte hubo prendimiento ya que en algunos casos fue en la parte central mientras que en otros se localizó en las esquinas o a lo largo de las orillas, tomando en cuenta la forma de prendimiento este proceso requiere de un trabajo minucioso para evitar desprender la unión existente y con esto hacer fracasar el injerto.

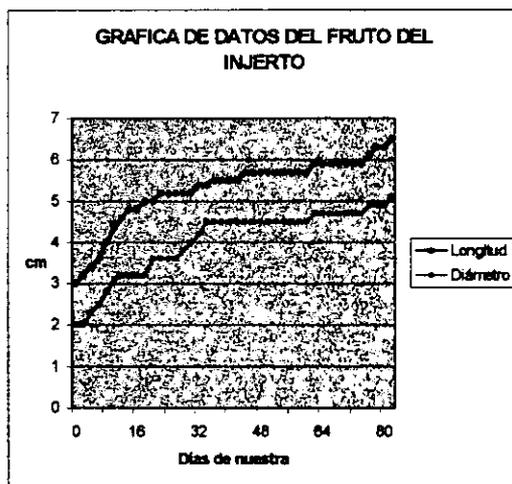
Las mediciones de crecimiento que se efectuaron desde su brotación hasta su punto de maduración, tanto del nopal como de la tuna resultantes del injerto, tuvieron una duración de 16 semanas, los datos obtenidos se compararon con los de *Opuntia xocnostle* con el fin de saber en que especie es más rápido el crecimiento del fruto.

Para el análisis bromatológico se cortaron frutos maduros de tuna blanca, xocnostle y de los 4 tipos de injertos resultantes esto con el fin de determinar si influye o no la técnica utilizada. Se pesó cada muestra para obtener 300-350 gr y se llevaron los frutos al laboratorio de Tecnología de Calidad de Alimentos de Campo 1 de la FES-C.

3.3. Resultados.

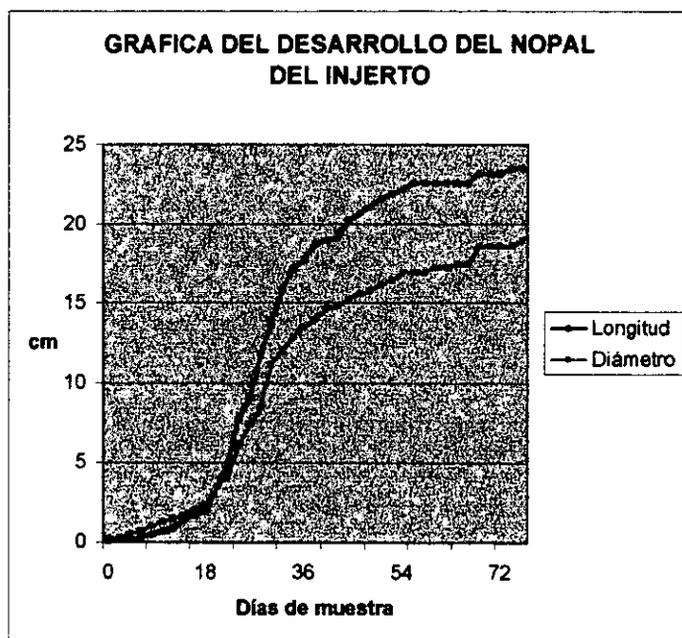
Los resultados obtenidos en los diferentes tratamientos de fruto y nopal, se presentan en las siguientes tablas con su respectiva gráfica para observar como fue su desarrollo.

| Longitud (cm.) | Diámetro (cm.) | Días de muestra |
|----------------|----------------|-----------------|
| 3 | 2 | 0 |
| 3.2 | 2 | 2 |
| 3.4 | 2.3 | 4 |
| 3.6 | 2.5 | 6 |
| 4 | 2.8 | 8 |
| 4.4 | 3.1 | 10 |
| 4.6 | 3.2 | 12 |
| 4.8 | 3.2 | 14 |
| 4.8 | 3.2 | 16 |
| 5 | 3.2 | 18 |
| 5 | 3.6 | 20 |
| 5.2 | 3.8 | 22 |
| 5.2 | 3.6 | 24 |
| 5.2 | 3.6 | 26 |
| 5.2 | 3.8 | 28 |
| 5.2 | 4 | 30 |
| 5.4 | 4.2 | 32 |
| 5.4 | 4.5 | 34 |
| 5.5 | 4.5 | 36 |
| 5.5 | 4.5 | 38 |
| 5.5 | 4.5 | 40 |
| 5.5 | 4.5 | 42 |
| 5.7 | 4.5 | 44 |
| 5.7 | 4.5 | 46 |
| 5.7 | 4.5 | 48 |
| 5.7 | 4.5 | 50 |
| 5.7 | 4.5 | 52 |
| 5.7 | 4.5 | 54 |
| 5.7 | 4.5 | 56 |
| 5.7 | 4.5 | 58 |
| 5.7 | 4.5 | 60 |
| 5.9 | 4.7 | 62 |
| 5.9 | 4.7 | 64 |
| 5.9 | 4.7 | 66 |
| 5.9 | 4.7 | 68 |
| 5.9 | 4.7 | 70 |
| 5.9 | 4.7 | 72 |
| 5.9 | 4.7 | 74 |
| 6.1 | 4.9 | 76 |
| 6.3 | 4.9 | 78 |
| 6.3 | 4.9 | 80 |
| 6.5 | 5.1 | 82 |



Datos obtenidos del fruto del injerto " corona " .

| Longitud (cm.) | Diámetro (cm.) | Días de muestra |
|----------------|----------------|-----------------|
| 0 | 0.3 | 0 |
| 0.2 | 0.3 | 2 |
| 0.2 | 0.5 | 4 |
| 0.3 | 0.7 | 6 |
| 0.5 | 1 | 8 |
| 0.7 | 1.3 | 10 |
| 0.9 | 1.5 | 12 |
| 1.4 | 1.7 | 14 |
| 1.7 | 2.1 | 16 |
| 2 | 2.4 | 18 |
| 3.5 | 3.5 | 20 |
| 5 | 4.1 | 22 |
| 7.7 | 6.1 | 24 |
| 9.1 | 7.4 | 26 |
| 11.9 | 8.5 | 28 |
| 13.7 | 11.2 | 30 |
| 15.9 | 12 | 32 |
| 17.2 | 12.9 | 34 |
| 17.8 | 13.5 | 36 |
| 18.8 | 14 | 38 |
| 19 | 14.7 | 40 |
| 19.2 | 14.8 | 42 |
| 20.2 | 15.3 | 44 |
| 20.7 | 15.6 | 46 |
| 21.1 | 15.8 | 48 |
| 21.6 | 16.2 | 50 |
| 21.9 | 16.5 | 52 |
| 22.2 | 17 | 54 |
| 22.6 | 17 | 56 |
| 22.6 | 17 | 58 |
| 22.6 | 17.3 | 60 |
| 22.6 | 17.3 | 62 |
| 22.6 | 17.5 | 64 |
| 22.6 | 17.5 | 66 |
| 23.2 | 18.6 | 68 |
| 23.2 | 18.6 | 70 |
| 23.2 | 18.6 | 72 |
| 23.5 | 18.6 | 74 |
| 23.5 | 19 | 76 |



Datos obtenidos del crecimiento del nopal " corona " durante 28 semanas , siendo medida óptima para corte .

Los resultados obtenidos se manejaron estadísticamente para determinar la técnica de injerto más compatible se realizó la prueba de X^2 , la cual es una técnica de verificación de hipótesis utilizada para probar:

- 1) Un conjunto de frecuencias observadas con un conjunto de frecuencias hipotéticas.
- 2) Dos o más conjuntos de frecuencias observadas con el objeto de descubrir si las diferencias entre los conjuntos son significativas.

Para aclarar el uso de la prueba de X^2 en el caso de intervenir un conjunto de frecuencias observadas y otro conjunto de frecuencias hipotéticas o esperadas.

Supongamos que existe cierta sospecha de que un dado utilizado en una partida está cargado. La aplicación de la prueba de X^2 a problemas de esta naturaleza es conocida a menudo como bondad del ajustamiento. Con el propósito de comprobar si el dado es auténtico, se sigue un procedimiento general parecido al aplicado en la verificación de hipótesis. Los seis pasos corrientes son:

1. Se formula una hipótesis. Será formulada como hipótesis nula. La hipótesis nula por verificar en este problema es que el dado no está cargado.
2. Se formula un nivel de significación. Para esta prueba se decidió arbitrariamente tomar el nivel igual a 0.01.
3. Se identifica la estadística necesaria que en este es X^2 y se calcula así:

$$x \frac{(fo - fe)}{fe}$$

En donde:

fo: es la frecuencia observada
fe: es la frecuencia esperada

4. Se determina un valor crítico mediante la tabla de la distribución de X^2 . El valor crítico de X^2 tomado de la tabla será el punto divisor entre el área de aceptación y el área de rechazo. En esta prueba de X^2 , llamada la prueba de bondad del ajuste que implica un conjunto de frecuencias esperadas y un conjunto de frecuencias observadas, los grados de libertad se determinan mediante $n-1$.
5. Se efectúa un muestreo.
6. Calcule X^2 . Acepte la hipótesis nula si el valor de X^2 cae dentro de la región de aceptación, pero recházelo si dicho valor es igual o mayor que el valor crítico.

Tomando en cuenta los pasos a seguir para obtener los resultados de esta prueba se hicieron los siguientes cálculos:

**TABLA DE CONTINGENCIA
EFECTO DE PRENDIMIENTO**

| Ti \ P | SI | NO | RI |
|--------|----------|-----------|----|
| 1 | 9 5.5 | 1 4.5 | 10 |
| 2 | 8 5.5 | 2 4.5 | 10 |
| 3 | 8 5.5 | 2 4.5 | 10 |
| 4 | 8 5.5 | 2 4.5 | 10 |
| 5 | 0 5.5 | 10 4.5 | 10 |
| 6 | 0 5.5 | 10 4.5 | 10 |
| Cj | 33 | 27 | 60 |

Donde:

Ti= Tipos de Injerto

1= Corona

2= Estaca

3= Cuña

4= Doble cuña

5= Enchapado

6= Hijuelo

Ri= Repeticiones del injerto

Cj= Sumatoria de los injertos

Ho: P es independiente de TI

Ha: P es dependiente de TI

Donde:

Ho= Hipótesis nula

Ha= Hipótesis alterna

P= Prendimiento

R de D si $X^2_c > X^2_t$ entonces aceptar Ha

$$x = \sum \frac{(O - E)^2}{E}$$

Donde:

R de D= Regla de Decisión

X^2_c = X^2 calculada

X^2_t = X^2 de tablas

$$x^2 = \frac{(\text{valor observado} - \text{valor esperado})^2}{\text{valor esperado}}$$

$$E_1 = \frac{(10) \times (33)}{60} = 5.5$$

$$E_2 = \frac{(10) \times (27)}{60} = 4.5$$

$$gl = (r-1)(c-1) = (6-1)(2-1) = (5)(1) = 5$$

$$X^2_t = X^2_{5,0.99} = 15.086$$

$$X^2_t = 15.086$$

O_{ij} = Valores observados

e_{ij} = Valores esperados

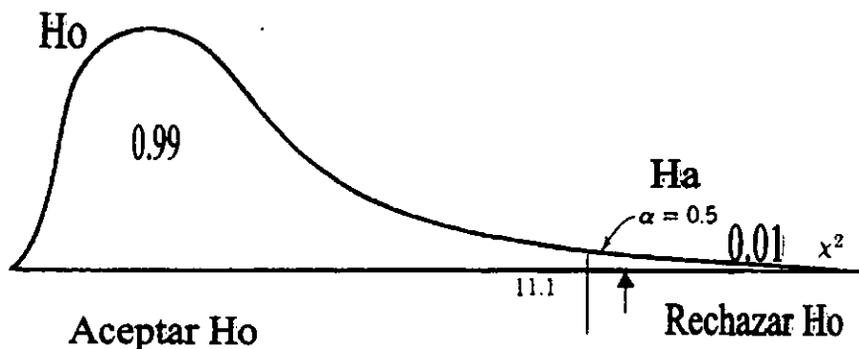
$$X^2_c = \sum_{j=1}^{r-1} \sum_{j=1}^{c-2} \frac{(O_{ij} - e_{ij})^2}{e_{ij}}$$

$$e_{ij} = \frac{R_i C_j}{n} \quad n = 60$$

$$x^2_c = \frac{(9-5.5)^2}{5.5} + \frac{(1-4.5)^2}{4.5} + \frac{(8-5.5)^2}{5.5} + \frac{(2-4.5)^2}{4.5} + \frac{(8-5.5)^2}{5.5} + \frac{(2-4.5)^2}{4.5} + \frac{(8-5.5)^2}{5.5} + \frac{(2-4.5)^2}{4.5} + \frac{(0-5.5)^2}{5.5} + \frac{(10-4.5)^2}{4.5} + \frac{(0-5.5)^2}{5.5} + \frac{(10-4.5)^2}{4.5}$$

$$X^2_c = 2.22 + 2.72 + 1.13 + 1.38 + 1.13 + 1.38 + 1.13 + 1.38 + 5.50 + 6.72 + 5.50 + 6.72$$

$$X^2_c = 36.91$$



Entonces como $X^2_t = 15.086$ y ésta es $<$ que $X^2_c = 36.91$ se rechaza H_0 y por lo tanto el prendimiento depende del tipo de injerto.

De acuerdo con los datos obtenidos de la prueba de X^2 se determinó que el prendimiento de la especie de xoconostle sobre la especie de tuna blanca es dependiente del tipo de injerto a utilizar, esto quiere decir que el éxito del prendimiento está supeditado a los diferentes injertos ya que el valor obtenido se sitúa dentro del área de la hipótesis alterna.

3.4. Discusión de Resultados.

- Enchapado.

En esta técnica se encontraron respuestas inesperadas puesto que el punto de contacto que hubo entre las dos especies de nopal fue la de mayor área en comparación con las otras técnicas, lo que hubiera permitido garantizar un alto porcentaje de prendimiento; sin embargo la producción de mucilago de la planta influyó para que esta técnica fracasara, ya que en la parte inferior del cladodio se acumuló este y ocasionó que el sello de cera que protegía la herida se abriera constantemente permitiendo con esto la entrada de aire y propiciar la oxidación provocando con esto la deshidratación de la penca, así como favoreciendo el ataque de plagas y enfermedades.

- Hijuelo.

En este método el área de contacto es mínima con respecto a las demás; en el proceso de prendimiento que fue de dos semanas aproximadamente se observó que el sello de cera aplicado desde el inicio no presentó ninguna abertura, lo que quiere decir que el fracaso se debió a que nunca existió un contacto cambial con lo cual no hubo intercambio de nutrientes entre las dos plantas por lo que se observó que el hijuelo a los pocos días se deshidrató ocasionándole la muerte mientras que en el portainjerto la herida cicatrizó; ningún injerto realizado con éstas dos técnicas tuvieron prendimiento.

- Corona.

Esta técnica se consideró la más accesible de todas por la sencillez de su corte, ya que únicamente se realizó un corte transversal en la punta de la penca de tuna blanca colocándose con facilidad la punta del xoconostle previamente cortada a pesar de que ésta se movía por el mucílago, pero existiendo siempre un contacto entre los dos cambium; se obtuvo el 90% de prendimiento, acelerándose también el tiempo de injertación de las dos especies.

- Estaca.

En este método el problema que se presentó fue únicamente al inicio del injerto, ya que el hacer coincidir los bordes del nopal xoconostle con respecto al de tuna blanca fue complicado por que hubo casos en los cuales el injerto sobrepasaba el borde del portainjerto así como también se presentó el hecho de estar por debajo del borde, por lo que se tuvieron que hacer adaptaciones en el momento de unir las dos pencas; a pesar de las dificultades que se presentaron, durante el proceso de prendimiento la abertura del sello fue mínima y no tan frecuente como en los otros casos obteniéndose un prendimiento del 80%.

- Cuña.

Este procedimiento presentó un alto porcentaje de prendimiento a pesar de las dificultades que se presentaron desde el momento en que se realizaron los cortes y al hacer contacto del cambium de las dos especies de nopal. Durante el proceso de prendimiento se presentó el problema de que el sello de cera se abría de la base hacia arriba; sin embargo, ésta fue mínima y no afectó el prendimiento, el cual fue del 80%.

- Doble Cuña.

Este método fue el que presentó más inconvenientes debido a que el cladodio del xoconostle es más delgado respecto al de tuna blanca, por lo que al realizarse los cortes no coincidían las partes del cambium vascular y con esto provocó que el sello se abriera con mayor frecuencia e incluso que la abertura fuera mayor que en los otros casos, sin embargo esto no fue determinante, porque se logró un prendimiento del 80%.

Con la obtención de los frutos de los diferentes tipos de injerto se realizó un análisis químico proximal resultando:

ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE TUNA Y XOCONOSTLE

| TRATAMIENTO | HUMEDAD % | CENIZA % | ACIDEZ % | AZÚCAR % | PH |
|--------------------|----------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Injerto cuña | 99.6166 ^a | 0.58 ^a | 1.70 ^a | 2.46 ^b | 3.46 ^b |
| Injerto estaca | 99.4609 ^a | 0.63 ^a | 1.87 ^a | 2.46 ^b | 3.37 ^a |
| Injerto corona | 99.4171 ^b | 0.56 ^a | 1.76 ^a | 2.66 ^b | 3.41 ^b |
| Injerto doble cuña | 99.5015 ^a | 0.58 ^a | 1.84 ^b | 2.0 ^b | 3.39 ^a |
| Patrón xoconostle | 99.4976 ^a | 0.44 ^a | 1.90 ^b | 1.86 ^b | 3.35 ^a |
| Patrón tuna blanca | 99.5528 ^a | 0.30 ^b | 0.20 ^b | 12.5 ^b | 4.37 ^b |

^a Estadísticamente no significativo

^b Estadísticamente muy significativo

La humedad tuvo valores que van desde 99.4171% siendo del injerto corona, al 99.6166% del injerto cuña donde el único valor significativo que indica que la muestra es diferente a los demás es el injerto corona.

En ceniza, su rango va de 0.30% a 0.63% siendo significativo únicamente el patrón tuna blanca con valor de 0.30%

La acidez tiene tratamientos significativos que son patrón tuna blanca con 0.20%, injerto doble cuña con 1.84% y patrón xoconostle con 1.90%

En el azúcar todos sus valores fueron altamente significativos desde patrón xoconostle con 1.86%, injerto doble cuña con 2.0%, injerto estaca con 2.46%, injerto cuña con 2.46%, injerto corona con 2.66% hasta patrón tuna blanca con 12.5%.

En el pH dentro de su rango que va de 3.35 de patrón xoconostle a 4.37 de patrón tuna blanca los que fueron significativos son injerto corona con 3.41, injerto cuña con 3.46 y patrón tuna blanca con 4.37.

Los resultados obtenidos en el análisis químico proximal se analizaron estadísticamente utilizando la prueba de Tukey, donde se puede observar que para el factor humedad y ceniza la mayoría de tratamientos no mostraron diferencias significativas, existiendo una diferencia en el injerto corona en el primer caso, así como el patrón de tuna blanca en el segundo.

En lo referente a los factores acidez, azúcar y pH presentaron resultados con diferencias muy significativas como fue en el tratamiento injerto doble cuña, patrón xoconostle y patrón tuna blanca en el primer caso; para la variable azúcar todos los tratamientos tuvieron una diferencia altamente significativa por lo cual se considera que son distintos uno de otro y por último el factor pH muestra que en los injertos cuña, corona y el patrón tuna blanca tienen valores altamente significativos con respecto a los restantes, con lo que podemos decir que las muestras analizadas tuvieron cambios para el mejoramiento con respecto al patrón xoconostle.

CONCLUSIONES

De las seis técnicas de injertación utilizadas dos de éstas: el injerto enchapado e hijuelo no presentaron compatibilidad por lo cual el prendimiento fue nulo.

Las cuatro técnicas restantes (corona, estaca, cuña y doble cuña) presentaron un alto porcentaje de prendimiento siendo el de mayor compatibilidad el injerto corona con un 90% siguiéndole con el 80% los injertos estaca, cuña y doble cuña.

El desarrollo de la planta injertada tuvo éxito llegando así a la etapa de fructificación de la cual se obtuvieron frutos maduros que posteriormente se analizaron químicamente.

De este estudio se determinaron diferencias, algunas significativas entre los distintos injertos (cuña, corona, estaca y doble cuña) así como los patrones (tuna blanca y xoconostle).

Analizando estas diferencias podemos mencionar que el fruto del injerto adoptó características del patrón de tuna blanca aumentando su peso y tamaño, así mismo la cantidad de humedad, pH y azúcar con respecto al xoconostle y por otro lado disminuyendo el porcentaje de ceniza así como de acidez.

Al conjuntar los resultados de campo, estadístico y químico se concluye que el fruto resultante del injerto puede ser mejorado mediante la continuación de los injertos con la tuna blanca para aumentar su contenido de azúcar y pH, recomendándose la técnica de corona por su sencillez y alto porcentaje de prendimiento.

BIBLIOGRAFÍA

1. Alvarado, S.L. 1978. "Fisiología y Bioquímica del desarrollo del fruto de nopal tunero (*Opuntia amyclaea* Tenore)". Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados Chapingo México.
2. Anónimo. 1979. "Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal en el Estado de México". CODDAGEM, Gobierno del estado de México.
3. Apuntes de la cátedra de suelos. 1996. Ingeniería Agrícola, Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán.
4. Backenberg, C. 1977. "Deskakteenlexicon". Gustav, Fisher Verlag stuttgart, Jena.
5. Barrientos, P.F. 1981. "El nopal (*Opuntia spp.*) su mejoramiento y utilización en México". Colegio de Postgraduados, Chapingo México.
6. Barrientos, P.F. 1983. "Nopal y agaves como recurso de zonas áridas y semiáridas de México (en recursos agrícolas de zonas áridas y semiáridas de México)". Centro de Genética, Chapingo, México.
7. Becerra R.S., Barrientos, P.F. y Díaz, M.D. 1975. "Eficiencia fotosintética del nopal (*Opuntia spp.*) en relación con la orientación de sus cladodios". Tesis, Chapingo, México.
8. Benson, L. 1963. "The Cacti of Arizona" Tucson. The University of Arizona Press, Arizona.
9. Boke, N.H. 1980. "Development, morphology and anatomy of cactaceae", *BioScience*, 30 (9): 605-610.
10. Boselli, M. 1986. "El libro de los injertos". Edit. De Vecchi. S.A. Barcelona España.
11. Brase, K.D. and Way, R.D. 1959. "Rootstocks and methods used for dwarfing fruit trees". N.Y. State Agr. Exp. Sta. Bul.
12. Bravo, H. H. 1978. "Las cactáceas de México". UNAM, 2a edición.
13. Bravo, H.H. (1978b). "Consideraciones acerca de la clasificación morfológica y distribución de las cactáceas". *Cactáceas Suculentas Mexicanas*, núm. 23.
14. Britton, N.L. y J.N. Rose. 1963. "The cactaceae". New York: Dover Publications, Inc.
15. Brunelli, M. 1986. "Manual completo de la poda y de los injertos". Edit. De

Vecchi, Barcelona España.

16. Brutsch, O.M. 1984. "Prickly pear (*Opuntia ficus-indica*) cultivation in Southern Africa". Symposium on Agricultural Use of the International Organization for Succulent Plant Study. Frankfurt W. Germany. Manuscrito inédito.

17. Bunyard, E.A. 1920. "The history of the Paradisc stocks". Jour. Pom. núm. 2.

18. Buxbaum, F. 1950. "Morphology of Cacti", Section I. Roots and Stems Pasadena:

19. Calderón, A.E. 1977. "Fruticultura General", Edit. ECA, México.

20. Cartagena, V. J. 1985. "Relaciones anatómicas y nutricionales de la afinidad entre el patrón y el injerto del manzano (*Malus pumila* Mill)". Tesis Colegio de Postgraduados, Chapingo México.

21. Centro de estadística agropecuaria SAGAR, 1997. "Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos".

22. CODDAGEM. 1982. "Cultivo, explotación y aprovechamiento del nopal". Secretaría de Desarrollo Agropecuario, SARH. Metepec México.

23. Conde, F.L. 1975. "Anatomical comparison of five species of *Opuntia* (Cactaceae)", Ann Missouri Bot. Gard. núm. 62.

24. Copes, D.A. 1970. "Initiation and development of graft incompatibility symptoms in Douglas fir". Silvae Genet. núm. 19.

25. Cruz, H.J.P. 1982. "Guía para cultivar nopal tunero en el estado de Puebla". CIAMEC-INIA-SARH. Campo Agrícola Experimental Tecamachalco, folleto técnico núm. 4.

26. Cruz, H.P. 1983. "Evaluación de selecciones de nopal tunero (*Opuntia spp*) en la zona semidesértica del estado de Puebla". Memoria. VII Congreso Nacional de Fitogenética Uruapan Michoacán.

27. Chessin, M. y D. Leseman. 1972. "Distribution of cactus virus in wild plants". Phytopatology 62(1).

28. D. Mason Robert. Estadística comercial y económica. Edit. SEPA, Argentina 1973.

29. De la Teja, A. O. 1982. "Estudio de las características edáficas de los suelos de la Facultad de Estudios Superiores Cuautitlán". Departamento de ciencias agrícolas, UNAM.

30. De Ravel, G. D'Esclapon. 1976. "Nuevo tratado de práctica de fruticultura". Edit. Blume, Barcelona España.
31. Díaz-Robledo, J. 1981. "Atlas de las frutas y hortalizas". Valencia Ministerio de Agricultura España.
32. Felipe, C.R. 1986. "La selección natural de los sistemas de cruzamiento en *Opuntia robusta*". Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados Chapingo México.
33. Figueroa, H.F. 1984. "Estudios de las nopaleras cultivadas y silvestres sujetas a recolección para el mercado en el altiplano potosino-zacatecano". Tesis. Escuela de Agronomía Universidad Autónoma de San Luis Potosí.
34. Fischer, R.A. y Turner, N.C. 1979. "Plant productivity in the arid and semiarid zones". Annu. Rev. Plant. Physiol. núm. 29.
35. Flores, V.C.A. y R. Bauer. 1977. "El nopal (*Opuntia ficus-indica* var. Copena F-1 como forraje)". Chapingo Nueva Época, núm 7-8.
36. García, E. 1973. "Modificación al sistema de clasificación climática de Köppen". Dirección General de publicaciones UNAM, México.
37. García, M.T. 1965. "Principales plagas del nopal en el Valle de México". Fitofilo XVIII, núm. 47.
38. García, S.R. 1984. "Patrones de polinización y fenología floral en poblaciones de *Opuntia* spp. En San Luis Potosí y Zacatecas". Tesis ENEP-Zaragoza, UNAM.
39. Gerwick, C.B. y C.F. Edwards. 1978. "Temperature response of CO₂D fixation in isolated *Opuntia* cells". Plant Sci. Letters. 13:389-396.
40. Gibson, C.A. y P.S. Nobel. 1986. "The Cactus Primer". Cambridge Harvard University.
41. González, S. et. al. 1984. "Propagación de frutales". Depto. de Fitotecnia UACH. México.
42. Granados, S.D. y Castañeda, P.A. 1996. "El nopal". Edit. Trillas, 1a. Reimpresión, México D.F.
43. Grant, V. y K.A. Grant. 1982. "Natural pentaploids in *Opuntia lindheimeri* *phaecantha* group in Texas". Bot. Gaz. 143(1).
44. Hartmann, T.H. y Kester, E.D. 1995. "Propagación de plantas". Edit. Continental, 4a. Reimpresión, México.

45. Hernández, R.L. 1978. "Distribución del sistema radical de nopal (*Opuntia amyclaea* Tenore)". Tesis de Maestría en Ciencias, Colegio de Postgraduados Chapingo México.
46. Herrero, J. 1955. "Incompatibilidad entre patrón e injerto. II, efecto de un intermediario en la incompatibilidad entre melocotonero y mirobalán". An. Aula Dei, núm. 4.
47. Jacobsen, H. 1960. "A Handbook of Succulent Plants", London: Blandford Press.
48. Juscafresa, B. 1973. "Arboles frutales, cultivo y explotación comercial". Edit. Aedos, Barcelona España.
49. Kluge, M. e I.P. Ting. 1978. "Crassulacean Acid Metabolism". Berlin Heidelberg: Springer Verlag.
50. Lozano, G.M. 1958. "Contribución al estudio e industrialización del nopal (*Opuntia spp*)". Tesis Escuela Superior de Agricultura Antonio Narro, Coahuila México.
51. Mayer, B.B. y Mc. Laughlin, L.L. 1981. "Economic uses of *Opuntia*". Cact. Succ. J. núm. 53.
52. McGarvie D. y H. Parolis. 1981. "The mucilage of *Opuntia aurantiaca*". Carbohydrate research núm. 94.
53. Miranda, F. y Hernández, X.E. 1963. "Los tipos de vegetación de México y su clasificación". Boletín de la Sociedad Botánica de México, núm. 28.
54. Mondragón, J.C. y Pimienta, B.E. 1987. "Fertilización orgánica y química del nopal tunero bajo condiciones de temporal limitado. II Huertos en producción". Memorias del XX Congreso Nacional de la Ciencia del Suelo, Zacatecas, Zacatecas.
55. Montgomery, H.B.S. 1963. "Fruit tree raising". Bul. 135, Minist. Agr., Fish. and Foods, London.
56. Moore, R. and Walker, D.B. 1981. "Estudies of vegetative compatibility-incompatibility in higer plants. I.A. structural study of a compatible autograft in *Sedum telephoides* (Crassulaceae). II. A structural study of an incompatible heterograft between *Sedum telephoides* (Crassulaceae) and *Solanum penelli* (Solanaceae)". Amer. Jour. Bot. núm. 68(6).
57. Muzik, T.J. 1958. "Role of parechyma cells in graft union in *Vanilla orchid*". Science núm. 127.

58. Nieto, A.R. 1983. "Compatibilidad vegetativa del manzano (*Malus pumila* Mill.) injertados en tejocote (*Crateagus pubescens* HBK)". Tesis colegio de postgraduados Chapingo, México.
59. Nobel, P.S. 1991. "Physiochemical and Environmental Plant Physiology". Academic Press. San Diego, California.
60. Nobel, S.P. (1982a). "Low temperature tolerance and cold hardening of cacti". *Ecology*, 63 (6): 1650-1656.
61. Nobel, S.P. (1982b). "Orientation of terminal cladodes of platyopuntias". *Bot. Gaz.* 143(2) 2:219-224.
62. Nobel, S.P. (1982c). "Orientation, PAR interception and nocturnal acidity increases for terminal cladodes of a widely cultivated cactus, *Opuntia ficus-indica*." *Amer. J. Bot.* 69 (6): 1462-1469.
63. Nobel, S.P. 1983. "Spines influences on PAR interception, stem temperature and nocturnal acid accumulation by cacti". *Plant. Cell and Environment*, 6:153-159.
64. Nobel, S.P. 1998. "Los incomparables agaves y cactus". Edit. Trillas. México D.F.
65. Nobel, S.P. y T.L. Hartsock. 1984. "Physiological responses of *Opuntia ficus-indica* to growth temperature". *Physiol. Plant.*, 60.
66. Osmond, B.C. 1978. "Crassulacean acid metabolism: A curiosity in context". *Ann. Rev. Plant Physiol.*, núm. 29.
67. Pidi, N. 1981. "La multiplicación de las plantas". Edit. De Vecchi S.A. Barcelona España.
68. Pimienta Barrios Eulogio. 1990. "El nopal tunero", Ed. Universidad de Guadalajara, 1a. edición.
69. Pimienta, B.E. 1986. "Establecimiento y manejo de plantaciones de nopal tunero en Zacatecas". *Campo Agrícola experimental, Zacatecas*. CIANOC-INIFAP-SARH. Publicación especial núm. 5.
70. Pimienta, B.E. y E.M. Engleman. 1981. "Estudio del desarrollo de la yema floral y el fruto en nopal". III Congreso Nacional de Fruticultura, Guadalajara Jalisco.
71. Pimienta, B.E. y E.M. Engleman. 1983. "Diferenciación de la yema floral en nopal (*Opuntia amyoclaea* T.)". Agrocienca.
72. Pimienta, B.E. y E.M. Engleman. 1985. "Desarrollo de la pulpa y proporción en volumen de los componentes del lóculo maduro en tuna (*Opuntia ficus-indica* L.

Miller)", *Agrociencia* núm. 62.

73. Piña, L.I. 1981. "Observaciones sobre la grana y sus nopales hospederos en el Perú". *Cactáceas Suculentas Mexicanas*, núm. XXVI.

74. Preston, A.P. 1958. "Apple rootstock studies: Thirty-five years' results with Cox's Orange Pippin on clonal rootstock. *Jour. Hort. Sci.* núm. 33.

75. Reyes, S.J. 1994. "Métodos para la propagación de cactáceas mexicanas". *Rev. Sociedad Mexicana de Cactología, México*.

76. Rigau, A. 1976. "El cultivo de los frutales". Edit. Sintés, Barcelona, España, 5a. Edición.

77. Rigau, A. 1981. "El injerto de los frutales". Edit. Sintés. S.A. Barcelona, España.

78. Rivera, O.; Gil, G.; Montenegro, G. y Avila, G. 1981. "Estado de diferenciación de las yemas florales de la tuna (*Opuntia ficus-indica* Mill.)". *Ciencia e Investigación Agraria* vol. 8.

79. Rojas, G. M. 1984. "Manual teórico práctico de herbicidas y fitoreguladores". Edit. Limusa, México 2a. edición.

80. Rojas, M.P. 1961. "Aprovechamiento de las zonas áridas cultive nopal tierno". *Agronomía* núm. 79. ITESM, Nuevo León México.

81. Rosas, C.M.P. 1984. "Polinización y fase progámica en *Opuntia spp*". Tesis profesional Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán.

82. Salgado Molina, C. y Salgado Molina, A. 1984. "El cultivo del nopal, una alternativa económica en suelos áridos y semiáridos. CODDAGEM. Depto. De Asistencia Técnica Forestal de la Subdirección de Operación de la Dirección General de Distritos y Unidades de Temporal México.

83. Samish, Y.B. y G.J. Ellern. 1975. "Titratable acids in *Opuntia ficus-indica* L. Miller". *Journ., Range Mangm.* 28 (5): 365-369.

84. Sánchez, M.R.H. 1982. "Algunos usos prehispánicos de las cactáceas entre los indígenas de México". S.D.A. Gobierno del Estado de México.

85. Sodi, P.E. 1968. "Las cactáceas en las épocas precolombinas, virreinal y en siglo XIX". *Cactáceas Suculentas Mexicanas*, XIII (1).

86. Solares, M. 1979. "El aguacate, su cultivo". México D.F. Editores Mexicanos Unidos S.A. 2a. Edición.

- 87.** Soler, R. 1976. "Fruticultura moderna". Edit. Albatros, Buenos Aires Argentina.
- 88.** Sudzuki, F. 1969. "Absorción foliar atmosférica en Tamarugo". Boletín técnico núm. 30. Facultad de Agronomía Universidad de Chile.
- 89.** Sudzuki, F. 1975. "Captación y economía del agua en plantas que viven en ambientes de desierto". Boletín técnico 38-47. Facultad de Agronomía Universidad de Chile.
- 90.** Tamaro, D. y Caballero A. 1981. " Tratado de fruticultura". Edit. Mundi-Prensa, Madrid España.
- 91.** Trachtenberg S. y A. Mayer. 1981a. "A stereological analysis of the succulent tissue of *Opuntia ficus-indica* L. Miller". Development of mucilage cells" J. Exp. Bot. Núm. 32 (130): 1091-1103.
- 92.** Trachtenberg S. y A. Mayer. 1981b "A stereological analysis of the succulent tissue of *Opuntia ficus-indica* L. Miller. II. Ultrastructural development of mucilage cells". J. Exp. Bot. Núm. 32 (130): 1105-1113.
- 93.** Turner, N.C. 1979. "Drought resistance and adaptation to water deficit in crop plants". Wiley-Interscience, Nueva York, EUA.
- 94.** Turner, N.C. y Begg, J.E. 1978. "Responses of pasture plants to water deficit", Plants relations in pastures. Melbourne, Australia.
- 95.** Vázquez, A.A. y Medina, C.J. 1981. "El nopal". CONAZA No. 34, México.
- 96.** Vidal, J.J. 1979. "Fruticultura moderna". Edit. Albatros, Buenos Aires Argentina.
- 97.** Whitting, H.B., H.A. de Venter y J.G.S. Small. 1979. "Crassulacean acid metabolism in jointed cactus (*Opuntia aurantiaca* Lindley)". Agrobotica, núm. 11:41-43.