



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO**

**ESCUELA NACIONAL DE ESTUDIOS  
PROFESIONALES**

**IZTACALA**

**SISTEMA DE PRODUCCION AGRICOLA DEL NOPAL  
PARA VERDURA (Opuntia ficus indica) EN LA  
DELEGACION DE MILPA ALTA, D. F.**

**TESIS PROFESIONAL**

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE

**B I O L O G O**

P R E S E N T A

**ANA DUNIA CASTAÑEDA PEREZ**

**MEXICO 1986**



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.

Mi agradecimiento de manera muy especial al Dr. Diodoro Granados Sánchez por su asesoría y dirección en la realización de esta tesis

Agradezco también a Cristela su colaboración en la mecanografía y a Víctor por la elaboración de las figuras

A David, por su orientación y paciencia

A mi madre, Marta, Eduardo, Carlos y mi padre con cariño, como uno de tantos pasos para seguir adelante

A Jaime por su apoyo y paciencia en aquellos momentos difíciles

1. INTRODUCCION	1
2. OBJETIVOS	5
3. METODOLOGIA	6
3.1. Determinación del Area de Estudio	6
3.2. Caracterización Estructural del Sistema	6
3.3. Estructura Agrosocial del Sistema.	7
4. MARCO TEORICO CONCEPTUAL	10
4.1. El hombre y el Aprovechamiento de los Recursos.	10
4.1.1. Sociedad y Naturaleza	11
4.2. Sistemas	13
4.2.1. Sistemas de Producción	16
5. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO	21
5.1. Posición Geográfica y Topografía.	21
5.2. Aspectos Geomorfológicos	26
5.3. Suelos	28
5.4. Clima	30
5.5. Vegetación	30
6. RESULTADOS	34
6.1. Antecedentes: El Nopal y su Marco de Referencia	34
6.1.1. Aspecto Histórico	34
6.1.2. Taxonomía	42
6.1.2.1. Antecedentes	42
6.1.2.2. Tipificación de <u>Opuntia</u>	45
6.1.3. Fitogeografía	50
6.1.4. Ecología del Nopal en México	60
6.1.5. Fisiología	69
6.1.5.1. Fenología	107
6.1.6. Genética del Nopal	114
6.1.7. Composición Química	121
6.1.8. Utilidad del Nopal	134
6.1.8.1. Antecedentes	134
6.1.8.2. Importancia Forrajera	144
6.1.8.3. Importancia Frutífera	159
6.1.8.4. Nopal Verdura	185
6.1.8.5. Obtención de Grana o Cochinilla	193
6.2. Descripción del Sistema de Producción Agrícola del Nopal para verdura ( <u>Opuntia ficus-indica</u> ) en la delegación de Milpa Alta, D. F.	196
6.2.1. Características de la especie <u>Opuntia ficus-indica</u> .	196
6.2.2. Estructura de las Nopaleras	198
6.2.3. Procesos de Trabajo	199
6.2.3.1. Selección del terreno	199

6.2.3.2.	Selección y tratamiento del propágulo	201
6.2.3.3.	Preparación del terreno	201
6.2.3.4.	Siembra	201
6.2.3.5.	Fertilización	202
6.2.3.6.	Poda, deshierbe y combate de plagas	203
6.2.3.7.	Cosecha.	204
6.2.3.8.	Comercialización.	205
6.2.3.9.	Envejecimiento, muerte y renovación de las nopaleras	210
6.3.	Razonamiento Ecológico y cultural del Proceso de Producción del Sistema Nopalero y su Domesticación.	211
6.3.1.	Propágulos y Formas de Cultivo	211
6.3.2.	Aplicación del Fertilizante	211
6.3.3.	Utilidad de la Poda	212
6.3.4.	Cosecha	213
6.3.5.	Clima y Productividad	215
6.4.	Aspectos Históricos, Socioeconómicos y Culturales del Cultivo del Nopal en Milpa Alta.	218
6.4.1.	Aspecto Histórico General	218
6.4.2.	Aspecto Histórico del Cultivo del Nopal	220
6.4.3.	Aspectos Sociales, Económicos y Culturales en Torno al Nopal.	220
6.5.	Interpretación del Sistema Mediante el Lenguaje de Circuitos Propuesto por Odum, (1981)	223
7.	DISCUSION Y CONCLUSIONES	230
8.	BIBLIOGRAFIA	234

INDICE DE CUADROS.

Pag.

1. Temperatura interna de cladodios con diferente orientación.	75
2. Producción de frutos en cladodios con diferente orientación.	78
3. Incremento de materia seca en cladodios con diferente orientación.	79
4. Orientación de nuevos cladodios con RAF incidente horizontal	90
5. RAF, total diaria en cladodios con varias orientaciones y latitudes	91
6. Efecto de la edad del cladodio madra sobre la producción	102
7. Influencia de la edad del cladodio madre y densidad de plantación sobre la producción.	102
8. Subperiodos en cereales	109
9. Subperiodos del nopal	113
10. Recuento cromosómico en especies de <u>Opuntia</u> .	118
11. Productos fermentables de 2 tipos de nopal	122
12. Cenizas y celulosa en varias especies de nopal	124
13. Contenido de proteínas y aminoácidos, indispensables	125
14. Determinación de compuestos nitrogenados en algunas tunas	126
15. Algunas características físicas y químicas de varios tipos de nopal	127
16. Contenido de pectinas de varias especies del género <u>Opuntia</u> .	128
17. Composición química de la tuna de varias especies	129
18. Composición química del nopal comparado con otros forrajes.	130
19. Características de la productividad por unidad de superficie de <u>Opuntia streptacantha</u> en comunidades de baja densidad.	136
20. Características de la productividad por unidad de superficie de <u>Opuntia streptacantha</u> en comunidades de alta densidad.	137
21. Comparación del rendimiento entre el nopal y el maíz ensilado.	138
22. Análisis bromatológico de diferentes especies de nopal.	146
23. Comparación de producción de <u>Opuntia</u> con otras especies forrajeras	147
24. Digestibilidad de varias especies de nopal	149
25. Digestibilidad de varios estados del nopal	149
26. Digestibilidad de raciones alimenticias	150
27. Resultados de la alimentación de vacas lecheras con nopal	152
28. Costo y producción de vacas lecheras con varios forrajes	155
29. Densidad de siembra y producción del nopal forrajero	159
30. Coloración del fruto de diversas especies de nopal	161
31. Valor nutritivo de algunos frutos	167
32. Composición química de la tuna de 2 spp. de nopal.	168
33. Composición química de diferentes tunas.	169
34. Análisis bromatológico del jugo de tuna cardona	171
35. Análisis del queso de tuna cardona	173
36. Comparación del rendimiento y utilidad entre variedades del nopal, maíz y frijol.	176

37. Contenido de azúcares en el jugo de tuna	177
38. Análisis bromatológico de las partes de la tuna - cardona.	178
39. Contenido de aceite de las semillas de la tuna cardona	179
40. Composición química de la biomasa producida, por <i>Candida utilis</i> .	180
41. Análisis del contenido protéico de las partes de la tuna cardona.	180
42. Comparación de algunas semillas productoras de aceite con las semillas de tuna.	182
43. Comparación bromatológica entre el nopal para verdura y otros alimentos	186.

## INDICE DE FIGURAS

	Pag.
1. Lenguaje de circuitos propuestos por Odum.	8
2. Desarrollo social e histórico	14
3. Localización de la delegación de Milpa Alta.	22
4. Ubicación de la zona de estudio	24
5. Delimitación de la zona de estudio	25
6. Mapa geológico de la zona	27
7. Mapa edafológico	31
8. Mapa de uso del suelo.	33
9. Variación de la temperatura interna de cladodios, según su orientación en septiembre de 1974.	76
10. Comportamiento de la temperatura interna de cladodios según su orientación en noviembre de 1974.	77
11. Influencia estacional en la orientación de cladodios terminales.	83
12. Orientación de cladodios terminales en diferentes latitudes.	84
13. Influencia del relieve topográfico en la orientación de cladodios terminales.	85
14. Orientación de cladodios terminales a los 2 años de edad.	87
15. Orientación de cladodios terminales a los 5 años de edad.	88
16. Relación entre la RAF diaria total y el incremento de la <u>a</u> cidez nocturna.	92
17. Orientación de cladodios terminales a los 100 años de edad.	93
18. Algunos compuestos químicos en <u>Opuntia</u> .	133
19. Diagrama de fisiología y tecnología de post-cosecha.	141

20. Estructura de las nopaleras	200
21. " Quiotillo largo ", " quiotillo corto "	206
22. Pacas	207
23. Implementos agrícolas	208
24. Diagrama de los procesos de trabajo	210
25. Climograma	217
26. Diagrama de flujo de materia y energía del sistema nopalero	225
26a. Subsistema fertilizante	227
26b. Subsistema cultivo de nopal	228
26c. Subsistema comercialización	229

## I. INTRODUCCION.

La explotación de los productos derivados de las cactáceas, se ha realizado desde tiempos prehispánicos. Desde aquellas épocas, el nopal y su fruto, la tuna, han constituido para los mexicanos objetos de interés y especial atención.

El nopal y la tuna, formaba parte de la estructura básica de la agricultura, lo cual propició la formación de asentamientos humanos, que aprovecharon los diversos productos alimenticios y medicinales, obtenidos de esa cactácea.

En la actualidad, parte de este antiguo interés prevalece, debido no solo a la vasta zona y alta producción no explotada, que estos recursos naturales representan, sino primordialmente a la necesidad de establecer en el agro y por ende en el ámbito nacional, un orden socio-económico más estable y equilibrado (Valadez, 1979).

El género Opuntia, se localiza prácticamente en la mayoría de las condiciones ecológicas existentes en la República Mexicana, pues además de sus características anatómo-morfológicas, es una planta que presenta una gran diversidad de especies y ecotipos que le permiten mayor amplitud ecológica dentro de los hábitats más diversos de las zonas áridas, principalmente. Constituye comunidades con características fisiológicas específicas, formando el tipo de vegetación denominado matorral crasicaule, el cual ocupa casi -

3 millones de ha., distribuidas principalmente en los estados de - Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hi dalgo, Chihuahua, Tamaulipas, Durango y Aguascalientes.

Las Zonas Aridas, vastas regiones que no han sido estudiadas lo suficiente como para arrancar los mitos de sus plantas y lograr un óptimo aprovechamiento de ellas, es una de las zonas más casti gadas climática y económicamente. En el 40.5% de la superficie que corresponde a ésta zona se encuentran 502 municipios con una pobla ción de 7,793000 habitantes, en estos municipios, la miseria se tor na dramática y toma niveles indescriptibles.

El género Opuntia (nopales) incluye especies que se utilizan en la alimentación del ganado en gran escala en regiones de poca preci pitación pluvial, así como especies que proporcionan frutos (tunas) de bastante estimación, además de aquellos que el hombre aprove cha directamente consumiendolos como cladodios tiernos (nopalitos). Así pues, el nopal puede ser un recurso importante en la economía rural y de la región en general por los altos rendimientos que se - pueden obtener en tunas y pencas para forraje y alimento humano en estas regiones (Martínez, 1967).

Actualmente en México, se ha estado explotando el nopal en la zona norte como forrajes, en el centro como fruta y verdura princi palmente y en el sureste como verdura.

El aprovechamiento del nopal como verdura para el consumo humano en fresco constituye una parte importante en la economía familiar de los habitantes de ciertas regiones del país, en donde éstas presentan por una parte las condiciones ambientales propicias para el cultivo y por otra, existen los hábitos alimenticios de la población que dan a los nopalitos una cierta importancia dentro de la dieta.

Dentro del contexto de nuestra geografía, el Valle de México, ocupa un lugar preponderante en la producción del nopal para verdura. Destacando como mayores productores las localidades de Milpa Alta, Distrito Federal.

La importancia que tiene la producción lograda en Milpa Alta, y la falta de información sobre ésta y su proceso de producción, han sido factores que generan la inquietud de hacer en el presente trabajo un estudio del sistema de producción agrícola del nopal para verdura, en éste lugar, sin caer en el tecnocratismo o el ecologismo, es decir, entender la producción agrícola de una organización social determinada en función únicamente de las ganancias, o que con un método ecológico se le asigne al sistema de producción agrícola las categorías de fenómenos ecológicos y se pretenda integrar al hombre como un organismo de tal y no como un ser social.

Así pues, se entenderá el proceso de producción agrícola como una actividad social, producto del desarrollo histórico de los

grupos humanos que la practican y de ésta manera se realizará el estudio.

La importancia al estudiar los aspectos históricos de la producción agrícola, radica en definir cuales han sido los elementos que han intervenido y que impulsan el desarrollo de las fuerzas productivas (fuerza de trabajo, técnicas de trabajo y medios de producción) es decir, cuáles condiciones sociales y naturales han provocado el surgimiento y la evolución de las técnicas de producción agrícola de la zona.

Así también, se estará en posibilidades de señalar cuales son las determinaciones y condiciones del proceso productivo del nopal en Milpa Alta y qué objetivos tiene éste en dicho lugar. Aunado a esto, se plantea realizar una revisión bibliográfica sobre el nopal. Y en última instancia, se podrá plantear como alternativa su cultivo en las zonas áridas y semiáridas, con la finalidad de elevar las condiciones socio-económicas de dichas regiones.

## 2. OBJETIVOS.

- 2.1. Establecer una revisión bibliográfica acerca del género - Opuntia, en su enfoque fisiológico, genético, agronómico, etc., con la finalidad de recapitular la información dispersa de este género, y así; sustentar las bases reales para posteriores trabajos.
- 2.2. Definir las características, estructuras y función del sistema de Producción Agrícola del nopal para verdura (Opuntia ficus - indica) en Milpa Alta, D. F.
  - 2.2.1. Determinar el razonamiento y tecnología de manejo de los campesinos sobre el recurso nopal, en Milpa Alta.
  - 2.2.2. Obtener un modelo diagramático descriptivo para el sistema nopalero de ésta zona mediante un diagrama de flujo de materia y energía, utilizando la simbología propuesta por Odum (1981).

### 3. METODOLOGIA.

Esta se llevó a cabo, cubriendo los siguientes puntos:

- A. Determinación del área de estudios.
- B. Caracterización estructural del sistema.
- C. Estructura agrosocial del sistema.

La manera específica de cada punto es la siguiente:

#### 3.1. Determinación del Área de Estudio.

En este punto se realizaron.

##### 3.1.1. Recorridos de campo.

##### 3.1.2. Revisión de cartografía del D.E.T.E.N.A.L.

3.1.2.1. Revisión de mapas topográficos.

3.1.2.2. Revisión de mapas climáticos

3.1.2.3. Revisión de mapas edáficos.

3.1.2.4. Revisión de mapas geológicos.

3.1.2.5. Revisión de mapas de uso potencial del suelo

3.1.2.6. Revisión de mapas de uso del suelo.

3.1.2.7. Revisión de mapas de vegetación.

##### 3.1.3. Revisión bibliográfica sobre la zona.

#### 3.2. Caracterización Estructural del Sistema .

Este aspecto se cubrió:

##### 3.2.1. Puntualizando en los siguientes aspectos.

3.2.1.1. Límites del sistema.

- 3.2.1.2. Elementos o componentes del sistema (plantas, parásitos, hombre, etc.)
  - 3.2.1.3. Análisis de los factores, interrelaciones y razonamientos que determinan la funcionalidad del sistema (ésto es, a la manera empírica que tienen de llevar a cabo sus técnicas de producción, darle el razonamiento teórico científico en aspectos de microclima, nutrientes, fertilizantes, características genéticas y fisiológicas, etc.)
  - 3.2.1.4. Determinación de las entradas y variables al sistema que permitieron la actividad de éste (fertilizantes, agua, energía solar, etc.)
  - 3.2.1.5. Análisis de las formas de retroalimentación del sistema.
- 3.2.2. El sistema así fué analizado e integrado mediante el lenguaje de circuitos propuestos por Odum (1981), (fig. 1).
- 3.3. Estructura Agrosocial del Sistema.
- 3.3.1. Se determinó la estructura agrosocial e histórica del sistema mediante:
    - 3.3.1.1. Entrevistas abiertas acerca de los procesos de trabajo.
    - 3.3.1.2. Revisión de censos.
    - 3.3.1.3. Pláticas con las autoridades de la región (ejidales, delegados, etc.)

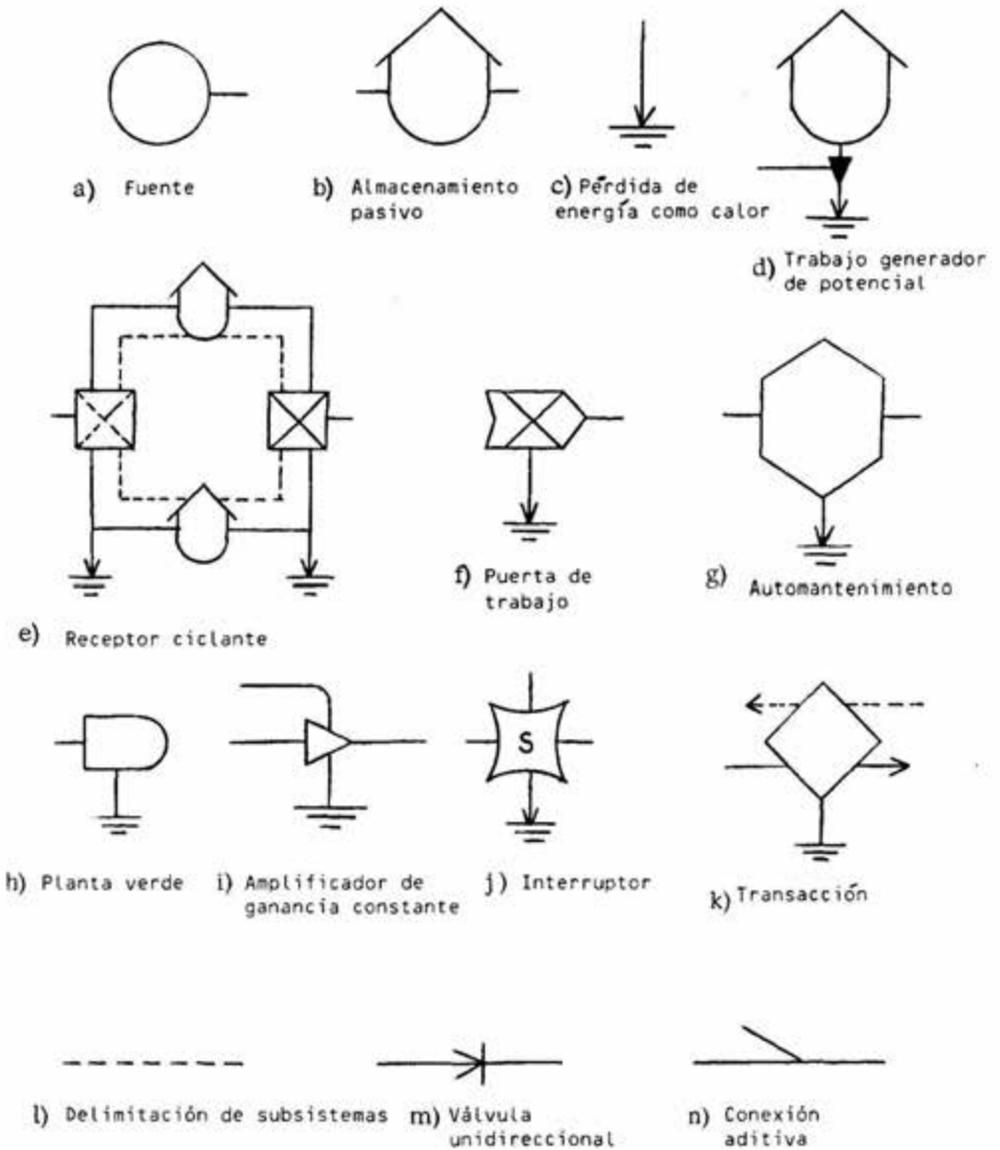


Fig. 1. Lenguaje de circuitos propuesto por Odum (1981).

Fig. 1. Lenguaje de circuitos propuestos por Odum, (1981)

a) Este símbolo representa una fuente de energía, como el sol. b) Indica el lugar de un sistema destinado al almacenamiento pasivo, como combustible en un depósito. c)  $\overline{R}$  presenta que en todo proceso real parte de la energía potencial, se transforma en calor (2° principio de la termodinámica) d) Es una combinación de b) y c), que representa el almacenamiento de nueva energía potencial; es unidireccional debido a las pérdidas de energía y a las interacciones con otros flujos. e) Este símbolo representa la recepción de energía ondulatoria pura, como la luz. f) simboliza que un flujo de energía determinado hace posible otro flujo de energía. g) Es la combinación de d) y f), en la cual la energía potencial almacenada en uno o más lugares del subsistema se realimenta para realizar trabajo en esa unidad. h)  $\overline{-}$  En este símbolo, se combinan g) y e). La energía capturada por una unidad de receptor-ciclante pasa a una unidad de automantenimiento que también mantiene funcionando la maquinaria de receptor-ciclante y devuelve a éste los materiales necesarios, como las plantas verdes. i) Representa la cantidad de energía suministrada por el flujo superior para aumentar la fuerza en un factor constante, a lo que se llama ganancia (también es unidireccional) j) Este símbolo  $\overline{-}$  se usa para flujos, para acciones de conmutación, que pueden ser conexiones y desconexiones simples, como es el caso de muchas actuaciones de los organismos y del hombre. k) Se usa para los sistemas en los que además de los flujos de energía, hay ciclos de dinero. El dinero fluye en dirección opuesta al flujo de energía y el concepto de precio, que se maneja en los negocios humanos, actúa haciendo que un flujo esté en proporción al otro. l) Indica los límites de los subsistemas de un sistema. m) Permite que el flujo pase en una dirección; se usa una flecha normal sin barra si no hay contrafuerza, procedente de almacenamientos situados corriente abajo. n) Intersección de dos flujos de tipo energético similar, que se pueden sumar.

#### 4. MARCO TEORICO CONCEPTUAL.

##### 4.1. El Hombre y el Aprovechamiento de los Recursos.

La forma especial en la que el hombre desarrolla sus actividades productivas ha generado una serie de corrientes que explican la relación sociedad y medio geográfico.

Así, podemos hacer alusión a la teoría del Determinismo Geográfico, la cual considera que las variantes ambientales, ya sea - que se determinen por abundancia o carencia de recursos en un espacio dado, imponen a la sociedad su riqueza o pobreza como una ley donde el recurso marcará puntos de aprovechamiento abundante o escaso.

Otra corriente denominada la Posibilidad Geográfica, hace referencia a la relación recíproca entre el hombre y el medio ambiente, donde el hombre aprovecha los recursos del medio según su potencial técnico, dando como consecuencia la transformación del ambiente, formando lo que se ha denominado ecosistema humanizado; - en esta corriente se tiene, por un lado al hombre y a la naturaleza por el otro; de esta dualidad el primero explota y somete al segundo.

Finalmente, la tercera posición es la Relación Dialéctica entre el Hombre y la Naturaleza, en esta corriente existe una concepción histórica de la relación (y proceso que implica) que integran la so-

ciudad humana y el medio ambiente; de ella surgen las relaciones sociales de producción que generan el desarrollo de las fuerzas productivas y dependiendo del grado de desarrollo de éstas, el hombre determina el nivel de aprovechamiento del medio ambiente, que es el objeto de trabajo (Nelson, 1977).

#### 4.1.1. Sociedad-Naturaleza.

Los mecanismos de producción de los ecosistemas naturales están regidos por leyes ecológicas. La producción en los ecosistemas humanos, en cambio, se fundan en leyes económicas y sociales que dependen del sistema político que las enmarca. Productividad, en economía, significa la mayor eficiencia obrera y tecnológica para producir elementos de consumo, y productividad en un ecosistema natural, es la capacidad de los vegetales para acumular energía química. De lo anterior, se deduce que al analizar el funcionamiento de un ecosistema humano no es correcto hacerlo basándose únicamente en los flujos energéticos porque también debería tenerse en cuenta el sistema económico y social en el que se encuentra enclavado.

Así pues, es un error conceptual establecer una separación entre el hombre por un lado, y el ambiente, por otro, como si estuvieran escindidos. Es necesario superar la concepción dualista de hombre-naturaleza. La sociedad global humana debe analizarse

como formando parte del ambiente, comprendiendo que su evolución esta condicionada por la naturaleza. A su vez, el hombre modifica en parte a la naturaleza (Márquez, 1976).

De los factores ambientales, el menos estudiado por la ecología tradicional es el sociocultural. La mayoría de los ecólogos ha soslayado el análisis de la sociedad global humana, como si ésta no formara parte de los ecosistemas; cuando en rigor debe ser estudiado en sociedades históricas concretas, porque las diferentes formaciones sociales han determinado un comportamiento distinto con relación a la naturaleza.

El hombre aprovecha los recursos terrestres, acuáticos y en general la naturaleza para proveerse de abrigo y alimentos, para lo cual el hombre intercambia energía en diferente forma y contenido.

En el proceso de intercambio de energía con la naturaleza el hombre crea o desarrolla tecnologías y establece relaciones sociales de producción.

De acuerdo a la naturaleza humana el hombre genera sistemas de creencia y concepciones del mundo dando como pauta una cultura que influye y determina la forma de apropiarse de los recursos naturales.

En el proceso de las relaciones de estructuración social contra la naturaleza se genera la división social del trabajo, así como

la acumulación de los bienes del trabajo, la apropiación de los medios de producción, la generación de excedentes de la producción, - el establecimiento de centros de intercambio de mercancías.

El desarrollo de las relaciones sociales y relaciones de producción, generan normas y esquemas de valores sociales contrastantes ubicados en una ecoregión objetiva que ejerce el modo de - producción.

El comportamiento y el ímpetu de la sociedad ante el sistema ecológico está en alguna medida determinado por la tecnología de - producción y porque el hombre se relaciona con su medio a través del trabajo, las relaciones con los demás hombres conforman un sistema de organización particular, reflejado en la forma de apropiarse y repartirse los beneficios de la producción (Bassols, 1972).

La figura 2, muestra el desarrollo social e histórico.

#### 4.2. Sistemas.

De la forma de abordar la investigación sobre determinados - campos y objetos de estudio, ha resultado una visión atómista, la cual sectorisa el conocimiento en miles de especializaciones; contraria a ésto, la teoría de sistemas trata de abordarlo en su sentido holístico, es decir como un todo. En este sentido se genera como una alternativa el uso de sistemas para abordar el estudio - de la región en forma integral.

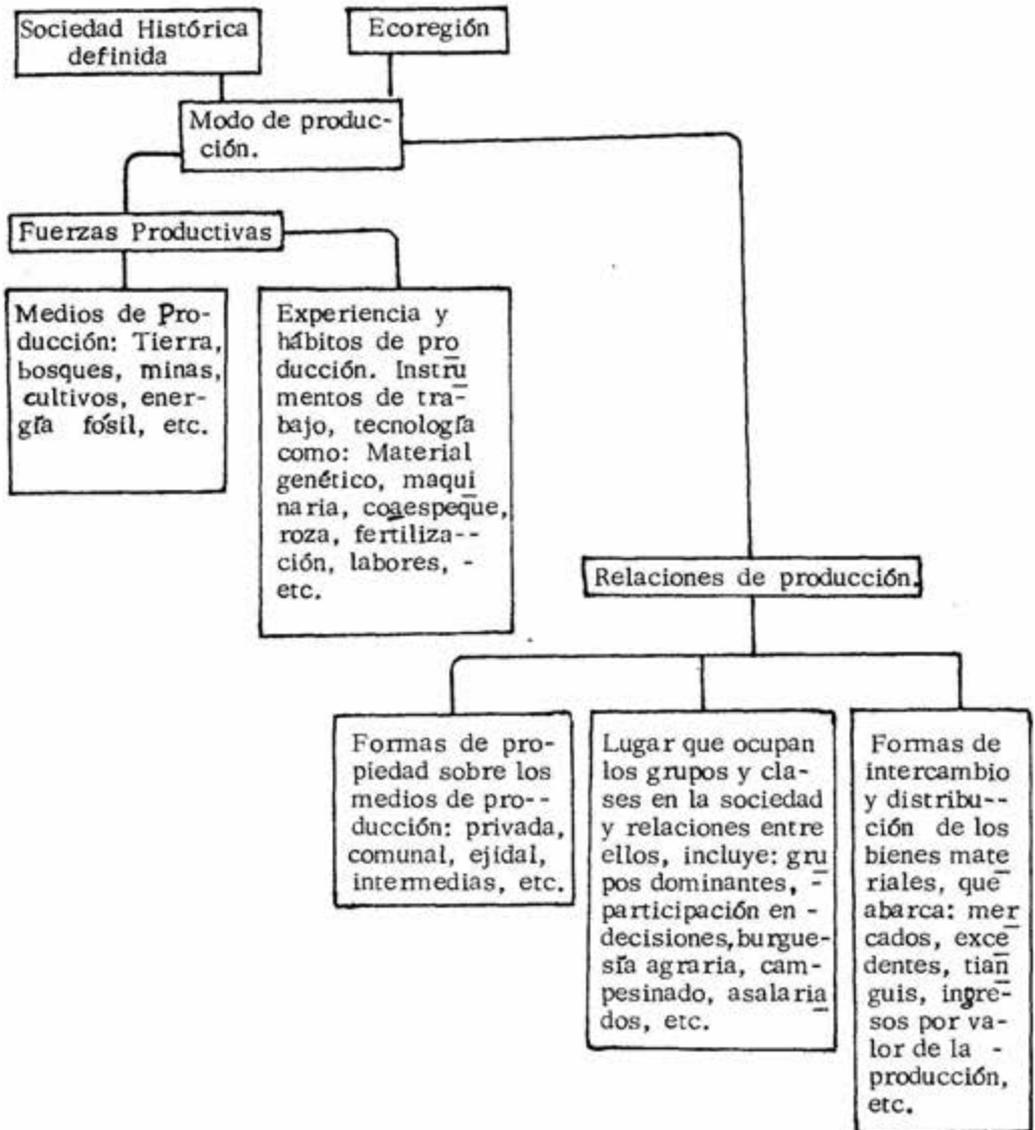


Figura 2. Desarrollo social e histórico (Piñeiro, et. al., 1982)

Un sistema se define como un conjunto de elementos que interaccionan dentro de un espacio definido y que funciona a partir de una entrada de energía o información y salida de variantes transformadas.

Todo sistema real tiene estos cinco componentes:

- Un conjunto de elementos.
- Interacción de componentes.
- Entradas.
- Salidas.
- Límites.

Así mismo, el sistema tiene las siguientes características:

- Número de componentes.
- Tipos de componentes.
- Arreglo de los componentes.

De estos tres puntos depende la estructura del sistema, pues de la relación entre componentes y entre componentes y flujo se produce el arreglo característico de los componentes de un sistema dado. Si al arreglo se suma el tipo y número de componentes, el resultado es la estructura del sistema, la cual está muy ligada con la función del mismo.

La función de un sistema determinado siempre se define en términos de procesos. La función está relacionada con el proceso de recibir entradas y producir salidas, (Jorgensen, 1976 y Dutt et. -

al. 1972).

Hacer el análisis de un sistema, no es sino tratar de relacionar la estructura con la función de ese sistema.

La metodología de análisis de sistema, se basa en desglosar la complejidad en unidades o subunidades simples, el sistema puede ser abordado mediante el uso de cajas negras, que de una manera general se define como el conjunto de una clase de eventos, cada uno involucra en una unidad una entrada específica y una específica regla de asociación entre un repertorio de entradas, salidas y leyes. El concepto de caja negra no es más que la descripción de un fenómeno, convirtiéndolo, de invisible a visible.

#### 4.2.1. Sistemas de Producción.

El estudio de los sistemas de producción agrícola pueden enfocarse de diferentes maneras: desde una concepción muy ecológica, considerando los flujos de energía, ciclos de nutrientes, etc., o con una visión muy tecnológica, desde la perspectiva dialéctica de ubicar al hombre como principal promotor y manipulador del ecosistema bajo una base histórica.

Los siguientes conceptos permiten una mejor ubicación.

Ecosistema es un sistema dinámico. Las interacciones entre componentes físicos y biológicos, transformación de energía y transporte de materiales ocurre simultáneamente, es decir, ecosistema

es un sistema abierto que resulta de la suma de todos los organismos vivos y de los componentes físicos y químicos de un área determinada en el espacio y en el tiempo, que están interactuando recíprocamente.

Las propiedades generales de los ecosistemas se resumen en:

- La totalidad u holístico Se refiere al comportamiento global que no se puede interpretar tomando una de sus partes.
- La interacción entre los elementos bióticos y abióticos del sistema.
- La complejidad, dada por miles de procesos causa-efecto recíproco.

Esto ha llevado a que se recurra a la caja negra, en la que se conocen las entradas y las salidas sin preocuparse de lo que sucede dentro.

Agroecosistema, es un sistema originado por la acción del hombre sobre el ecosistema natural y tiene como objetivos la utilización del medio en forma sostenida para obtener plantas o animales de consumo inmediato o transformables.

La agricultura puede ser considerada como un proceso de producción de bienes materiales (plantas y animales), históricamente determinado, durante el cual el hombre aplica sus conocimientos (científicos), empíricos y sus habilidades manuales para obtener

una serie de productos (valores de uso y/o mercancías requeridas para satisfacer sus necesidades biológicas y sociales) (Bartra, 1980).

Uno de los enfoques unificantes para el estudio de la agricultura, ha sido la corriente de los agrosistemas de la cual también hay muchos puntos de vista contrastados y encontrados. Al respecto - Hernández X. (1981), define el agrosistema como un ecosistema mo dicado en menor o mayor grado por el hombre para la utilización de los recursos naturales en el proceso de producción agrícola, pe cu ario, forestal o de la fauna silvestre; también este autor conside ra que su estudio debe ser desarrollado considerando tres aspectos: Ecológico, Tecnológico y Socioeconómico.

Por otro lado, es necesario considerar los sistemas agrícolas como base metodológica de los agrosistemas, esto es, éste último, puede estar formado por una gran cantidad de sistemas de producción agrícola, que en última instancia, ubican a la unidad de estudios de los agrosistemas. Así, una definición de sistema agrícola se expresa de la siguiente manera.

Es el conjunto de unidades de producción que cuentan con objetos de trabajo, medios y fuerzas de trabajo similares, que bajo determinadas relaciones técnicas y sociales, realizan un proceso de producción agrícola semejante (Rama de Botánica, 1980). En este sentido un sistema agrícola es una unidad económica con recur-

sos limitados, donde en función de los objetivos del agricultor, bajo su control, el conjunto de medios de producción: tierra, agua, plantas, animales, aperos, maquinaria, fertilizantes, etc. y la fuerza de trabajo, familiar y asalariada, produce vegetales y animales útiles al hombre, los cuales en el proceso de su formación adquieren un valor económico. Esta proposición parece más acorde a la realidad histórica y social donde se desarrollan; así, los sistemas agrícolas se forman a partir de la transformación de los sistemas naturales que no son tan productivos (en términos económicos); los sistemas agrícolas no solamente son afectados por su ambiente sino que en conjunto también afectan al ambiente ecológico (con la erosión, contaminación, etc.) y socio-económico (con la emigración, desempleo, precios de producción, etc.).

Una conceptualización práctica y funcionalista en el sistema agrícola es la que propone Spedding (1979), al considerarlo como un sistema que incluye la producción agrícola y que contiene los componentes "mayores" (biológicos, insumos, bodegas, productos).

Finalmente al considerar todo lo anterior podemos anotar las siguientes afirmaciones:

- Los sistemas agrícolas llevan en sí el establecimiento de una forma particular de relación entre el hombre y la naturaleza en la que éste último constituye el medio de producción fundamental del

proceso de trabajo agrícola (suelo, agua, organismos).

- El proceso de producción agrícola desarrollado en los sistemas agrícolas es un proceso de trabajo (preparación del terreno, siembra, fertilizantes, cosecha, etc.) que se da en condiciones ambientales, sociales y económicas determinadas.
- Los límites del proceso de producción no se restringen solo a los cultivos básicos anuales sembrados en la parcela (la cual ha sido objeto único de estudio para los muchos investigadores agrícolas), ya que éstos comprenden a la actividad económico-social total de la unidad de producción (Barbosa, 1973 y Hernández X., 1981).

Así, el sistema de producción agrícola viene a ser la unidad de análisis concreta de los procesos productivos de la sociedad en una región.

## 5. DESCRIPCION DE LA ZONA DE ESTUDIO.

### 5.1. Posición Geográfica y Topografía.

La delegación de Milpa Alta, tiene una superficie de 268.63 km., se encuentra al sureste del D.F., colinda con la delegación de Tláhuac y Xochimilco al N.; al S., con el estado de Morelos; al E., con el estado de México y al O. con la delegación de Tlalpan. - (fig. 3).

La topografía en general es abrupta, sus terrenos son muy accidentados, con montañas, peregales y hondonadas. Hacia el sureste es más accidentado, se forman numerosas barrancas y cerros.

Puede considerarse que está integrada por dos zonas físicas, la primera de ellas que corresponde a la zona de valles y declives bajos, localizada al norte del territorio y que ocupa aproximadamente el 30% de ésta y la otra que corresponde a una zona montañosa con bosques de coníferas que se localiza al sur de la delegación ocupando aproximadamente el 70% de la superficie delegacional. Sus altitudes van desde 2,260 m.s.n.m. en las zonas más bajas hasta los 3,600 m.s.n.m., en las zonas más elevadas.

Los cerros más altos son:

TLALOC	3,600 m.s.n.m.
CUAUHTZINCON	3,497 m.s.n.m.
TECPALO	3,350 m.s.n.m.
OCOTECATL	3,421 m.s.n.m.

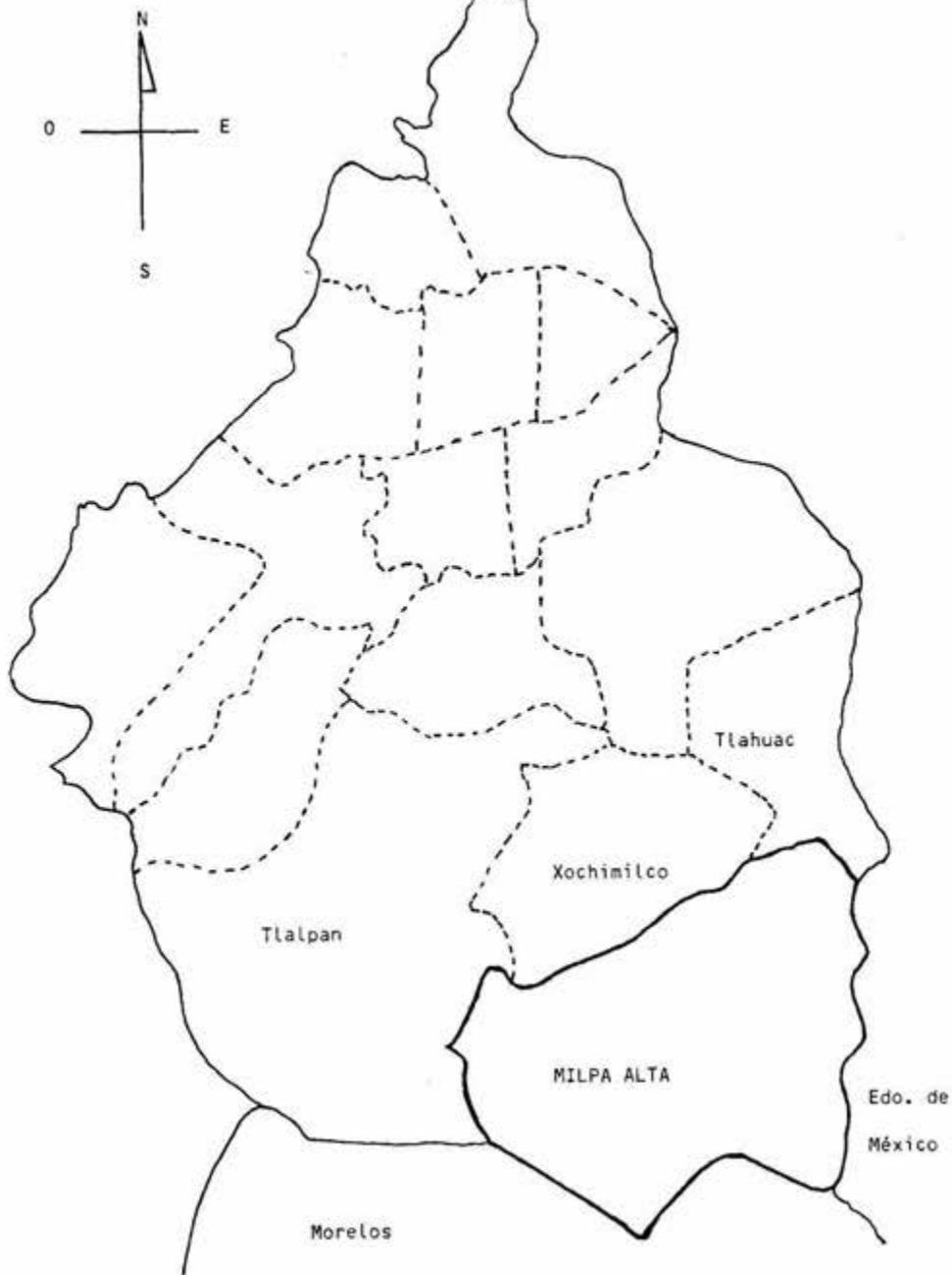


Fig. 3. Localización de la Delegación de Milpa Alta.

TULURIO	3,327 m.s.n.m.
TEUHTLI	2,712 m.s.n.m.

Tiene pedregales como la región minera del Chichinautzin.

En la región de valles y declives bajos del norte de la delegación se encuentra ubicada la zona de estudio. (fig. 4).

Las coordenadas que la limitan son:

A.	19°12'33'' 99°02'37''	Latitud N. Longitud W.
B.	19°12'33'' 98°59'20''	Latitud N. Longitud W.
C.	19°09'35'' 99°02'37''	Latitud N. Longitud W.
D.	19°09'35'' 98°59'20''	Latitud N. Longitud W.

(Fig. 5)

La altitud máxima de la zona es de 2,650 m.s.n.m. y la mínima de 2,300 m.s.n.m. Los poblados incluidos dentro del área de estudio son: San Agustín Ohtenco, Santa Ana Tlacotenco, San Francisco Tecoxpa, San Jerónimo Miacatlán, San Juan Tepenahuac, San Lorenzo Tlacoyucan y Milpa Alta. (fig. 5) Todos se comunican por carreteras pavimentadas.

Los volcanes más cercanos a dicha área son el Teuhtli (cerca de San Pedro) y el San Miguel (cerca de Santa Ana), principalmente.

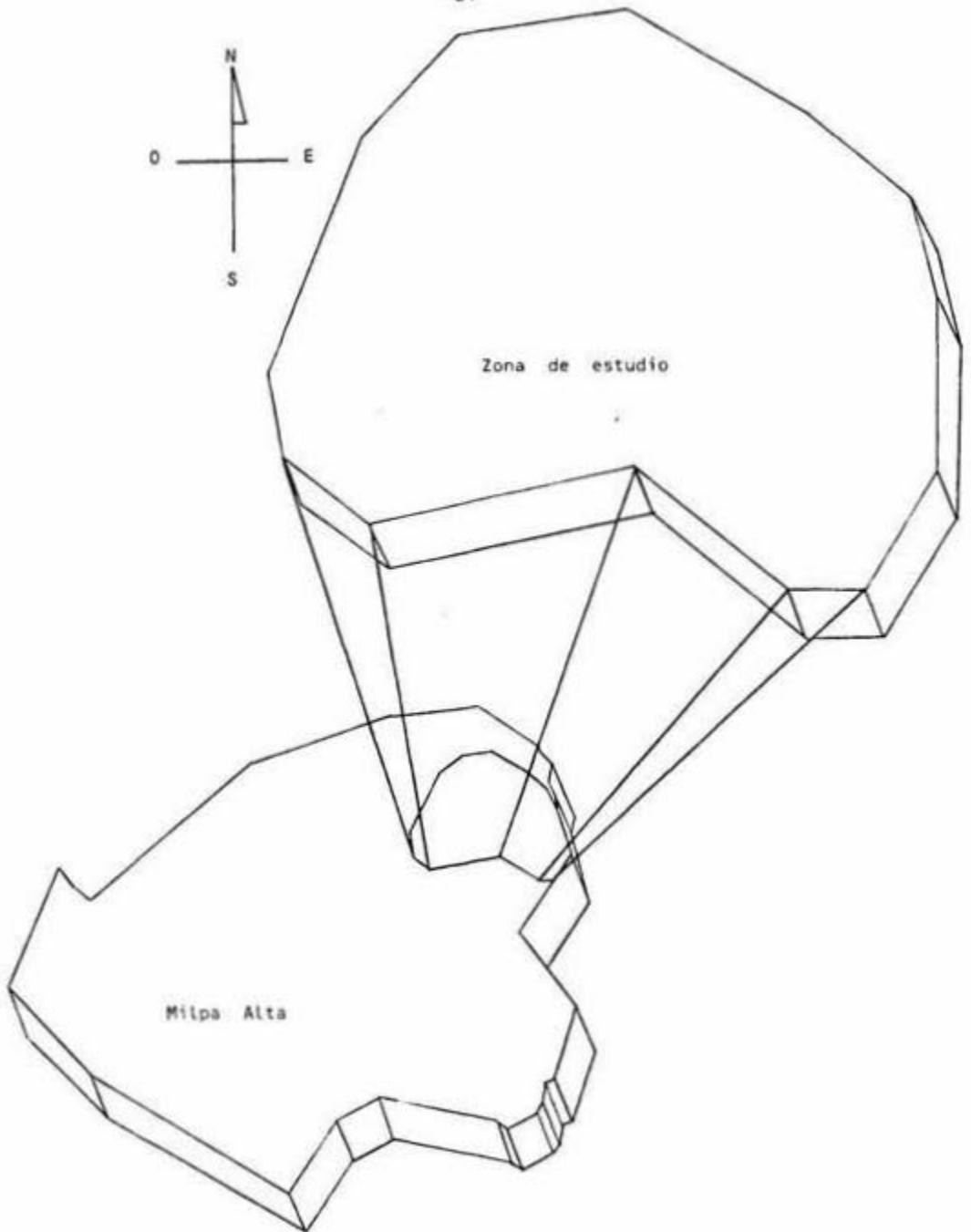


Fig. 4.- Ubicación de la zona de Estudio

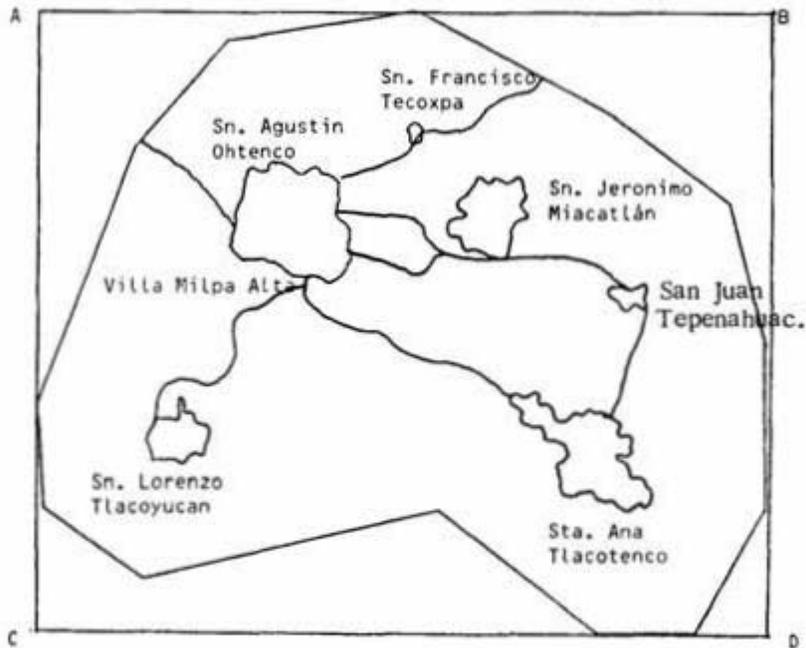


Fig. 5.- Delimitación de la zona de estudio y sus poblados.

## 5.2. Aspectos Geomorfológicos.

Para tratar este punto, es necesario hablar de la geomorfología del Eje Volcánico Transversal, ya que en él se encuentra ubicada la Sierra Nevada de la que Milpa Alta forma parte.

Así pues, el Eje Volcánico Transversal es un sistema montañoso, no del todo continuo, situado aproximadamente entre los paralelos 19° y 21° latitud norte. Se origina de la intensa actividad volcánica del Pleoceno y el Pleistoceno, está compuesto totalmente de lavas y materiales piroclásticos de aluvión y origen lacustre del Terciario y Cuaternario. Alcanza su pleno desarrollo en el Pleoceno - Cuaternario cuando dió lugar a importantes moles de rocas volcánicas de más de 5,000m. de altura, como el Popocatepetl - Iztaccihuatl y el Pico de Orizaba (López, 1979).

Entre el Valle de México y el de Puebla se interpone la Sierra Nevada, formada de norte a sur por el Cerro Tláloc, el Iztaccihuatl, y el Popocatepetl. Estos volcanes se forman al finalizar el Pleoceno; el más reciente es el Popocatepetl, que aún tiene una leve actividad fumarólica observable en el cráter (López, op. cit.)

De esta manera la geología general del suelo del área de estudio son rocas ígneas extrusivas básicas con basalto, tobas, brecha volcánica y algunos suelos aluviales (fig. 6).

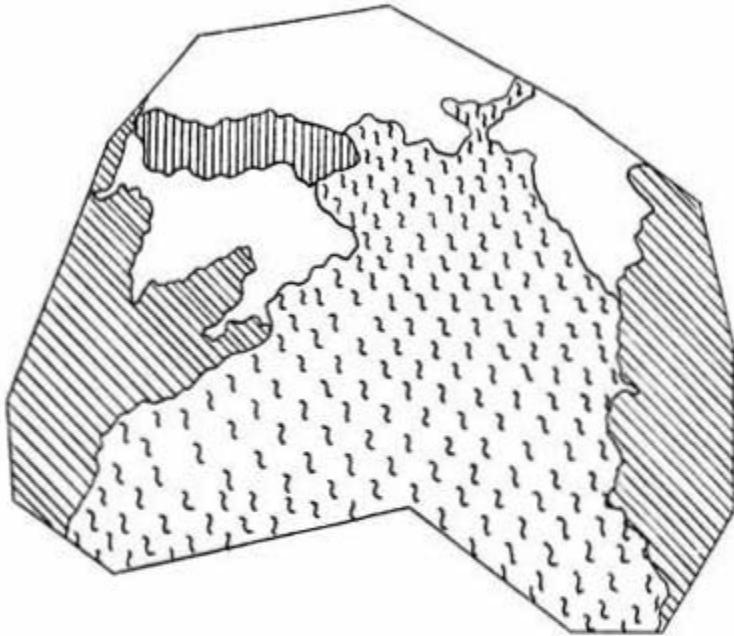
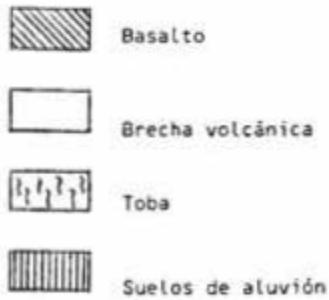


Fig. 6. Geología de la zona.



### 5.3 Suelos.

— De acuerdo con las cartas edafológicas del C.E.T.E.N.A.L. 1982, en casi toda la zona el suelo predominante es el Feozem haplico de textura media cuya característica principal es una capa superficial oscura, suave, rica en materia orgánica y en nutrientes, pero que por estar en zona de pendientes, tiene un rendimiento agrícola más bien bajo y se erosiona con mucha facilidad.

Los suelos secundarios ligados a éste son: 1) Cambisol - eutrítico, que son suelos jóvenes y poco desarrollados que se caracterizan por presentar en el subsuelo una capa que parece suelo de roca, ya que en ella se forman terrones, (además se pueden presentar acumulaciones de algunos materiales como arcilla, carbonato de calcio, fierro, magnesio, etc., pero sin que ésta acumulación sea muy abundante); también pertenecen a ésta unidad algunos suelos muy delgados que están colocados directamente encima de un tepetate, siempre y cuando no se encuentren en zona árida. 2) El Litosol, que se caracteriza por tener una profundidad de 10 cm. hasta la roca, tepetate o caliche duro, se encuentra en laderas, barrancas, malpaís, lomeríos y algunos terrenos planos. 3) Andosol - húmico, que se originan a partir de cenizas volcánicas (actividad volcánica reciente); se caracterizan por tener una capa superficial negra o muy oscura rica en materia orgánica, pero muy ácida y muy pobre en nutrientes; tienen textura esponjosa o muy suelta y son -

muy susceptibles a la erosión; para la agricultura tienen rendimientos muy bajos por tener mucho fósforo. También hay algunos suelos predominantes de tipo Litosol o Litosol con Feozem-haplico como suelo secundario, ambos con textura media.

La textura que se ha mencionado en todos los tipos de suelos se refiere al contenido en los 30 cm. superficiales de éste, de partículas de diferentes tamaños. De esta manera los suelos de textura gruesa son superficialmente arenosos y pueden tener problemas de retención de agua o de pocos nutrientes. Los suelos de textura media, son los que tienen menos problemas de drenaje, aereación y fertilidad.

Las fases físicas del terreno señalan la presencia de fragmentos de roca y materiales segmentados los cuales limitan o impiden el uso agrícola del suelo o el empleo de maquinaria agrícola entre otros aspectos. Se pueden dividir en dos tipos: superficiales y de profundidad.

Los superficiales a su vez tienen dos fases: la pedregosa que se refiere a la presencia de fragmentos de roca mayores de 7.5 cm. de largo en la superficie o cerca de ella; y la gravosa que comprende a piedras menores de 7.5 cm. de largo en la superficie o cerca de ella. La fase de profundidad se refiere a una capa de rocas duras (o conjunto de trozos de rocas muy abundantes que impiden la penetración de las raíces) que se encuentran a cierta profundidad.

idad y que se dividen en: someras o líticas y profundas o líticas profundas, éstas últimas se encuentran entre 50 cm. y 1 m. de profundidad (fig. 7).

#### 5.4 Clima.

De acuerdo a las modificaciones del sistema de clasificación climática de Köppen, realizados por Enriqueta García para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana, el clima de esta zona es C (w<sub>2</sub>) (w)<sub>b</sub> (i')g, es decir, es un clima templado húmedo, el más húmedo de los templados sub-húmedos, con lluvias en verano; la estación más seca en invierno; con poca oscilación anual de las temperaturas medias mensuales ( 5° a 7°C); con mes más caliente antes de Junio.

#### 5.5 Vegetación.

Inicialmente la vegetación de esta zona eran bosques de pinos y encinos con especies tales como Quercus magnoliifolia, Quercus conspersa, Quercus peduncularis y una o varias especies de pino como Pinus montezumae, Pinus rudis, Pinus teocote; Quercus rugosa y Quercus laurina, frecuentemente intercalados en medio de bosques de Abies religiosa y Pinus hartwegii. Posteriormente fueron bosques de oyamel con Juniperus deppeana o Juniperus flaccida con matorrales de Quercus microphylla y Alnus firmifolia (aile) surgidos como consecuencia de la destrucción de los pinos y encinos -

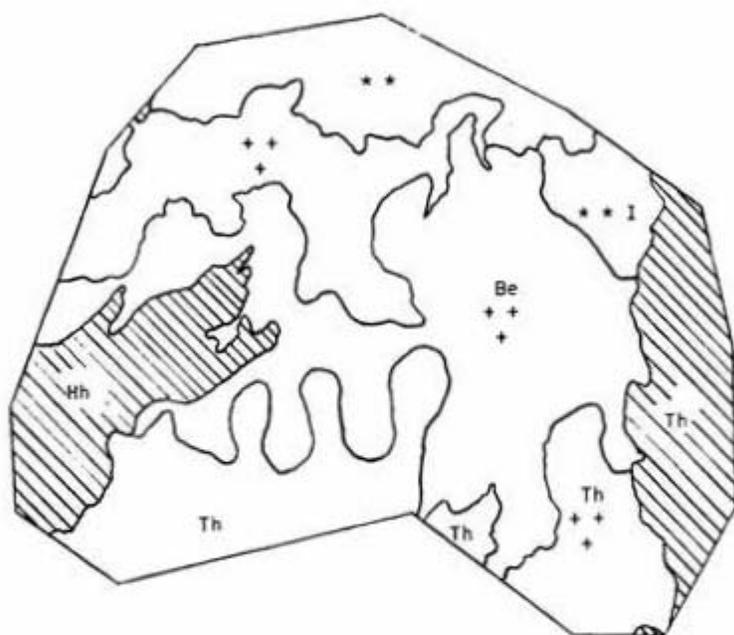


Fig. 7. - Mapa Edafológico.

Primarios		Secundarios	
	Feozem haplico	Be	Cambisol eutrico
	Litosol	I	Litosol
		Hh	Feozem haplico
		Th	Andosol humico
Fases físicas			
	++		Lítica profunda
	+		
	**		Pedregosa

por la tala inadecuada que se realizaba con los siguientes fines:

- Explotación (desmedida) para la obtención de carbón vegetal, - principalmente en el siglo pasado.
  
- Desmonte para ampliación de áreas, 1) agrícolas, generalmente para el cultivo de nopal, y en grado menor, de temporal anual (maíz) y permanente (frutales leñosos como tejocote y capulín); 2) ganaderas, utilizando comunmente el tradicional fuego como instrumento de manejo de pastos, y 3) habitacionales (Rzedows\_ki, 1981).

Actualmente las zonas de bosques está reducida al mínimo o existen fuera del área de estudio (fig. 8 ).

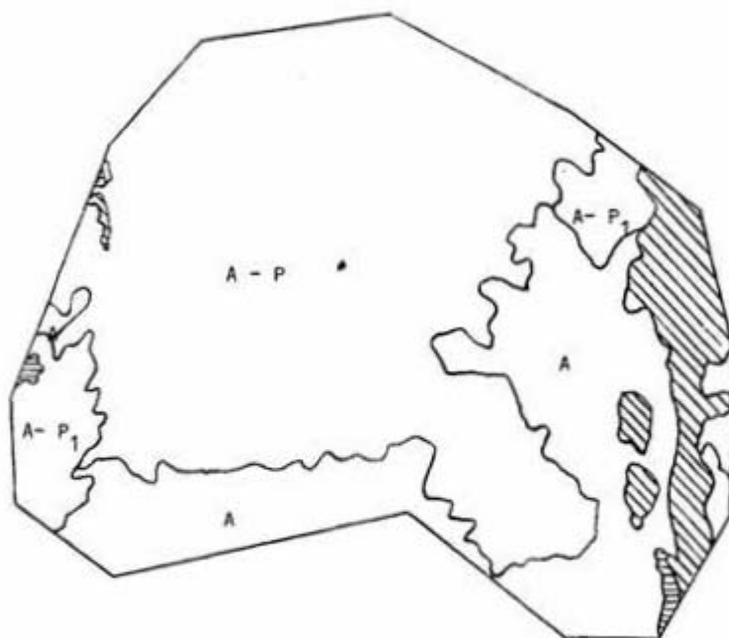


Fig. 8. Mapa de Uso del suelo.



Pastisal inducido



Bosque Natural (aile, encino, pino)



Agricultura de Temporal

A - anual

P - permanente

P<sub>1</sub> - pastisal inducido

## 6. RESULTADOS.

### 6.1. Antecedentes: El Nopal y su marco de Referencia.

#### 6.1.1. Aspecto Histórico.

El nopal ha representado desde tiempos muy remotos en América un papel importante en el desarrollo de las culturas del centro de México, asimismo en el desarrollo de grupos "chichimecas" en el centro y norte de México. Así como en algunas culturas del sureste, como son la Mixteca y Zapoteca en Oaxaca, donde el uso del nopal fué principalmente para consumo humano, como fruto y verdura (nopal delgado y nopal grueso, respectivamente) - (Mayer et. al., 1981).

Bravo (1978), menciona que en la vida económica social y religiosa de los nahoas, las cactáceas desempeñaron un papel importante; a tal grado que el geroglífico de la Gran Tenochtitlán ostentaba airesamente un nopal, símbolo que conserva el escudo del México actual; intervinieron en sus prácticas religiosas y algunas fueron elevadas a la categoría de dioses, como es el caso del peyote o jículi, por los efectos singulares que produce en el organismo cuando se ingiere; se usaron con frecuencia en la magia, pues varias de ellas, eran consideradas como talismanes capaces de alejar los espíritus del mal. Fueron empleadas como remedios en la curación de enfermedades; influyeron determinando la fundación de poblados en regiones cactíferas y se las tuvo en gran estima como -

plantas de ornato.

Barrientos (1965), indica al respecto en la revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural, lo siguiente: "El nopal en unión del maíz y el maguey se han considerado como la base de una agricultura estable entre los mexicanos". Citando a Oviedo, indica que debido a que unos nativos que se alimentaban solo de la pesca, pero que emigraban en el tiempo de maduración de tunas a las zonas de las nopaleras, cabe la posibilidad de que se hayan formado algunos pueblos en zonas donde el nopal abundaba.

Algunos términos prehispánicos que se utilizaron en relación al nopal son los siguientes:

Nochtli o Nopalli, para distinguir los tallos achatados. Diguet (1928), menciona como se nombraban algunas variedades: Atlotonochtli, de atl-agua; Azeatnochtli, de azoat-hormiga; Iztacxoconochtli, de iztac-blanco y xocotl - fruto ácido, nombre que en parte se conserva. También se designaban algunos lugares como Nocheztlan - (Nochixtlán), lugar de nochenill - cochinilla. La cochinilla daba la grana para teñir telas, por lo que era muy apreciada; prosperaba bien en el nopal nochestli (Nopales cochinilifera, Salcm Dick) (Bravo, op. cit.,) Piña (1977), afirma que Nochixtlán, Oax., solo fué un centro de concentración de dicho producto, pues no se encontraron indicios de su cultivo, aunque en la Mixteca sí. Continuando con Bravo (1978) según Clavijero (1789), los aztecas los cuidaban e incluso

sabían que podían cultivarse en otra especie, conocida como Tlaconopal. Según Mac. Gregor Loeza, la cochinilla son varios insectos del género Dactilopius (D. coceus, D. confusus, D. indicus y D. tomentoscum).

Francisco Hernández, médico de la cámara del rey Felipe II, en el siglo XVI, describe algunos nopales mediante grabados.

Bravo, (op. cit.) también menciona que Hernández (1651), da algunas características fenotípicas en cuanto al color de flor y fruto. Así los distingue por el tamaño y forma de la hoja y de las plantas, que sólo alcanzan el tamaño de un arbusto, excepto el zacanochtli y el xoconochtli, que tenía la altura de un árbol; los distingue además, por su número de espinas, tamaño y forma, e indica que florecen sólo en lugares cálidos y templados y sólo ahí maduran sus frutos; florecen dice, al comenzar la primavera y suelen fructificar con los demás árboles en estío. Tuvieron gran importancia alimenticia y medicinal; señala algunos usos medicinales como: } los frutos comidos con sus semillas a modo de alimento, detiene, - según dicen, el flujo de vientre, sobre todo si proviene de calor, - la fruta es útil para los que sufren de exceso de bilis o destemplanza cálida. Tiene una goma que templá el calor de los riñones y de la orina. El jugo o líquido destilado de ellos, es bueno contra fiebres, principalmente si se mezcla con jugo de pitahaya; se usa también en tratamientos de hernias, ericipela y úlceras. }

A principios del siglo XIX, ya se conocían en Europa numerosas especies de cactus, debido a las colectas de los expedicionarios que se unieron a los que venían a México para la explotación de las minas.

Hace tiempo, aún en la primera mitad de nuestro siglo, las especies silvestres abundaban; pero debido a las colectas exhaustivas de que han sido objeto por parte de los comerciantes sin escrúpulos, que estuvieron surtiendo los mercados, principalmente de Europa, disminuyeron en forma alarmante de tal manera que hubo que dictar leyes prohibiendo su exportación. A pesar de ello, dicha actividad ha continuado en forma de contrabando y es así como algunas especies han sido prácticamente extinguidas (Bravo, op. cit).

Los españoles diseminaron el nopal en América, España, Francia e Italia; los moros lo llevaron al norte de Africa y los portugueses lo introdujeron a Brasil, Angola e India.

Barrientos (1965), comenta que las introducciones del nopal a otros países han sido ventajosas y desventajosas. En las Canarias se utilizó con éxito para la producción de grana (cochinilla); en las regiones mediterráneas de Europa, Asia y Africa, se cultiva ampliamente y la venta de frutos es común en el sur de Italia. Por el contrario, en otras partes ha sido contraproducente, por su agresividad, al grado de que fué necesario combatirlo biológicamente por

sus enemigos naturales, Cactoblastis - coctorum y Dactilopis opun  
tia, en Australia y Sud Africa.

En la actualidad ha sido retomado en su aprovechamiento inte  
gral como: cultivo de cochinilla en Perú y España; plantas tuneras  
en Italia y el Mediterráneo; en México se forma la Promotora Na  
cional del Maguey y Nopal para generar alternativas de aprovecha  
miento de éstos. Sin embargo, todavía, en México existen serias  
deficiencias en su aprovechamiento y valorización integral.

Actualmente en México, se ha estado explotando el nopal en  
la zona norte como forraje; en el centro principalmente como fru  
ta y verdura y en el sureste de la república, principalmente, como  
verdura con el nopal delgado y el nopal grueso.

En el norte del país tienen décadas de utilizarlo y actualmen  
te gran parte de la industria pecuaria de las zonas áridas del nor  
te y centro de México tienen en el nopal un recurso forrajero de -  
primer orden, se sabe por ejemplo que para 1966 se utilizaban 600  
ton. diarias en la alimentación del ganado lechero estabulado de -  
Monterrey N. L. y 100 ton. en Saltillo Coah. (De la Cruz (1966) -  
citado por Flores et. al., 1979), las más importantes en este aspec  
to son O. streptocantha (cardon), C. leucotricha (durasnillo) y C. -  
ficus-indica, como el más recomendado para cultivo por ser una -  
especie sin espinas.

Algunas zonas como Teotihuacán y otras del Edó. de Hidalgo son reconocidas por la calidad del fruto, en particular O. amyclaea. En Milpa Alta en el Distrito Federal, se le ha dado impulso a la producción de nopal como verdura y se siembra con ese fin.

En muchos sitios de San Luis Potosí, y Zacatecas, se suele someter el jugo de tuna a proceso de deshidratación obteniéndose productos diversos como "miel de tuna" "cuajado de tuna" "melcocha" y "queso de tuna".

Muchos estados de México, principalmente los ubicados en las zonas áridas, dependen en gran parte del nopal para su subsistencia, y para la conservación de su raquítica ganadería. Por otro lado tenemos que la producción y utilización de tuna en México alcanzó en 1975, según estimaciones de la comisión de fruticultura, 2,697,850 ton. distribuidas en un área de 57,800 ha. de éstas 10,850 ha. corresponden a tipos de cultivo.

Por otro lado Blana, D. P. (1964), citado por Piña, (1977), afirma que los antiguos españoles acostumbraban llamar indistintamente "grana" o "cochinilla", tanto al insecto vivo (grana cultivada o silvestre), como al colorante.

En la mayoría de los poblados donde se cultivaba la grana se ha abandonado; estos poblados son, en el estado de Oaxaca; Magdalena, Tequisistlán, Tehuantepec, Nojapa de Madero, La Reforma, Los Tornillos, Santa María Ecatepec, Miahuatlán, Coixtlahuac, Coo-

tlán, Tepozcolula, Tlaxiaco, Chicatlán, Teotitlán, Cuilapan, Zimatlán, Yanhitlán, San Pedro Mixtepec, San Juan Guirine, San Pedro - Licayan y San Sebastian Icapa; en Puebla; Cholula Huejotzingo y Tucamalco, Guerrero, Tlapa y Omotepec. En forma silvestre se encontraba en: Teotihuacan, Autlán, Nochixtlán y Sayula del Edo. de Jalisco.

Actualmente solo se pudieron localizar restos de cultivos de grana fina en 3 poblados:

- En el Distrito de Coixtlahuaca: San Antonio Abad, (zona Mixteca), a 2000 m.s.n.m. sobre Q. polifera, "nopalcastairita".

- Rancho la Soritana Ejutla de Crespo (zona Zapoteca), a 1770 m.s.n.m. sobre Q. ficus-indica y Q. tomentosa, var. hernandezii, "Nopal de castilla" y "Nopal de San Gabriel" respectivamente.

- San Agustín Amatengo, a 2,470 m.s.n.m. sobre los mismos nopales que en el caso anterior.

Alzate, (1974), citado por Piña (1977), sugiere que las palabras grana derivó de grano y cochinita de un crustáceo mexicano así llamado, el cual se asemeja a la grana. Hernández (1651), citado por Bravo (op. cit.), declara que cochinita se deriva del latín coceum. Por otra parte el Diccionario de la Lengua Española Sopena (1941) - dice: la palabra grana deriva del latín grana cuyo plural granum significa grano. Cochinita, igualmente, deriva del latín coccinus que significa escarlata (Piña 1977).

Piña (op. cit), cita lo siguiente en cuanto a la antigüedad del cultivo de la cochinilla; la antigüedad del cultivo de la grana no se ha determinado con exactitud, aunque Clavijero y Humboldt suponen que se remota al período tolteca, alrededor del siglo X de nuestra era. Clavijero afirma que en la mixteca es donde más prospera y donde es motivo de comercio. Dahlgren indica como probable zona de origen del cultivo a Oaxaca y regiones adyacentes de Guerrero y Puebla. Pelham dice que se cultivó particularmente entre los mixtecos y zapotecos de las montañas de Oaxaca.

La grana fina fué conocida entre los Nahoas como nochixtli - indica Rojas (1954), este autor erróneamente afirma que los zapotecas la llamaban bi-aa o bi-yaa, ya que este nombre se le da a los nopales.

Las explotaciones extensivas e intensivas propiciaron el desarrollo de grandes plagas, tanto en las nopaleras como en el mismo insecto, igualmente es posible que muchas plantaciones de nopales fueran paulatinamente substituida por cultivos de maíz y otras plantas alimenticias; se pueden tomar las fechas de cultivo de cochinilla como el inicio del cultivo del nopal.

Miguel de Estete (1907), citado por Piña (1977), reporta que la grana se cultivó en el Perú desde antes de la llegada de los españoles; hay otras evidencias de que se producía y se empleaba la

grana como colorante, no solo en Perú (Lima y Ayacucho), sino en Bolivia y Chile; algunos escritores señalan que sólo se trata de cochinilla silvestre, sin embargo hay evidencias de su uso en las culturas Nazca y Chimú.

### 6.1.2. Taxonomía.

#### 6.1.2.1. Antecedentes.

De acuerdo a Bravo (op. cit.), la familia Cactaceae ha estado sujeta a variaciones en su ubicación dentro de las categorías superiores a ella; de igual manera, las entidades que la integran han experimentado cambios en su clasificación de acuerdo con los conceptos científicos y filosóficos que prevalecen en su tiempo, por la diversidad de caracteres anatómicos que los cactólogos eligieron como base para elaborar sus sistemas y por la necesidad de hacer ingresar a esos sistemas las especies que fueron descubriendo. En relación con el primer motivo, las clasificaciones de las cactáceas fueron primero linneanas, después filogenéticas y actualmente tienden a ser biológicas.

Las clasificaciones del periodo lineano, que se caracteriza por el concepto estático de la especie, perduraron hasta el siglo XIX.

Los sistemas de clasificación filogenética reflejan la idea evolucionista de Lamarck y Darwin. Los taxónomos de esta época se ocuparon en ordenar los organismos tomando en cuenta los cam

bios sucitados en las épocas geológicas, tratando de agruparlos, según su parentesco. Se introduce también el concepto geográfico, ya que se toma en cuenta la distribución de las especies.

Ultimamente, como resultado de los estudios de numerosos naturalistas que han trabajado con métodos biosistemáticos, el concepto de especie ha cambiado pues toma en cuenta un conjunto de factores como la morfología, fisiología, genética, bioquímica, ecología, geografía y fitogenética. La taxonomía por tanto, es ahora más compleja, es una síntesis de diferentes disciplinas biológicas - que tratan de elaborar sistemas de clasificación más naturales.

De acuerdo con Bravo (op. cit.) actualmente, la taxonomía de las cactáceas es complicada, ya que la mayoría de los sistemas de clasificación contienen confusiones y una enorme sinonimia. La causa principal no sólo radica en la ignorancia que se tuvo del concepto de especie, sino también en la falta de comprensión de que éstas plantas se encuentran en esta época en un proceso activo de evolución y por lo tanto de diferenciación dando por resultado que exista entre ellas intergradación de caracteres que hace difícil en la práctica delimitar las especies y los géneros. Sin embargo, aún no se puede emplear la taxonomía biológica para establecer un sistema general de clasificación de las cactáceas, pues la gigantesca labor que entraña tal sistema apenas está iniciándose. En tal -

virtud los taxónomos de las cactáceas, en sus trabajos prácticos, siguen ordenándolas según la taxonomía clásica que tiene como base la morfología, tomando en cuenta los avances de la ecología, genética, citología, palinografía, filogenia, geobotánica, fitoquímica, etc., logrados en este tiempo por los diversos investigadores de esta familia. / Así tenemos que: Entre los trabajos relacionados con problemas de anatomía, morfología y biología de cactáceas, se destacan los de Ganong (1895) y Bailey (1916) que estudian la importancia de la reducción de los vasos conductores en esta familia.

En el campo de la ecofisiología de cactáceas, podemos citar los trabajos de: Preston (1900) que hizo observaciones sobre su sistema radicular; Bedelian (1911), hizo estudios anatómicos relacionados con la adaptación a climas secos; Lee y Priestley (1924) investigaron la cutícula, su estructura, distribución y función; Penfould, (1931) estudió la anatomía de plantas como respuesta a la intensidad de luz y a la humedad del suelo; Skoss (1955), analizó la estructura y composición de la cutícula en relación a factores ambientales, así como la permeabilidad.

Revisando la bibliografía sobre la taxonomía del género Opuntia, relacionada con ecofisiología para especies de Texas podemos citar el trabajo de Anthony (1949). El más reciente trabajo de anatomía relacionado con taxonomía de Opuntia fue realizado por Conde

(1975) que analizó la variabilidad del espesor de la cutícula, la papilosis epidérmica, el tamaño y frecuencia de estomas, espesor de hipodermis, las dimensiones de los vasos y la relativa succulencia en tres Cylindropuntia y dos Opuntia comunes en el sur de Estados Unidos.

Orozco (1979) realizó un estudio de las variaciones en las características anatómicas de la epidermis de una especie en diversas localidades y entre siete diferentes especies como expresiones genéticas que permiten una mayor adaptación a las condiciones ambientales.

#### 6.1.2.2. Tipificación de Opuntia.

← Desde la época prehispánica, ya se trataba de clasificar a las cactáceas pues para designarlas había dos grupos bien definidos: el de los Nochtli que lo integraban especies de tallos articulados, discoides y aplanados y el de los Comitl que incluían los cactus provistos de tallos esferoidales. →

Los Nochtli, llamados también nopalli comprendían diversas especies que se distinguían normalmente añadiendo al radical Nochtli uno o varios términos que precisaban sus cualidades (actualmente comprenderían los géneros Opuntia, Nopalea). Así tenemos al Nopalnochestli que significa nopalli-opuntia, nocheztl-cochinilla y a su vez nocheztl, viene de las raíces noctli-tuna y eztli-sangre,

que en conjunto significa sangre de tuna.

Miller atribuye a Tournefort, el género llamado Opuntia, pues este último autor describe en 1700 el género ilustrando la flor y el fruto además de enlistar 11 especies polinomiales. La localidad específica para cualquiera de las Texas de Tournefort, fue la Isla de Couraçao (Opuntia curassavica), y Miller fue el primero que le dió validez a este trabajo, publicándolo en la edición abreviada del Diccionario del Jardinero en 1754.

No está claro el origen de Opuntia, ya que:

- Shaw (1976) dice que los griegos y romanos habían usado este nombre, que deriva de un poblado griego, para designar varias plantas con espinas (cardos, probablemente) que se encontraban en Italia y Grecia.
- Donkin (1977) menciona que se pensaba que Opuntia ficus-indica, correspondía a una planta encontrada, según los autores clásicos, cerca de Opus, capital de Opuntian Loctian (en Grecia) y de ahí, el nombre de Opuntia.
- Dillen (1732) usó el nombre de Tuna en lugar del de Opuntia, e hizo notar que Theophrastus y Plinio usaron el nombre de Opuntia para una especie de Ficus con raíces aéreas. También indica que Conrad Gesner, en 1561, hace la transferencia del nombre Opuntia de una higuera a un cactus.

- Friedrich (1775), creía que Plinio llamaba "Opuncia" a una planta que crecía cerca de Opuns en la India. Dicho nombre Mathiolus lo aplicó a un cactus en 1565.
- Linneo (1753) en la obra *species plantarum* da el nombre genérico de Opuntia a 22 especies y cita como sinónimo el nombre de Tuna. Clasificó al nopal como Cactus cochinillifera; Mullex en 1769 (citado por Bravo, 1978) lo reclasificó como Opuntia cochinillifera; a su vez Salm Dyck en 1949, (citado por la misma autora) le dió el nombre de Nopalea cochinillifera, sin embargo observó que no era tal.
- Miller (1735), en la 1.ª edición del **Diccionario del Jardinero**, adoptó el nombre genérico de Opuntia y enlistó 10 especies en el género, de las cuales, 5 se quitaron en la 8.ª edición (1768). Esta 8.ª edición fue la primera publicación válida de nombres específicos (para nomenclatura) y la edición abreviada de 1754, es la publicación válida de datos de los nombres genéricos. Miller utilizó polinomiales y buenas ilustraciones de las plantas en su trabajo.
- Willdenow (1799), en la 4.ª edición de *species plantarum*, conserva como sinónimos de Cactus todos los nombres genéricos de Miller.

De acuerdo a la clasificación de Bravo (1978), que toma como

base la de Franz Buxbaum (1958), actualmente el nopal se encuentra ubicado de la siguiente manera: Pertenece a la familia Cactaceae - Lindley; subfamilia II. Opuntioideae Schum; tribu II, Opuntieae (Britt. et. R.). Backbg y género Opuntia (Tourm) Mill, que se divide en los subgéneros: A. Cylindropuntia Eng., B. Grusonia (Reichnb.) Bravo, C. Corynopuntia (Knuth) Bravo, D. Opuntia y E. Stenopuntia Eng., que están clasificados en series; el subgénero Opuntia contiene 22 series y según Backeberg (1977), 377 especies de las cuales, de acuerdo a Bravo (1978), se encuentran silvestres en México 104 y como especies mexicanas unas 60, tal número da una idea de la gran diversidad y al mismo tiempo de su dificultad para separarlas y ordenarlas taxonómicamente.

El género Opuntia comprende plantas bien definidas, que en el caso de nopal pueden ser rastreros, frutecentes cuando tienen ramificado o arborecente cuando los cladodios viejos toman una forma cilíndrica.

Como es común en las cactáceas el género Opuntia presenta - hojas convertidas en espinas o bien carecen de ellas, pero en brotes tiernos numerosas especies presentan hojas verdaderas de vida muy corta. Las espinas son generalmente de 2 tipos: unas pequeñas agrupadas en gran número (gloquideas), comúnmente denominadas ahuates y las grandes que son, según algunos naturalistas, hojas modificadas.

La flor es hermafrodita, hemicéflicas, con el eje floral frecuentemente largo; aparecen en el canto de la penca del semestre pasado del año anterior; su color es variable, pues los hay rojos, blancos, amarillos, etc. El gineceo es ínfero sincárpico, de 3 a 8 carpelos, con óvulos numerosos sobre placentas parientales (Weniger, 1970).

El fruto es una baya polispérmica, carnosa, más o menos ovoide desnuda o espinosa normalmente comestible, es jugoso, es una baya pero es un fruto accesorio, ya que se desarrolla de un ovario ínfero. (Alvarado y Sosa 1978), también consideran que es un fruto de ciclo corto, ya que su desarrollo es de aproximadamente 120 días desde el amarre.

El fruto está formado de afuera hacia adentro, de los siguientes tejidos: tejido cortical, tejido axial, carpelos, funículos y estructuras papilares, éstos dos últimos forman la pulpa del fruto, la cáscara del fruto en este caso, en donde no existe diferenciación entre epicarpio, mesocarpio y endocarpio, ya que está constituido por tejido cortical axial y los carpelos. La capa formada por los carpelos es muy delgada y puede aún separarse del pericarpio y quedar libre del fruto maduro (Kalmbacher, 1976).

La parte comestible consiste de numerosos funículos de las estructuras papilares y de los óvulos desarrollados sobre la placenta pariental; los funículos se ensanchan, crecen y acaban por envol-

ver a los óvulos completamente hasta formar una cubierta externa. La pulpa es un pseudo parénquima formado de las estructuras papilares de la pared del carpelo y de los funículos.

Otra característica que presenta es la cavidad formada por la profundidad del tubo floral, que resulta de la separación de las partes florales e incluyendo perianto, estambres, etc., todo esto se observó en un estudio sobre Q. amyclaea de Alvarado y Sosa (1978).

Las flores aparecen en el canto de las ramas jóvenes y constan de un cáliz con un tubo oval soldado al ovario y al limbo para formar divisiones empizarradas, alguna va soldada en tubo; tépalos también empizarrados o dispuestos en varios verticilos. El perianto no tiene una definición clara entre sépalos y pétalos, las hojas del perianto localizadas hacia la parte exterior de la flor, que tienen un color verde se llaman perianto sepaloide; igualmente, las hojas del perianto que quedan adentro de los periantos sepaloide; y que tiene un color variado se llaman perianto petaloide. En la separación después de la antesis, el perianto se marchita, al igual que los estambres, el estilo y el estigma (Benson, 1969).

### 6.1.3. Fitogeografía.

Nopal es el nombre común que reciben las cactáceas del género Opuntia, éste género así como la familia son endémicos de América.

Considerando las carencias de fósiles, la gran variabilidad de las especies, la distribución localizada de otras muchas y la gran

cantidad de formas de transición se estima que las cactáceas forman una familia de reciente diferenciación filogenética. Por otra parte, poniendo como base las similitudes morfológicas se piensa que esta familia derivó de las portulacáceas, algunos especialistas opinan que el centro de dispersión de las cactáceas podría localizarse en México, puesto que aquí existe el mayor número de géneros e individuos, otros investigadores suponen que existen dos centros de diversificación: uno situado en el norte y otro en el sur del continente y que ambas zonas están separadas por el Istmo de Panamá, cuyo clima impide la progresión de los taxa de un lugar a otro. (Piña, 1977).

La teoría más aceptada es que el centro primitivo de diferenciación fué el sistema del Golfo de México y del Caribe, desde donde emigraron para constituir las dos zonas categóricas actuales, una en América del Norte y otra en América del Sur.

El género Opuntia, se encuentra distribuido desde la provincia de Alberta, en Canadá, hasta la Patagonia en Argentina. Se les encuentra principalmente en las zonas desérticas del sur de Estados Unidos, en las de México y en las de América del Sur. En la altiplanicie mexicana, éste género crece en suelos pedregosos sujetos a temperaturas extremas y sequías prolongadas (Bravo, 1937; Flores y Aguirre, 1979).

Las diferentes adaptaciones morfológicas que poseen las cactáceas, que les permiten tolerar los rigores de los climas áridos también han sido descritas por los autores anteriores.

Según Carrera (1952), citado por Barrientos (1965), los españoles diseminaron el nopal en América, España, Francia, e Italia, - los moros lo llevaron al Norte de Africa y los portugueses lo introdujeron a Brasil Angola y la India.

Barrientos en el mismo año, también menciona a Novaes (1900) - diciendo que en ésta época era muy común en Portugal España, - Argelia, Túnez, Córcega, Canarias e Italia. En Italia para ésta época, ya se cultivaba con fines forrajeros para ovinos, bovinos y porcinos.

En México, según Rzedowski (1959), las zonas áridas y semi-áridas abarcan de 50 a 70% de su territorio. Las plantas ahí ubicadas están sujetas a fuertes presiones del medio ambiente, pudiéndose citar entre otras: luz solar intensa, temperaturas altas y precipitaciones pluviales medias escasas y mal distribuidas.

La acción de este conjunto de factores ambientales ha determinado la formación de modificaciones morfofisiológicas que adaptan a las cactáceas al xerofitismo, encontrándose su máxima expresión en el género Opuntia.

La distribución geográfica en México de este género puede es

tablecerse de acuerdo con algunas asociaciones donde se presenta - éste, así, según Rzedwsky (1981), éste se ubica en el matorral sub tropical, en Jalisco y Aguascalientes en alturas hasta de 2,000 - m. s. n. m.

Rzedowsky y Mc. Vaugh (1966), describen un bosque espinoso - en asociación con Prosopis, Acacia, Ziziphos y Guajacum, y otras especies características de este tipo de vegetación; lo mencionan - como pastos en el noroeste de Jalisco con Acacia Schaffneri.

Gentry, (1957), describe el pastizal con cactus acacia, donde los elementos dominantes son Acacia Shaffneri, Opuntia spp. y Prosopis en Durango y Zacatecas.

Muller (1939), cita a una especie de Sabana con Prosopis y - Opuntia en el estrato arbustivo del pastizal de Bouteloa tífida, Acis tida parparea y otras.

↳ En alguna porción del Estado de Hidalgo, Tlaxcala y México - el cultivo del nopal para tuna va ganando cada vez mayor superficie.]

En las variadas composiciones florísticas de matorrales xero - filos las cactáceas encuentran su nicho ecológico. Estos matorra - les son ricos en endemismos tanto en nivel específico como genéri - co y por lo tanto se halla muy individualizada como tal. Difiere - drásticamente en la flora de las zonas de clima árido de la gran - cuenca de los Estados Unidos, muestra en cambio gran afinidad a la de algunas partes secas de Sudamérica, sobre todo con la región -

preandina. A nivel local existe suficiente grado de similitud entre las flores de las diferentes zonas áridas de México para postular a grandes rasgos un origen común a todas ellas; sin embargo presentan diferencias significativas entre la región árida Sonorense y la Chihuahuense; por su parte la de Baja California se encuentra bien caracterizada al igual que la del Valle de Tehuacán y de Cuicatlán de Puebla y Oaxaca.

Shreve (1951), describe del noroeste de Sonora y del este de Baja California el Matorral de Larrea tridentata, Ambrosia dumosa, en sitios con clima menos desfavorable (precipitación mayor de 100 mm.), donde la cobertura puede alcanzar el 20% y a lo largo de las vías de drenaje o en lugares con declive pronunciado aparecen Opuntia, Prosopis, Cercidium, Fouqueria, Acacia.

En San Luis Potosí y Zacatecas se encuentra a Opuntia en el Matorral de Larrea-Florística con Acacia, Prosopis, Rhus, Mirtilocactus.

El matorral micrófilo de Prosopis juliflora, cuya distribución es discontinua y tolerante a condiciones de deficiencias de drenaje y de cierta salinidad del suelo. Los arbustos altos que con frecuencia acompañan a Prosopis son especies del género Celtis, Koebelina y Opuntia con lo cual éste se constituye manifiestamente en un matorral espinoso.

En la parte Occidental de la Altiplanicie, desde Chihuahua hasta Zacatecas pasando por Durango, sobre laderas de cerros de naturaleza ignea y a veces en suelos aluviales, hacia el extremo sur de su área de distribución, Fouqueria convive con especies conspicuas de Opuntia.

En el matorral de Acacia vernicosa, en suelos someros de llanuras calcáreas existe Opuntia.

Así también se encuentra con Prosopis en el este de Coahuila, norte y este de Nuevo León (Rojas et. al., 1966) y zonas adyacentes de Tamaulipas en un matorral abierto de 1 a 2 metros de altura.

Así mismo, el matorral micrófilo de la región árida próxima a Vizarrón y Tolimán, Qro. y algunas partes de Hidalgo como laderas de pendientes pronunciada con suelos derivados de caliza, margas o lutitas.

Opuntia se encuentra también como codominante en las cercanías de la costa de Sonora en un matorral alto sarcocauléscente, en la región de Libertad (Shreve, 1951).

Al este de Calmalli en la franja costera oriental de Baja California, se encuentra en un matorral que cubre un 15% de la superficie del suelo que está compuesto de Larrea tridentata, Bursera microphyla, Fouqueria splendens, Jatropha cuneata y Opuntia cholla, como dominante. Esta última forma parte importante, junto con Pachycereus, Lophocereus y otros de la biomasa

en la mitad meridional de la Península de Baja California.

Opuntia, es componente sobre abanicos aluviales próximos a - Mulejé en las estribaciones del curso de las 3 vírgenes cerca de - Santa Rosalía.

Se encuentra en el segmento de la Península de Baja California entre los paralelos 28° y 29° como parte de la asociación florística, (Shreve, 1951), también al sur de la Península es abundante en los - terrenos arenosos cerca del litoral entre la Purísima y Comondú, - existe una comunidad abierta con Opuntia cholla, Encellia farinosa y Ambrosia magadalena como dominantes.

Así mismo, se encuentra en las extensas llanuras de la Magdalena en matorrales densos (40 - 90% de coberturas), con Prosopis y Lycium como dominantes y en condiciones menos favorables, al sur de Refugio (Shreve, op. cit.)

Hacia el norte de Sonora en la región de suelos someros de - las laderas de los lomeríos y elevaciones medias.

En Nuevo León prevalecen Acacia, Cordia, Opuntia, Pithecellobium, en la base de la Sierra Madre Oriental.

La parte central de Zacatecas y algunas zonas adyacentes, de Durango, Aguascalientes, Jalisco, Guanajuato y San Luis Potosí, - presentan como cubierta vegetal un matorral de Opuntia, siendo las principales especies dominantes de esta nopalera O. streptacantha y

O. leucotricha (Rzedowski, 1959). Esta comunidad se desarrolla - preferentemente sobre suelos someros de laderas de cerros de naturaleza volcánica aunque también desciende a suelos aluviales contiguos con precipitaciones de 300 - 600 mm. y temperatura de 16° C. a 22°C., asociadas con Myrtillocactus geometrizans y a veces con Lemaireocereus en algunas áreas de San Luis Potosí y Guanajuato.

Este matorral crasicale de O. streptacantha más o menos modificada se extiende más al sur a través de Guanajuato, Queretaro, Hidalgo hasta llegar al valle de México.

En la Cuenca del Papaloapan pero a altitudes de 2,400 y 2,700 m.s.n.m. y sobre sustrato de roca ígnea se han observado matorrales en que prevalecen O. macdougaliana, O. huajuapansis con mimosas, Senecio, Burseras, Ipomoea, etc., (Rzedowski, op. cit).

En términos generales la superficie aproximada que ocupan es de 3 millones de has. Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Chihuahua, Tamaulipas, Durango, Aguascalientes, principalmente.

La mayor cantidad corresponde a lugares secos y calizos que tienen escasa altura sobre el nivel del mar, aunque también se encuentran en el altiplano, en la parte norte de esta zona se han desarrollado ampliamente las cilindriopuntias.

Las Platynopuntias tienen su centro de distribución en los estados de San Luis Potosí, Zacatecas y Aguascalientes, extendiéndose

hacia el sur especialmente por los estados de Queretaro e Hidalgo, a excepción del nopal "cuijo", cuya zona de distribución se extiende por la frontera norte de la República Mexicana, Sonora, Chihuahua, en la región de Palo Chino al Sur de Ciudad Juárez, centro - de San Luis Potosí y Guanajuato.

Además podemos encontrar nopales en el trayecto de la carretera Veracruz - San Andrés Tuxtla, de la misma manera encontramos su distribución, muy poco mencionada, en el Valle de Tlacolula y Mixteca, principalmente debido a la cochinilla.

De las nopaleras, Velázquez (1962) menciona 2 grandes zonas de acuerdo a su uso:

ZONA NORTE: Coahuila - Neolonesa - Tamaulipeca donde el uso del nopal es como forraje en épocas de secas.

ZONA CENTRO: Centro - Potosino - Zacatecana, con especies para producción de tuna y verdura en el primer renglón y forraje - por último.

En cuanto a su uso, podríamos agregarle una zona más - aun que todavía es discutible, la del sureste cuya importancia sería - para la producción de verdura, así como forraje en Teotitlán del Valle, Mitla y Tlacolula.

Sin embargo Marroquín, et. al. (1964), distinguen tres zonas nopaleras en la porción Centro-Norte del país que son:

ZONA NOPALERA POTOSINA - Zacatecana que incluye partes territoriales de Aguascalientes, Jalisco, Durango, y Guanajuato.

ZONA NOPALERA DEL NOROESTE - Que comprende norte de Tamaulipas y N.E. de Nuevo León.

ZONA NOPALERA DIFUSA - que se extiende de sólo las partes calizas de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, hasta Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua.

Es claro pues, que esta zonificación es en base a la abundancia de nopal y su incidencia natural.

Predominantemente las especies características son O. streptacantha, O. leucotricha, O. cantabrigiensis, O. lindheimeri, O. imbricata.

Por otra parte la distribución de las especies más importantes tenemos las siguientes en base a lo reportado por Velázquez - (1962).

La O. streptacantha, forma nopaleras extensas en San Luis Potosí con altas densidades, en Zaragoza; N. de Santa María del Río; llanuras de Villa Arriaga y al Norte de la capital al noroeste de Bocas y sureste de Moctezuma. Con densidades de 200 a 600 individuos por hectárea entre San Luis Potosí y Santa María del Río, límites de San Luis Potosí con Zacatecas; en San Martín, Vi-

Ila de Arriaga, Noria de los Angeles, Ojo Caliente, Troncoso y -  
Guadalupe.

La distribución de Q. leucotricha "duraznillo" se localiza -  
más al norte, Guanajuato, este de San Luis Potosí, con distribu-  
ción bastante irregular constituyendo manchones con densidades va-  
riables. Entre Santa María del Río y San Luis Potosí, suroeste  
de Villa de Arista con altas densidades por Ha. Fresno y Cale-  
ra formando densas nopaleras asociados con Yucca spp.

Q. streptacantha llega a desaparecer antes de los 24° de la-  
titud , en cambio Q. leucotricha aparece desde los 25° ó 30° de -  
latitud norte con bajas densidades hasta sobrepasar los 25° de la-  
titud norte con grandes varianzas en su densidad.

Q. lindheimeri, llega a tener densidades hasta de 1,000 indi-  
viduos por hectárea como en Nuevo Laredo, Tamaulipas y en -  
los siguientes municipios de China: Gral. Torán, Salinas, otros;  
así como los estados de Guerrero, e Hidalgo.

Se caracteriza también una zona por ser la de mayor diver-  
sidad de especies de nopal, que comprende la región de Malpaso  
en el suroeste de la ciudad de Zacatecas.

#### 6.1.4. Ecología del Nopal en México.

La mayoría de los cultivos que actualmente se explotan co-

mo maíz, frijol, algodón, hortalizas, frutales, etc., requieren generalmente de buenas condiciones para su desarrollo y fructificación. Condiciones que se les debe proporcionar si éstas no se presentan naturalmente, es decir, hay que modificar el ambiente creándoles el requerido; desde formarles un microclima (invernadero), hasta el - darles lo más necesario como sería en orden de importancia: - agua, laboreo, fertilizantes en grandes cantidades, pesticidas, etc. Esto aunado a estudios de mejoramientos genéticos que se han hecho sobre dichos cultivos, resulta costoso, además de provocar un desequilibrio genético en el estado silvestre de la planta que se desarrolla en su ambiente original.

El mejoramiento lleva implícito ese desequilibrio, ya que si - se trata de elevar los rendimientos, la planta responderá a este incremento con una pérdida en su resistencia a plagas, enfermedades y sequía con el fin de canalizar las demandas (productos del metabolismo fotosintético) en una sola, o sea, en el rendimiento de materia seca, frutos u órganos, según el cultivo; por lo que hay que subsidiar a la planta mediante insumos y agua. Si se trata de ganar resistencia, la planta tenderá a disminuir su rendimiento, - pues la resistencia implica un gasto de energía que tendrá que desviarse de la producción o rendimiento.

Tomando en cuenta que casi el 60% de la República Mexicana

es Zona Árida, y cuyo principal problema es el agua, el aspecto anterior de los cultivos retoma gran importancia, ya que de acuerdo al grado de aridez, el costo del agua es proporcionalmente importante.

Todas las plantas en su medio natural guardan un cierto equilibrio con el ambiente para mantener al ecosistema de una manera funcional y nivelada, para ello las plantas han desarrollado mecanismos para guardar ese equilibrio y soportar, de esta manera, los factores que le son adversos (Whittaker, 1975).

Entre las plantas que más han luchado por esto, son sin lugar a dudas de zonas áridas; dichas plantas crecen, se desarrollan y se reproducen en lugares muy desfavorables para la supervivencia de cualquier especie, con este objetivo han desarrollado diversas formas de vida, como: mecanismos de escape a la sequía, esto es, aquellas plantas que reducen su ciclo de vida a las breves temporadas de lluvia, o tolerancia a la sequía desarrollando mecanismos morfológicos y fisiológicos para soportar la falta de agua. Esta última puede ser de dos tipos: plantas que soporten el déficit, de precipitación manteniendo un alto potencial hídrico en sus tejidos y plantas con tolerancia a sequías con un bajo potencial hídrico en sus tejidos, a través de acumulación de solutos e incrementando su elasticidad, tolerando a la desecación por resistencia

protoplasmática y de esta manera mantenerse turgentes.

El nopal es uno de los ejemplos de tolerancia a sequías a través de un alto potencial hídrico.

La forma de vida (Miranda 1955), del nopal, es leñoso, nanófito Entomófago - Afilo Oligodendrocaule Planticocaula. Las características del medio en que comúnmente se encuentran varía un poco de acuerdo al autor. Así pues, Blanco (1966), indica que se desarrolla a temperaturas de 11.2°C. a 27.1°C., altitudes de 0 a 2675 m.s.n.m., precipitaciones desde 116.7mm. hasta 1805 mm.

Según Paulino Rojas, (1961) la temperatura óptima media para el cultivo del nopal oscila entre 18°C. y 26°C. y las temperaturas muy bajas 10°C, afectan principalmente a las plantas jóvenes, pero existen reportes donde se dice que las temperaturas óptimas son entre 18 y 20°C. la máxima 36°C. y la mínima 6°C., para que el nopal pueda desarrollarse. También reporta que la altitud a que se encuentra el nopal, varía desde 2675 m.s.n.m., Sin embargo dice que vive mejor entre los 800 y los 2500 m.s.n.m. y en lugares donde la precipitación media anual es entre 116 y 1805 m.m. aunque puede llegar a desarrollarse en condiciones de mayor aridez.

Por otra parte O. ficus-indica, puede dar buenos rendimientos (10 a 15 toneladas por hectárea), a altitudes alrededor de -

1000 m.s.n.m. con 150 mm. de precipitación al año en Africa -- del Norte.

Otros reportes difieren ligeramente diciendo que las temperaturas óptimas de desarrollo son de 18 a 25°C. pudiendo algunas especies soportar bajas temperaturas por períodos cortos, con precipitación de 125 mm. en verano, por lo que los tipos climáticos según Köpen serían BS como árido y muy árido BW.

Aún existen otros que reportan que puede soportar temperaturas muy bajas 10°C. y su temperatura óptima es de 18 a 28°C y con ésto parece darle al nopal un rango de oscilación más amplio. Pero de cualquier manera, queda claro que el nopal tiene una gran flexibilidad en cuanto a temperatura, precipitación altitud y latitud, lo que lo hace ser una planta con un rango de adaptación sorprendente.

Barrientos (1983), en una conferencia sobre "Nopal, opción de las Zonas Aridas y Semiáridas" menciona que O. amyclaea, puede desarrollarse con 267 - 687 mm. y meses con precipitación menor de 50 mm. por mes; o bien, 6 a 4 meses con precipitación de 100 mm. por mes a altitudes de 1609 a 2575 m.s.n.m. donde la limitante sería la baja temperatura.

Los suelos para el mejor desarrollo del nopal son los areno

tos, calcáreos sueltos, poco profundos y de preferencia con p. H. alcalinos. Asimismo, se establece en terrenos pedregosos donde se planta desordenadamente; en general es común para el óptimo desarrollo de las nopaleras, los suelos de textura arenosa y arena arcillosa siempre que sea calcárea y con alto contenido de sales, pero se puede encontrar en terrenos tepetatosos muy someros; por el contrario su desarrollo es pobre en suelos compactos y húmedos (específicamente Cheznut) (Velázquez, 1962).

Sin embargo, este mismo autor en un estudio de Aspectos Ecológicos y Distribución de Opuntia sp. indica que el desarrollo óptimo en cuanto a abundancia y distribución se da a los 400 mm. de precipitación, a partir de esto, la densidad disminuye marcadamente conforme disminuye la precipitación. Se encuentra en suelos profundos, con mayor abundancia y distribución en las zonas ígneas, por lo que p.H. de los suelos resulta ácido o cercano a la naturalidad, con bajo contenido de carbonato de calcio, contrariamente a lo que sucede en la zona caliza. Así pues, delimita lo que ocupan las extensas nopaleras a terrenos de origen ígneo del Cenozoico, medio volcánico que sirve de material madre para la formación de suelo; los componentes son principalmente riolitas, andésitas, basaltos y arenas volcánicas y cuando el sustrato es calizo, como sucede en las partes bajas de la capa superficial del suelo, es también de origen ígneo. Lo que parece indicar, que

estas cactáceas tienen cierta preferencia por suelos de este origen, si es que no constituye categóricamente un factor limitante en su distribución y abundancia según lo demuestra la dominancia que tienen en estos suelos.

El tipo de suelo parece tener alguna influencia, no sólo en el desarrollo de las plantas, sino también en la variación de los colores de las flores; puede deberse al medio donde crece una misma especie, ya que hay ciertos pigmentos de coloración rojiza en un medio alcalino y azul en un medio ácido; ciertos cambios de color están también relacionados con el potencial de oxidorreducción de las sales del suelo.

Los climas son el tipo BS con sus variantes BSkwg y BShwg.

Opuntia streptocantha y O. leucotricha alcanzan densidades muy altas sobre sustratos riolíticos con densidades máximas por ha. entre los 22°30' y los 23°30' latitud norte y 102° a 103° longitud oeste, como son: 6 - 10 individuos por ha. y 61 - 100 individuos por ha. respectivamente, en la zona férrea de la región árida de Zacatecas y San Luis Potosí.

En cuanto a su tipo de vegetación y asociaciones vegetales podemos observar según Rzedowski (1981), que el género Opuntia, es muy tendiente a formar asociaciones con Acacia y principalmente con el género Prosopis, de aquí que sería muy importante realizar un estudio de ésta tendencia ya que como se sabe Prosopis y Aca-

cia, son leguminosas que pueden fijar biológicamente el nitrógeno y el nopal responde muy bien a aplicaciones de estiércol y fertilizantes nitrogenados.

Siguiendo al mismo Velázquez (op. cit.) describe otras nopales como la de O. lindheimeri que llega a tener densidades de hasta 1000 individuos/ha., como en Nuevo Laredo, Tamaulipas, partes de Nuevo León y Coahuila, que se asocian a otras especies como - el nopal rastrero y en otras partes a O. cantabrigiensis cuyas condiciones ecológicas difieren pues cubren extensas planicies de suelos profundos de origen sedimentario con altitudes escasas: 0 a 400 m.s.n.m.

Retomado lo anteriormente mencionado sobre la adaptabilidad del nopal a las zonas áridas, por su tolerancia a sequías a través de un alto potencial hídrico, se señalarán a continuación sus modificaciones para contrarrestar los efectos de la aridez:

- Cambios morfológicos, que permiten reducir la superficie de - evaporación como: formas especiales para los tallos y la reducción o ausencia de hojas.
- Los que impiden la evaporación del agua en los tejidos, aumentan en espesor la cutícula y la membrana celulósica de las células epidérmicas; formación de capas cerosas, estomas hundidos, excrecencias pilosas.

- Los que favorecen la retención de agua como la elaboración de mucílagos y otros productos higroscópicos y la diferenciación del parénquima acuffero en el tallo y la raíz.
- Los que permiten aumentar o reducir el volúmen en relación con la absorción periódica del agua, como la formación de la raíz de un sistema especial de absorción en la época de lluvias.
- Modificaciones de la anatomía de los órganos como es la diferenciación de un parénquima clorofiliano en el tallo, debido a la falta de hojas.

El suelo puede tener efecto en estos aspectos, pues Hernández (1978) en un estudio del sistema radical de O. amyclaea observó la distribución vertical de las raíces mayores y menores de 2 mm. a una profundidad entre 0 y 40 cm. en San Martín de las Pirámides, y entre 0 y 30 cm. en Chapingo y San Juan Teotihuacán, Méx., obteniendo que las raíces se adaptan a las condiciones del sustrato. Cuando el suelo es escasamente profundo, el desarrollo del sistema radical es extenso, denso y superficial (Velázquez, 1962).

Por otra parte Piña (1977), menciona que los frutos al madurar pueden desprenderse de la planta o permanecer adheridos a ella durante mucho tiempo. Los principales agentes diseminadores son los pájaros, ya que gustan mucho de comer los frutos que son localizados con facilidad debido a los colores brillantes del pericaro

pio, las semillas así ingeridas, pasan por su tracto intestinal, sin ser digeridas, ya que sus tegumentos son muy resistentes, para después ser arrojados con los excrementos.

Asimismo, los vientos tienen influencia en estas plantas, ya que al mismo tiempo que destruyen las partes vegetativas contribuyen a su propagación.

#### 6.1.5. Fisiología.

Como ya se ha mencionado, las cactáceas son consideradas como muy evolucionadas, con estructuras anatómicas de adaptación altamente especializadas que les imparten una fisonomía particular (Bravo, 1978), entre las cuales podemos citar la adquisición de tallos globosos o cilíndricos provistos de surcos o costillas que reduce sobre manera su superficie de transpiración, el desarrollo de succulencia en todos los órganos, la reducción de las hojas hasta su total ausencia, el notable desarrollo de capas epidérmicas cerosas y el aumento en el grosor de la cutícula y de la membrana de las células epidérmicas, la formación de gran concentración de mucílagos, así como el desarrollo de cristales de oxalato de calcio en el citoplasma (Bravo, 1937).

Específicamente el género Opuntia es una planta Xeromorfa que ha desarrollado un mecanismo de resistencia por evasión a sequía con base en el mantenimiento de un alto potencial hídrico du-

rante los periodos de déficit de precipitación, a través de la siguiente características:

- Mantenimiento de absorción de agua, incrementando la cantidad y densidad de raíces e incrementando la conductancia hidráulica.
- Reducción de la pérdida de agua, mediante la reducción en la conductancia epidermal, la reducción en la radiación absorbida y la reducción en la superficie evaporativa.

Por otro lado según Walter y Stadelman (1974), indican que el potencial hídrico es menor en plantas xerófitas y arbustos perennes que pueden tolerar la sequía a bajos contenidos de agua. Así mismo el potencial hídrico de las suculentas es mayor al de las demás plantas, pero internamente es menor para poder establecer un flujo de agua del exterior al interior cuando llueva, ya que el agua fluirá de una mayor energía libre superior a otro de energía libre inferior, hablando en términos de potencial hídrico.

Una característica de las especies resistentes a sequías es su gran proporción de masa en raíces y profundidad de las mismas. Los pastos perennes y arbustos de zonas áridas, tienen generalmente una gran proporción de materia seca en sus raíces que en casos extremos pueden llegar al 90% del total de materia seca (Fischer y Turner, 1978).

Sudzuki (1975), menciona al respecto que durante los periodos

de sequía, el sistema radicular se desarrolla mucho más que su copa aérea, pudiendo extenderse tanto como el perímetro de su copa aérea. Y demuestra, la misma autora, (1969) con sus experimentos que:

- En suelo seco, algunas plantas tienen la capacidad de incrementar la absorción adicional de agua por sus raíces superficiales, desde que se eleva en ellos un potencial más negativo.
- La absorción adicional de agua es lograda al aumentar el volumen radicular, con el objeto de que haya mayor superficie de absorción. En estas plantas hay mayor presión osmótica que la ejercida por las raíces de plantas comunes, lo que le permite obtener una cantidad extra de agua.
- Este mecanismo de absorción de agua está relacionado con el funcionamiento de los estomas, esto es, su cierre y apertura están condicionados con el horario de mayor humedad relativa del aire y de menor temperatura ambiental.

El género Opuntia, está provisto de una gruesa cutícula impermeable y estomas unidos. El comportamiento de éstos, está relacionado con la exposición de las plantas al viento cargado de vapor de agua. Algunos estudios indican que el mayor o menor hundimiento de los estomas en la epidermis es directamente proporcional a este factor, lo que redundará en la optimización del agua como

se verá más adelante.

Los estomas localizados 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  $\text{CO}_2$ , por lo que una reducción de la pérdida de agua a través del control estomatal tiene como consecuencia una reducción en la fijación de  $\text{CO}_2$  y por lo tanto en la productividad. Sin embargo, 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 ser efectivo el mantenimiento del balance interno del agua en la planta, los estomas deben cerrarse firmemente y la pérdida de agua será únicamente por la cutícula (Turner, 1975; Turner et. al., 1978)

Las plantas suculentas son un ejemplo por excelencia del control epidermal del potencial hídrico de los tejidos. Szarek y Ting, (1974), y Nobel (1977), encontraron en dos especies de cactus que los estomas son muy sensibles a la caída del potencial hídrico en la planta, ya que cuando la pérdida cuticular es muy ligera los estomas reaccionan cerrándose. Así en suelos secos, los cactus aíslan su humedad interior, de la atmósfera seca.

De acuerdo con Watson (1956), la mayor influencia sobre el rango de asimilación neta de materia orgánica es ejercida por la

luz y la temperatura, sin embargo esto depende de la aplicación de fertilizantes, agua y el genotipo.

Se sabe que la fotosíntesis se incrementa proporcionalmente a la intensidad de la luz hasta una intensidad de saturación y luego se vuelve estable Heinicke y Childers (1937).

Hay amplia evidencia de la gran importancia de la luz en la iniciación floral (Becerra, 1975), hay numerosos reportes de que el sombreo de los árboles de manzano reduce la iniciación floral (Kraybil, 1923).

En frutales, principalmente en manzana, se ha encontrado una asociación entre altos niveles de carbohidratos en la planta y la tendencia a florear Becerra (1975).

Después de muchos trabajos realizados por investigadores, se sabe que la luz solar tiene una influencia marcada sobre diferentes características del fruto, tales como firmeza, tamaño, color, contenido de sólidos solubles, etc. (Becerra 1975).

Lozano (1958), menciona que las partes soleadas de los cladodios del nopal producen más frutos, así, en la región de San Luis Potosí, la cara sur de los cladodios orientados producen casi la totalidad de los frutos, en tanto que la cara norte es casi impro-ductiva por estar muy sombreada.

En general, el sistema radical es superficial y particularmente

te 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 un almacén de agua. Las raíces secundarias mueren durante periodos largos de sequías y vuelven a crecer durante el periodo de lluvias. (Barrientos, 1983).

Se ha demostrado que para la iniciación de las raíces adventicias en estacas, es necesaria la presencia de hormonas entre las que están las auxinas como las más importantes; éstas se sintetizan principalmente en las yemas apicales y en las hojas jóvenes moviéndose del ápice a la base morfológica.

También hay evidencias de que el fotoperíodo a que se expone la planta madre o en el que se efectúa el enraizamiento tiene efecto sobre la iniciación de primordios radicales, siendo más eficaces los días largos o la iluminación continua, que los días cortos (Becerra, 1975).

Por tanto, el desarrollo de la raíz está limitada por dos tipos de factores que son:

1. Factores ambientales:

- Humedad
- Temperatura
- Concentración de sales, pH. y minerales.

## 2. Factores Endógenos:

Balance hormonal entre promotores e inhibidores.

Para reiniciar el crecimiento, el balance, debe ser en favor de los promotores (Grajeda, 1978).

En un estudio de Becerra (1975), se observó que los cladodios orientados al norte - sur (con sus caras hacia el este-oeste) acumulan más calor durante el día (cuadro 1, fig. 9 y 10, ) lo que evidencia una mayor captación de luz directa, que los orientados al este y oeste; produciendo así mayor número de frutos y con mayor cantidad de sólidos solubles, pues se encontró que para las tres variables en estudio: cladodios con frutos/planta, frutos/planta, y frutos / cladodio; los cladodios orientados norte-sur tuvieron promedios estadísticos superiores (0.01 de probabilidad) a los cladodios en dirección este-oeste, cuadro 2.

Cuadro 1. Areas de las gráficas de temperatura interna de cladodios con espinas y sin ellas, orientados en dirección norte - sur y este - oeste, (tomado de Becerra, 1975)

Fecha	Cladodios con espinas			Cladodios sin espinas.			Ambiente °C.
	O. N-S	O. E-O.	Dif. ° C.	O. N-S	O. E-O.	Dif. °C.	
18-IX	334.2	261.2	73.0				226.0
19-IX	323.8	248.1	75.7				219.5
1 -XI	301.2	280.8	20.4				215.5
2 -XI	279.4	273.3	6.1				188.2
22-X				266.3	248.9	17.4	206.8
23-X				247.9	247.3	0.6	210.9

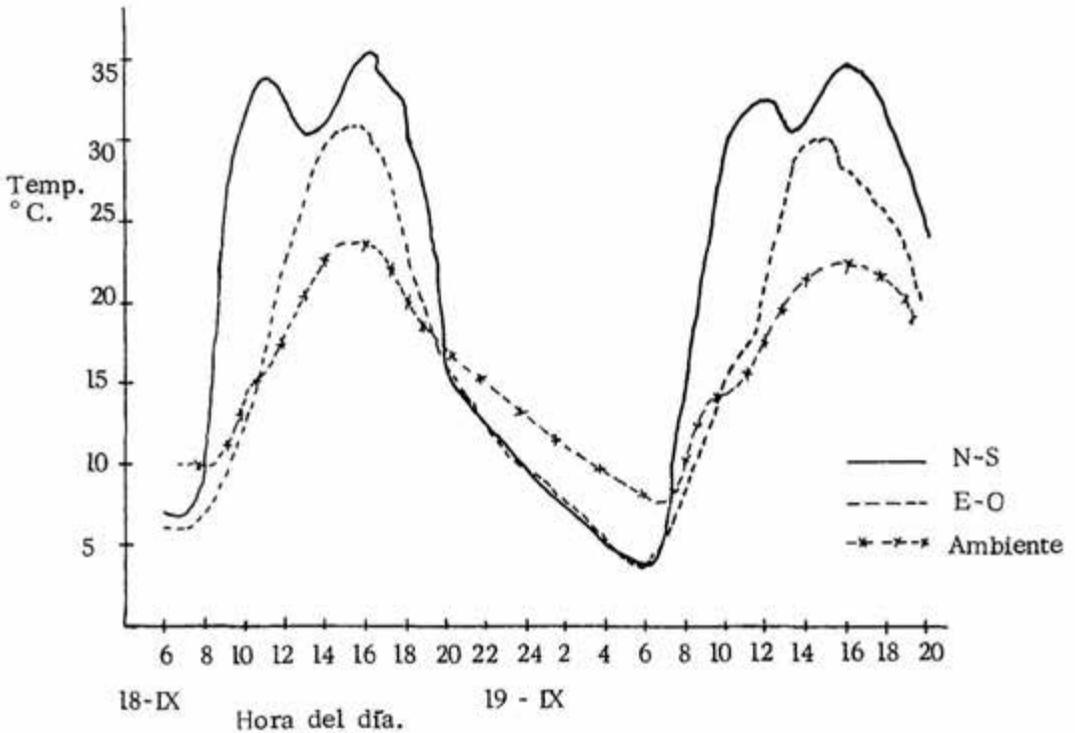


Figura 9. Variación de la temperatura interna de cladodios con espinas, según su orientación en el mes de septiembre de 1974. (Becerra, 1975).

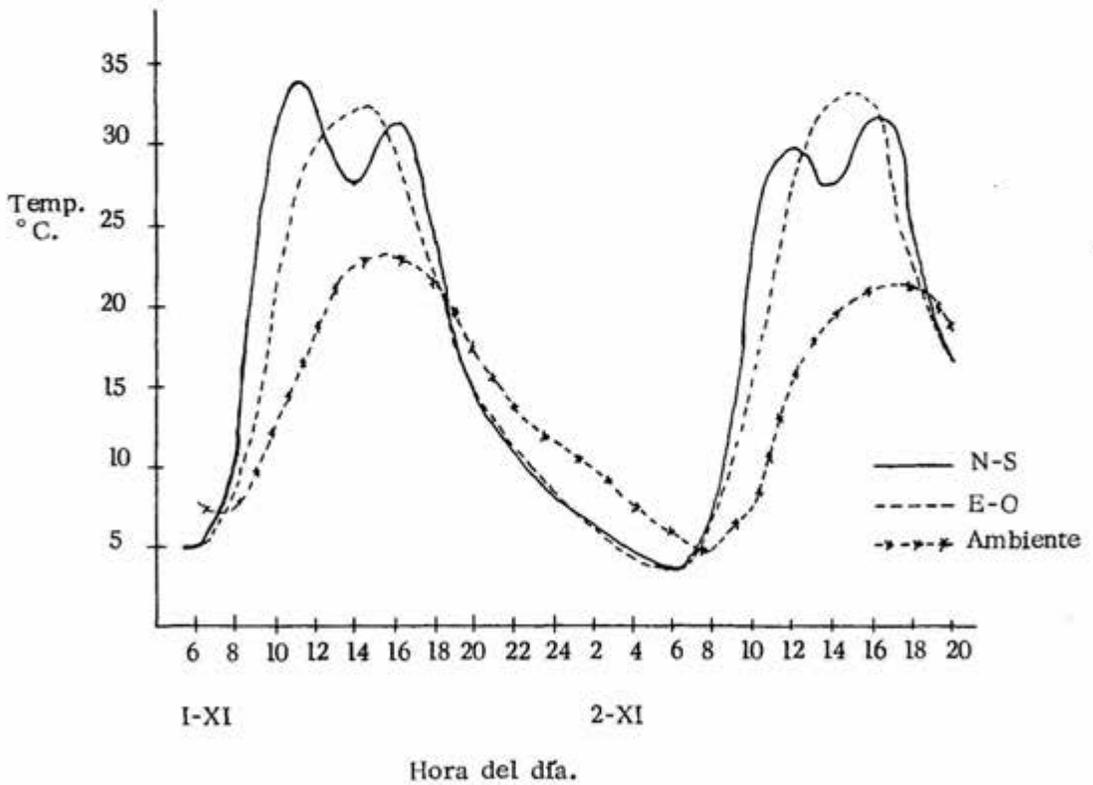


Figura 10. Comportamiento de la temperatura interna de cladodios con espinas, de acuerdo a su orientación, en el mes de noviembre de 1974. (Becerra, 1975).

Cuadro 2. Valores promedio de la producción de frutos en ambos lados de la planta, con diferente orientación de cladodios (tomado de Becerra, 1975).

Orientación de cladodios	lado de la planta	cladodios con frutos/planta	frutos/planta	frutos/cladodio
Norte-Sur	Este	8.4	31.5	2.9
Norte-Sur	Oeste	7.6	28.2	3.1
	NS	NS	NS.	
Este-Oeste	Norte	5.4	16.1	2.7
Este-Oeste	Sur	5.5	19.2	3.1
	Este	6.9	23.8	2.8
	Oeste	6.5	23.7	3.1
	NS	NS	*	
Norte-Sur		8.0	29.9	3.1
	**	**	**	
Este-Oeste		5.4	17.6	2.9

N.S. No significativa estadísticamente.

\* Significancia al 0.05 de probabilidad.

\*\* Significancia al 0.01 de probabilidad.

El contenido de sólidos solubles mayor, se debe a que las partes soleadas producirán frutos con un contenido mayor de sólidos solubles que las partes sombreadas y las partes soleadas también acumulan mayor cantidad de carbohidratos y auxinas, por lo que tuvieron efecto en un mayor enraizamiento, debido a que los carbohidratos proporcionan energía para los nuevos crecimientos y las auxi

nas promueven la división y alargamiento celular de las nuevas raíces.

El aumento de materia seca se presenta cuando la producción de compuestos orgánicos sobrepasa a los consumidos por la respiración. En cladodios de nopal se encontró que la orientación N-S, establece una estrecha relación entre la radiación total recibida y el incremento de materia seca lograda, ya que a mayor radiación se obtuvo mayor incremento de materia seca., cuadro 3.

Cuadro 3. Valores promedio del incremento de materia seca en cladodios con diferente orientación, (Tomado de Becerra, - 1975).

Experimento número.	Fecha de realizac.	Orientación de cladodios.	Incremento de materia seca mg/cm <sup>2</sup> /hr.	Radiación total cal/cm <sup>2</sup>
1	14-X-74	Norte-Sur	0.332	553
		Este-Ceste	0.089	
2	22-X-74	Norte-Sur	0.260	516
		Este-Ceste	0.159	
3	7-XII-74	Norte-Sur	0.218	382
		Este-Ceste	0.123	

Por estos resultados el autor sugiere la conveniencia de efec

tuar una poda que permita a los cladodios una buena captación de luz.

En este sentido la orientación de los cladodios influye en la eficiencia fotosintética, dada la forma aplanada de éstos, que se manifiesta en:

- Producción y calidad del fruto.
- Producción de materia seca.
- Enraizamiento de cladodios.
- Temperatura interna.

Por otra parte, en los órganos fotosintéticos de la mayoría de las plantas suculentas con metabolismo del ácido crasuláceo, como lo es Opuntia, (CAM) juega un papel muy importante, la relación entre morfología y fisiología. Por esta razón la radiación de actividad fotosintética (RAF) (400 a 700 nm), no puede pasar de un lado a otro, por lo que la orientación de cada superficie de tales suculentas influye en la RAF, que puede ser absorbida por el clorenquima fundamental y en consecuencia, afecta la tasa fotosintética. Por otro lado, para las típicas hojas delgadas de plantas  $C_3$  y  $C_4$ , la RAF puede alcanzar casualmente el clorenquima del haz, o del envés, ya que estas hojas son relativamente flexibles y su orientación puede ser cambiada por el viento o por el curso de los movimientos diurnos, mientras que la orientación de los órganos fotosintéticos de las suculentas CAM, es esencialmente establecido -

desde el inicio de su desarrollo; además su superficie fotosintética es vertical, por lo que generalmente recibe considerablemente menos RAF que la superficie horizontal y con frecuencia no reciben del todo la RAF incidente (Gates, 1980).

Así pues, la relación entre RAF y la orientación tienen consecuencias fisiológicas importantes en plantas CAM, ya que su productividad es frecuentemente limitada por la luz (Nobel, 1982).

El género Opuntia forma parte de las plantas suculentas CAM, cuya superficie fotosintética, como se hace mención previamente, es vertical. Para verificar si la orientación de los cladodios terminales de estas plantas era o no casual Nobel (1982), realizó un estudio con 23 especies de Opuntia, las cuales fueron observadas en América del Norte, América del Sur, Australia e Israel, obteniendo que: la mayoría de los casos la orientación no casual de los cladodios era altamente significativa, aunque la dirección de esta orientación dependía de la latitud, la época de mayor precipitación, la época en que empiezan a desarrollarse los cladodios y el relieve topográfico.

Así, cuando los cladodios se empezaron a desarrollar en invierno (diciembre-febrero), había la tendencia a tener sus caras al norte-sur, mientras que si la mayoría de ellos se desarrollaban

en primavera - verano (marzo - septiembre) la tendencia de sus caras era al este- oeste (fig. 11); a excepción de los situados por arriba de los  $27^{\circ}\text{N}$ , o debajo de los  $27^{\circ}\text{S}$ ., pues en este caso - los cladodios expusieron sus caras al norte-sur (fig. 12). El relieve topográfico también puede afectar la tendencia de orientación de los cladodios, pues cuando en un lugar de California en el que alguna montaña bloqueaba la incidencia de la RAF, al oeste y noroeste, se observó una exposición de caras al noroeste-sureste, (fig. 13), es decir, la orientación preferida de los cladodios (debida a la intercepción máxima de RAF) se cambió, limitando la productividad.

Nobel (1982), menciona citando a Monsi y Seaki, (1953); Anderson, (1964), Fisher y Honda (1979) y Woodhous, et, al. (1980), que la orientación de todos los lados del tallo de un cactus o de las hojas de un agave, afectan la intercepción de RAF y por lo tanto la influencia neta del  $\text{CO}_2$  tomado por la planta. Asimismo, la RAF, es frecuentemente limitada por el  $\text{CO}_2$  capturado y por ende el crecimiento de las suculentas también es limitado.

Nobel (1982), también observó la orientación, intercepción de la RAF y el incremento de la acides nocturna en cladodios terminales de cultivos de Cpuntia ficus-indica en Chile, California e -

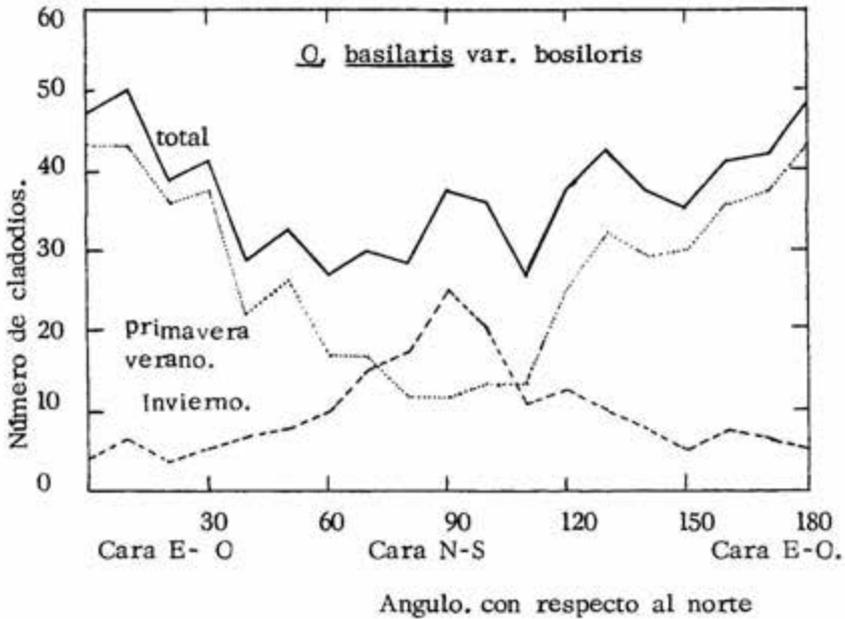


Figura 11. Influencia estacional en la orientación de los cladodios terminales de *O. basilaris* var. *basilaris* en California ( $33^{\circ} 39' N$ ,  $116^{\circ} 22' W$ ). que iniciaban su desarrollo en diferentes estaciones. (Nobel, 1982.)

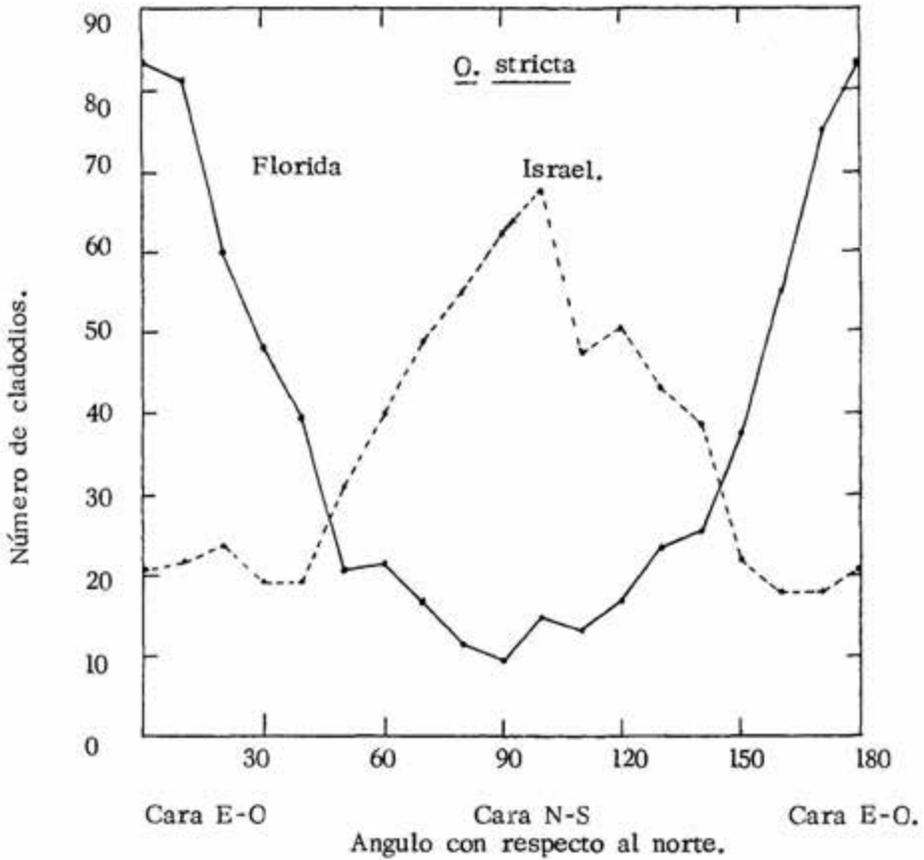
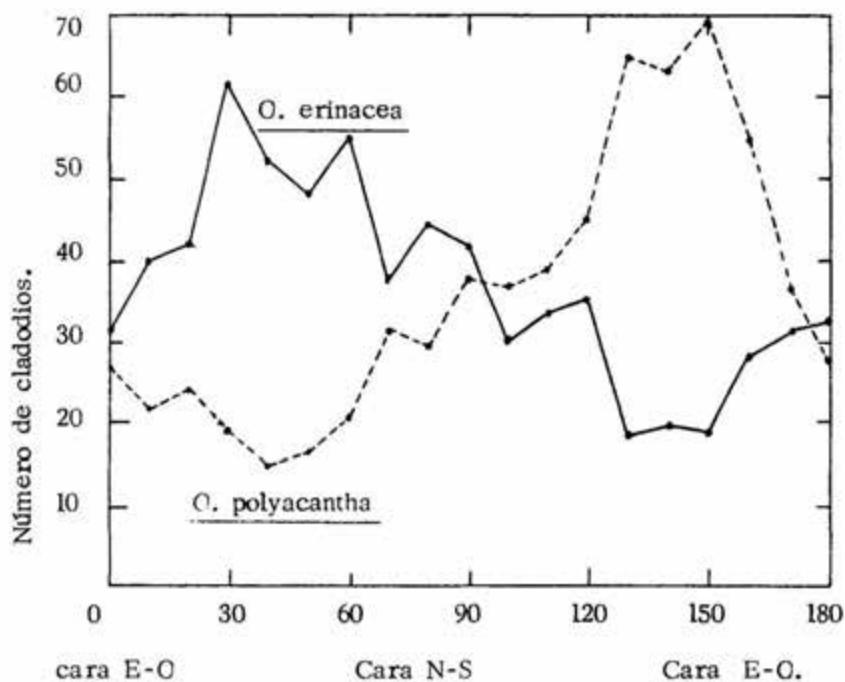


Figura 12 Orientación de los cladodios terminales de *O. stricta* en jardines de Israel ( $31^{\circ}13' N$ ,  $34^{\circ}47' E$ ) y en Florida ( $25^{\circ}40' N$ ,  $80^{\circ}9' W$ ). (Nobel, 1982).



Angulos con respecto al norte.

Figura 13. Influencia del relieve topográfico en la orientación de los cladodios terminales de *O. erinacea* var *erinacea* y *O. polyacantha*, donde las montañas blanquean la incidencia de RAF. (Nobel, 1982).

Israel obteniendo que:

La orientación de los cladodios terminales estaba influenciada por al menos tres factores que son:

- La orientación del cladodio del cual el nuevo cladodio se originó, pues el nuevo cladodio tiende a orientarse en la misma dirección que los cladodios, inicialmente plantados. El efecto residual de la orientación del cladodio original puede ser dominante por casi dos años y ser ésto evidente después de 5 años (fig. 14 y 15); - no obstante, después de 2 años, los cladodios nuevos no sombrea dos tienden sus caras al este - oeste. La orientación de los cladodios refleja la orientación del cladodio original también como - respuesta a la variación de la luz solar en las diferentes estaciones del año.
- La dirección en la cual se maximiza la intercepción de la RAF, pues en las trayectorias observadas así sucedió; sin embargo, la orientación dependiente de la luz puede ser dominante después de 2 años en cladodios con efecto residual de la dirección de planta ción inicial (que no sea óptima para la intercepción de RAF). Los cladodios con sus caras este-oeste aumentan la intercepción de RAF, a excepción de los que inician su desarrollo cerca del solsticio de invierno a latitudes mayores de 27° del Ecuador.
- Fototropismo. El uso de RAF unidireccional (horizontal) mostró

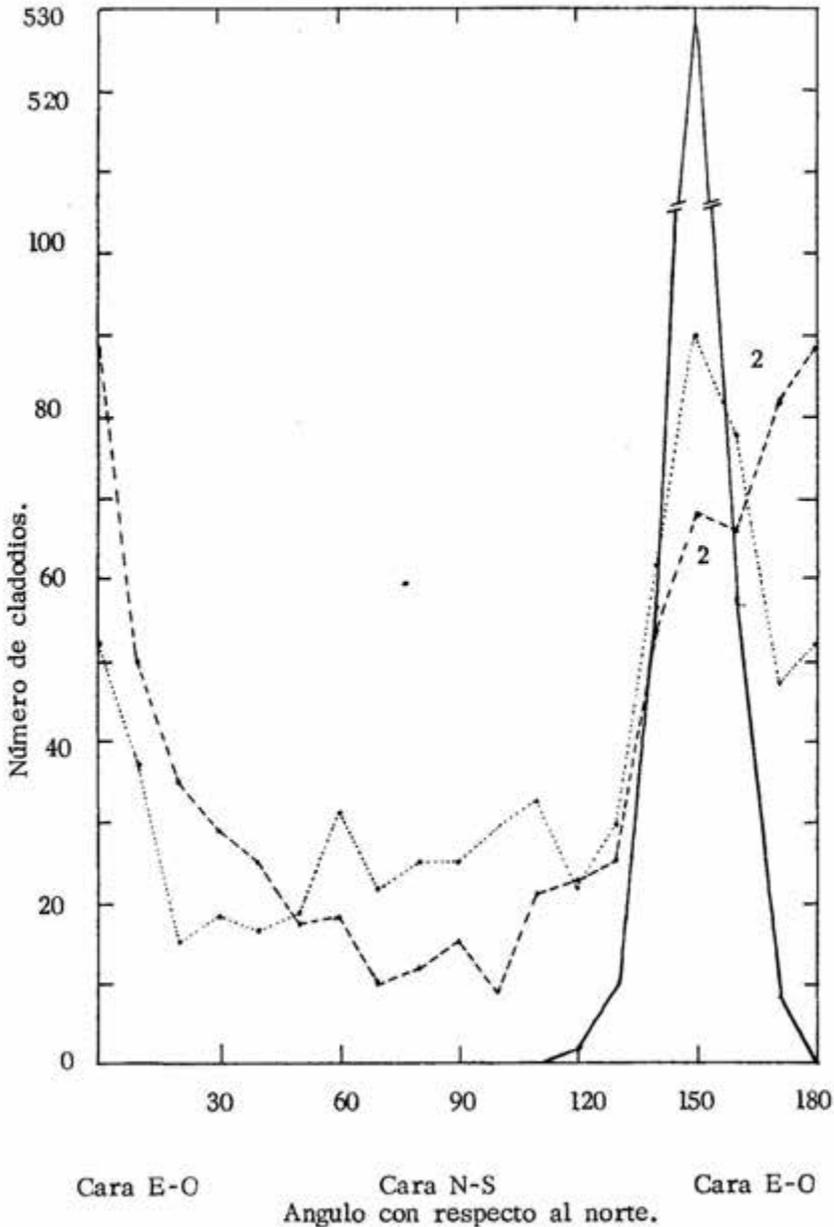


Figura 14. Orientación de los cladodios terminales de *O. ficus-indica* en una plantación irrigada en Til Til, Chile ( $33^{\circ} 3' S$ ,  $70^{\circ} 55' W$ , 660m) la edad de las plantas en años, se indica junto a las curvas. (Nobel, 1982).

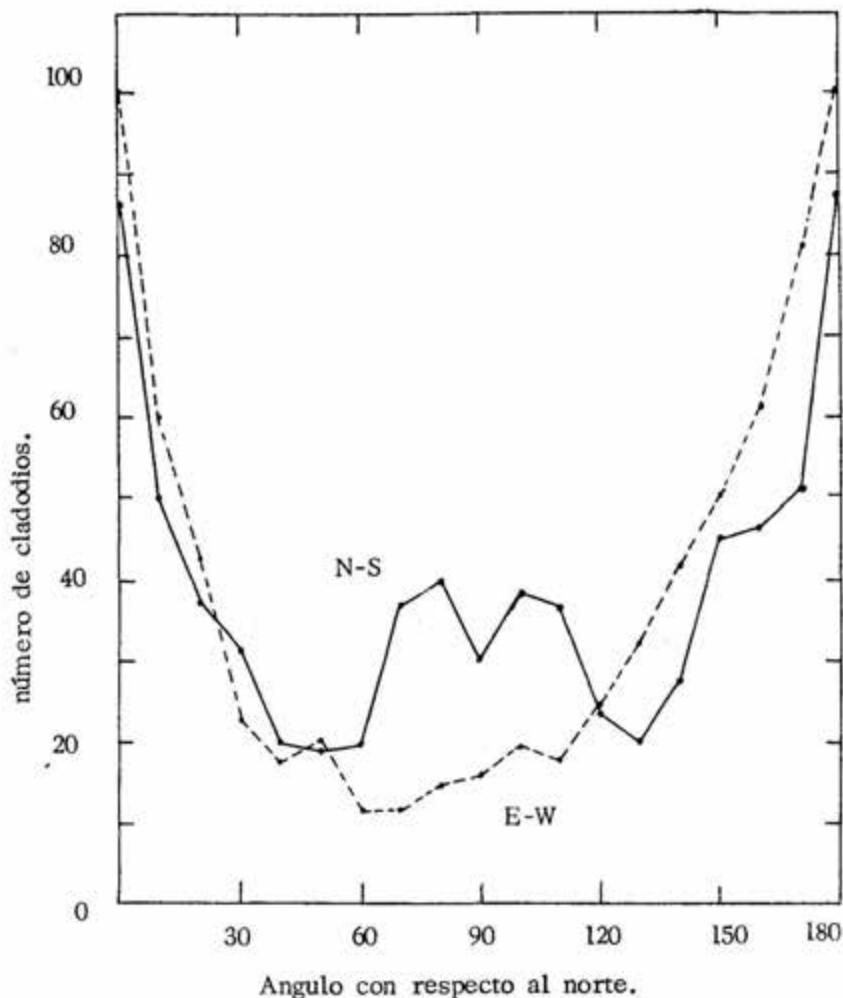


Figura 15. La orientación de los cladodios terminales en plantas irrigadas de 5 años en Til, Til, Chile. Los campos tenían sus ejes de plantación a  $93^\circ$  (caras N- S) o a  $176^\circ$  (caras E- W) (Nobel, 1982).

claramente una respuesta fototrópica, pues el desarrollo de cladodios nuevos fue vertical, tendiendo después a ser horizontal y apuntar hacia la fuente de luz; la orientación de éstos tuvo un giro de  $16^{\circ}$  promedio en la dirección de más RAF, que los cladodios de los cuales se originaron.

Como los "cactus" son suculentos con metabolismo del ácido crasuláceo, se midió la acumulación nocturna de ácido, en particular con respecto a la orientación de los cladodios y por lo tanto a la intercepción de RAF.

El incremento de acidez nocturna y por tanto el incremento en la productividad, generalmente son limitados por la luz, ya que el incremento de acidez nocturna para el 90% de saturación o captura de  $\text{CO}_2$  indican que las plantas desérticas CAM generalmente tienen RAF limitada, por tener éstas, superficies verticales (cuadro 4). La RAF depende de los cambios de acidez (cuadro 5, fig. 16) que a su vez se correlaciona con un cambio mucho más grande en el patrón de orientación (fig. 17). Una pequeña diferencia en la RAF puede tener un mejor efecto en la orientación de los cladodios.

El relieve topográfico también puede modificar el patrón de orientación de los cladodios, pues en un lugar donde la RAF fue considerablemente bloqueada por las montañas circundantes aumen-

Cuadro 4. Orientación de los nuevos cladodios cuando la RAF era horizontal y estaba dirigida hacia las superficies verticales de éstos (Nobel 1982).

	Un Lado	Ambos lados
No. de cladodios plantados verticalmente	10	9
No. de cladodios desarrollados en 2 meses.	18	17
Angulo entre el eje longitudinal de los nuevos cladodios y la horizontal*	21+19	87 + 15
Angulo entre los nuevos cladodios y la proyección sobre el plano horizontal y la dirección de RAF. *	28 ± 17	30 ± 16

\*± desviación estandar.

tó el incremento de acidez nocturna máxima (fig. 17), quedando los cladodios orientados  $160^\circ$  (a  $20^\circ$  de cara este - oeste).

Así el efecto de la luz en la tendencia de orientación de las Opuntias probablemente depende del incremento de la productividad de los cladodios originales que interceptan la RAF máxima, tendiendo sus caras, generalmente al este-oeste y de la respuesta fototrófica de los cladodios nuevos debido a los cambios de acidez máxima, que se combinan para producir las trayectorias observadas,

**Quadro 5.** - RAF total diaria en cladodios a varias latitudes y en diferentes estaciones en días despejados (Nobel, 1982).

RAF. Total diaria (mol. m <sup>-2</sup> día <sup>-1</sup> )		Incremento nocturno - en la acidez (% máx)						
latitud N.	N.	NEo NW	E o W	SE o SW	S	N-S	NE-S'W o SE-NW	E-W
<b>solsticio de verano</b>								
0	33.2	29.5	23.4	10.6	6.7	67	74	88
10	27.0	27.9	25.6	13.5	7.5	66	79	92
20	19.2	26.0	27.9	19.4	8.4	60	86	95
30	14.9	24.8	31.6	24.2	13.0	63	90	99
40	12.9	22.3	31.2	28.2	20.8	71	91	99
50	11.3	19.7	29.9	32.0	28.5	75	90	98
<b>equinoxio</b>								
0	7.5	21.2	27.5	21.2	7.5	38	84	95
10	7.4	18.7	27.3	24.2	15.8	53	84	95
20	7.4	16.1	26.7	28.1	25.2	64	83	94
30	7.2	13.1	24.0	29.7	33.3	68	78	90
40	7.1	11.0	22.8	32.1	36.2	68	76	87
50	6.0	9.1	18.2	29.8	36.1	65	71	76
<b>solsticia de invierno.</b>								
0	6.7	10.6	23.4	29.5	33.2	67	74	88
10	6.5	8.7	19.8	29.9	36.6	66	70	81
20	6.1	7.1	16.7	29.1	38.2	65	66	72
30	5.5	5.8	13.3	25.7	34.0	64	61	61
40	4.6	4.8	9.4	19.9	26.9	59	53	46
50	3.0	3.1	5.1	10.1	13.6	39	32	26

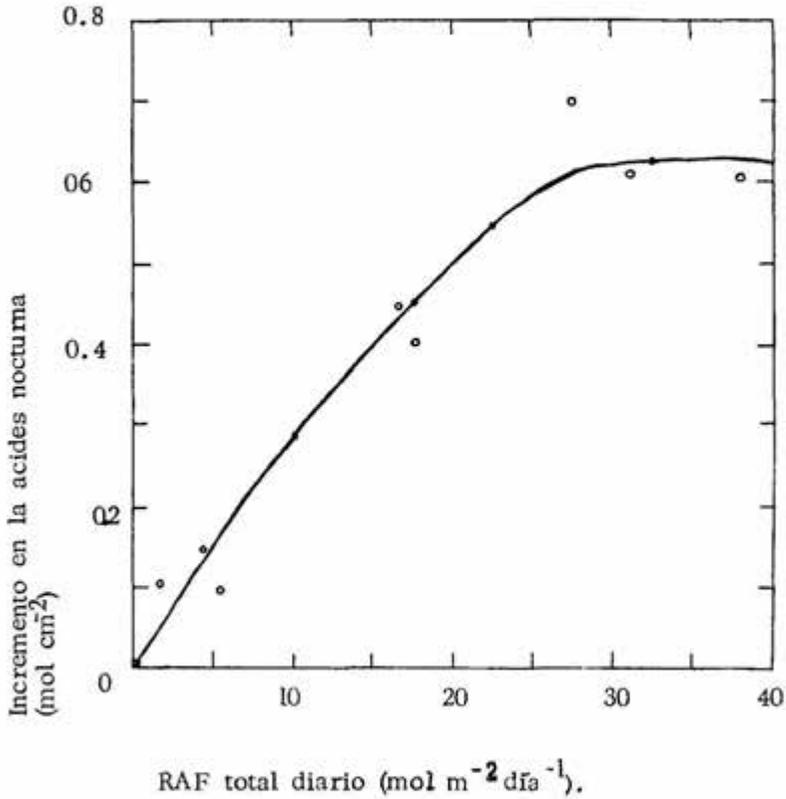


Figura 16. Relación entre la RAF diaria total y el incremento de acides nocturna en plantas de 5 años en Til - Til, Chile. (Nobel, 1982).

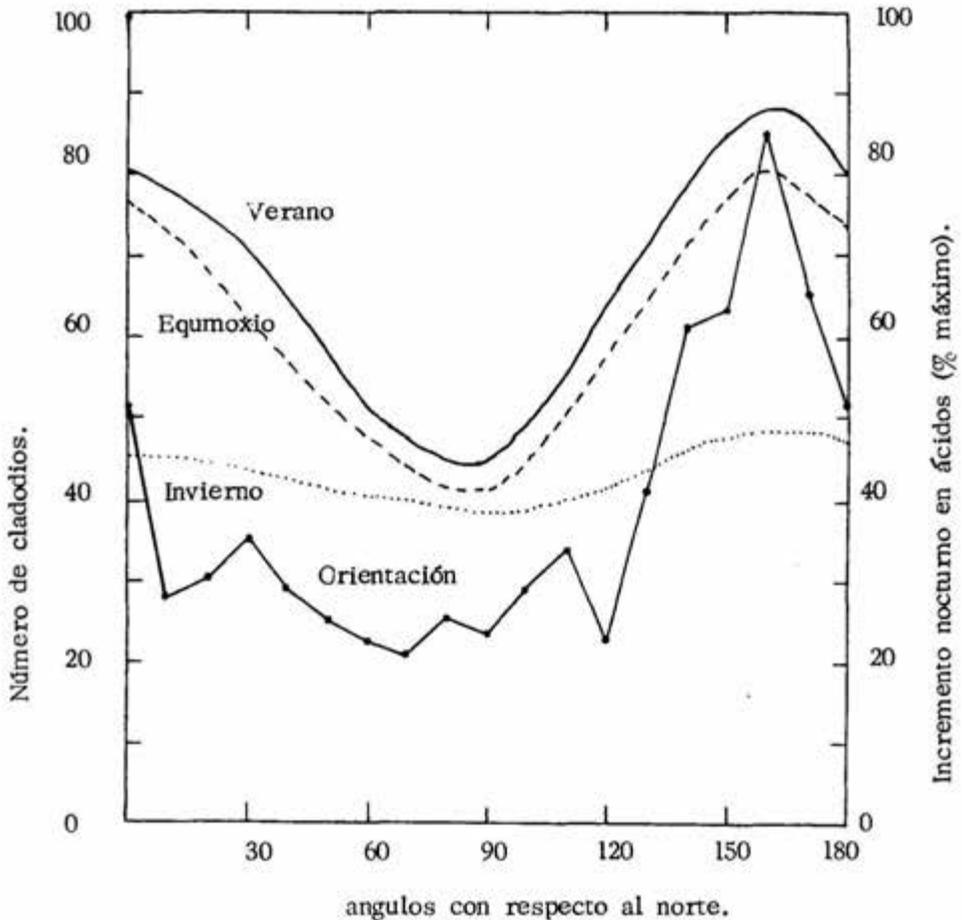


Figura 17. Orientación de cladodios terminales en plantas de 100 años (en Til Til, Chile) y la predicción del incremento de ácidos nocturnos. Los cambios de acidez en las diferentes épocas del año se calcularon con los datos del cuadro 5, la RAF de días claros y en campos rodeados de árboles y montañas. (Nobel, 1982).

(Nobel, 1982).

La relación anterior existe entre la detención del crecimiento (letargo), y la diferenciación vegetativa; entre el crecimiento vegetativo y diferenciación floral y entre el sistema radical y el vástago, así cuando se favorece el crecimiento radical se afecta la parte aérea y viceversa, cuando se detiene el crecimiento vegetativo se favorece la diferenciación floral.

La relación Carbono - Nitrógeno tiene influencia, a través de sustancias nitrogenadas y carbohidratos, al determinar el crecimiento y la producción, así se tienen las condiciones que favorecen la fructificación como es el aumento de carbohidratos y las que reducen esta acumulación e incrementan las sustancias nitrogenadas, que favorecen la actividad vegetativa. De este principio se derivan 4 tipos de plantas.

- Plantas cuya nutrición carbonada es deficiente, cuando esa deficiencia es causada por eliminación de materia verde o poca luminosidad, estas plantas florecen poco.
- Plantas vigorosas de crecimiento rápido, aquí los carbohidratos elaborados por las hojas se utiliza para la formación de nuevos tejidos y no hay diferenciación floral.
- Plantas adultas, el crecimiento es lento, a veces nulo, los carbohidratos se forman en gran cantidad y la floración es abundante.

- Plantas pobres en crecimiento vegetativo; aquí la superficie foliar queda reducida a causa del poco desarrollo de las hojas obteniéndose una floración precaria.

En las plantas superiores el proceso de fotosíntesis se realiza generalmente en las hojas; sin embargo, existen excepciones como es el caso del nopal Opuntia spp., el que al principio de su desarrollo tiene hojas pequeñas que posteriormente se caen. Así en la ausencia de hojas, la fotosíntesis se realiza en los cladodios (tallos) (Becerra, 1975) que también funcionan como órganos de reserva de fotosíntesis (Bravo, 1937). Se ha observado que cuando se eliminan brotes de un cladodio se favorece con esta práctica una nueva emisión de renuevos (García 1971; Barrientos, 1976) esta brotación es más numerosa mientras más severa sea la poda.

La fotosíntesis se lleva a cabo a través del parénquima clorofiliano situado abajo de la epidermis y el tejido suberoso. La estructura de este parénquima es análoga al parénquima en empalizada de las hojas, y está constituido de varias capas de células prismáticas de gran tamaño y paredes delgadas con numerosos cloroplastos; este parénquima se comunica al exterior por los estomas; gradualmente se convierte en acufifero constituyendo la zona central y esponjosa del cladodio por donde circula la savia ascendente; este tejido esponjoso almacena grandes cantidades de agua, lo cual en -

parte, permite mantener a la planta durante largos períodos de se qufa (Bravo 1937).

En cuanto a la eficiencia de la fotosíntesis podemos decir que las plantas eficientes no fotorrespiran y las no eficientes sí, ya - que con ello, baja su eficiencia fotosintética, puesto que la fotorrespiración viene a ser una reacción por medio de la cual la planta genera  $CO_2$  en presencia de luz a través de un ciclo llamado oxidación del Carbón; sirve como sustrato, en este caso el fosfoglicolato, por lo que se pierde  $CO_2$  fijado en la fotosíntesis. En este proceso el oxígeno es consumido en la conversión de glicolato a glicoxilato, en los peroxisomas, y el  $CO_2$  es liberado durante la subsecuente condensación de glicina a serina, en la mitocondria. (Woo y Osmond, 1976). La serina es fuertemente metabolizada y puede reentrar en el ciclo de Calvin como 3, fosfoglicerato, recuperándose un 75% del carbono canalizado a la fotorrespiración. Esto es característica propia de plantas con ciclo de Calvin  $C_3$ .

Las plantas equipadas con el clásico ciclo de Calvin  $C_3$  funcionan con RuBP - carboxilasa para catalizar la fijación primaria del  $CO_2$ . Sin embargo en las plantas  $C_4$  la fijación inicial es catalizada por el fosfoenol piruvato - carboxilasa, que es muy afín al  $CO_2$  ( $K_m = 7mm$ ) (Hatch y Osmond, 1976), pero no sensible al oxígeno (Bowes y Ogren, 1972); la funcionalidad de la vía  $C_4$  depen

de de la cooperación metabólica entre los paquetes celulares del mesófilo y la vaina fuertemente asociada a las células del complejo - Kranz, que sirve de segmentos de compartimientos sobre toda la - vía, (Hatch y Osmond, 1976).

En plantas  $C_4$  ocurre la fotosíntesis, aunque haya deficiencia de humedad, cierre estomático, transpiración y difusión de  $CO_2$ , es decir, estas plantas tienen una eficiencia en el uso de agua dando origen a una alta productividad de materia seca con menor humedad que las plantas  $C_3$  (Levitt, 1969). Entre las plantas más eficientes están aquellas que tienen el ciclo MAC o CAM (metabolismo ácido crasuláceo). MAC se distingue por la asimilación nocturna de  $CO_2$  formando ácidos orgánicos seguidos de la conversión diurna a compuestos neutrales. El fosfoenolpiruvato cataliza la fijación primaria de  $CO_2$  que resulta, predominantemente, por la acumulación de ácido málico en cantidades superiores, de 100 - 200 mg/g peso - fresco<sup>-1</sup>.

El ácido almacenado durante la noche es descarboxilado durante el día o en un período de luz, cuando los estomas están cerrados y el  $CO_2$  liberado es refijado vía RuBP carboxilasa y procesado a través del ciclo de Calvin, un proceso paralelo es frecuente entre  $C_4$  y MAC, con respecto a la secuencia de fijación de  $CO_2$ ,

que difieren en la carboxilación, sucesos que se dan separados en plantas  $C_4$ , pero temporalmente separados (noche - día), en plantas MAC.

La gran flexibilidad que existe en la expresión de MAC, depende de la edad de la hoja (desarrollo, características de las especies y condiciones del medio), y el proceso semejante al metabolismo  $C_3$  y  $C_4$ , puede ser opcional en plantas MAC (Osmond, 1975, 1978) Algunas de las variaciones observadas en plantas sometidas a presión por humedad.

El patrón de intercambio de  $CO_2$ , en la madurez, en plantas MAC, sin problemas de agua comprende 4 fases.

1. Absorción y acidificación del  $CO_2$  en la oscuridad.
2. Una fuerte atracción para la fijación de  $CO_2$  en condiciones de luz.
3. Un subsecuente declinamiento de  $CO_2$  a cero durante la fase de descarbonización (desacidificación).
4. Fijación de  $CO_2$  de la atmósfera durante la última parte del período de luz.

El cambio diurno en la secuencia de la semejanza  $C_3$  o  $C_4$ , es acompañado por una fluctuación de la concentración de  $CO_2$ , y cambios en la sensibilidad del  $C_2$  en la fijación  $CO_2$ . (Osmond y Bjölkman, 1975).

El metabolismo ácido de las crasuláceas constituye una op-

ción de supervivencia" para la explotación de plantas de zonas áridas que están sometidas a modificaciones considerables durante la sequía (Osmond, 1978). Especies con un patrón típico de crecimiento en asimilación diurna cuando la sequía se intensifica: la asimilación nocturna de  $CO_2$  prevalece y durante condiciones extremas, las plantas MAC pueden aprovechar únicamente durante la noche - (Kluge 1976, Bartholomew 1973). El intercambio nocturno de gas - establece considerable aprovechamiento en la eficiencia del uso del agua debido a la baja demanda de evaporación (De Luca et. al., - 1977).

En otras plantas MAC, como el género Opuntia, se han encontrado pequeñas tendencias para asimilar  $CO_2$  durante el día bajo buenas condiciones de humedad (Szarek et. al., 1974 ; Hanscom y Ting, 1978). Durante la sequía, el cierre estomatal y una cutícula virtualmente impermeable de la planta, herméticamente sella y el intercambio de gas cesa, aunque la rutina diaria de acidificación - desacidificación continúa internamente. Opuntia bigelowii manteniendo un estado semejante por un período de 3 años por reciclamiento respiratorio de  $CO_2$  a través de vías de fijación. Por lo tanto se puede decir que las cactáceas pertenecen al ciclo  $C_3$  pero con MAC.

Por otro lado la producción de materia seca está en función

de la tasa de asimilación neta (TAN) que es la cantidad de materia seca producida por unidad de superficie (hoja) por unidad de tiempo (Grajeda, 1978), es decir, existe una relación estrecha entre el índice de área foliar (IAF) y la (TAN). Se ha visto que la tasa de crecimiento de un cultivo por unidad de área del suelo se incrementa a medida que IAF aumenta hasta que la mayoría de la luz incidente es interceptada, por esta razón los cladodios orientados norte-sur son los más eficientes fotosintéticamente.

Según estudios de Grajeda (1978), se encontró que existe una influencia de la edad del cladodio con su capacidad de producir brotes, esto a su vez como resultado de la orientación y eficiencia fotosintética. De esta manera indica que los cladodios de 6 meses fueron los más productivos, el hecho de que esos cladodios de 6 meses sean los más productivos se debe a que se presente un equilibrio fisiológico de máxima eficiencia, que disminuye al aumentar o disminuir la edad, por lo que las TAN en estos cladodios son las más altas, pues la producción de brotes supera en un 69.8% a la de los cladodios de 3 meses y la TAN también es superior en un 194.5% que en éstos, cuadro 6.

También se observó en ese estudio que el tamaño medio del brote que se dejó desarrollar en la primera emisión fue el que -

más influyó sobre las siguientes producciones de brotes, por lo que se supone que este tamaño presenta el nivel de alta eficiencia fotosintética. Conforme se deja desarrollar un número mayor de brotes de la primera emisión y luego se elimina (poda ligera), las producciones subsecuentes de brotes son más elevadas (cuadro 7).

En otro sentido Aguilar Becerril (1981), encontró que el mayor contenido de semillas abortivas presentes en el fruto se debió al ácido giberélico  $AG_3$ , que ocasionó 100% más de semillas abortivas con respecto al testigo, lo cual explica diciendo que probablemente se debió a que la primera aplicación hormonal eliminó los óvulos de los frutos como se señala Fogg (1963) o que fue debido a que el  $AG_3$  actuó como polenicida ocasionando que las semillas, no presentaran embrión (Weaver, 1961). Reporta que la Prolamina incrementó el peso del fruto explicando que este efecto, tal vez, pudo deberse a que la sustancia ocasionó un estímulo en el fruto para atraer fotosintatos, permitiendo incrementar el peso como lo plantea Weaver (1976).

Aguilar (op. cit.) y Hein (1931) señalan que, el amplio efecto de la aplicación de hormonas (auxinas y giberelinas) en las células de los frutos, hojas, tallos, etc., es el de aumentar la plasticidad de las paredes celulares; acentuando la flexibilidad de las paredes se disminuye la presión alrededor de la célula y la

Quadro 6. Efecto de la edad del cladodio madre sobre la producción de brotes y sobre la TAN de estos brotes. (Grajeda, 1978).

Edad - meses.	PROD. DE BROTES.		TAN (mg/cm. /hora).	
	A Kg/m <sup>2</sup> .	B. kg/0.036m <sup>2</sup> .	Clad. madre	Brotes.
3	14.56	0.779	0.037	0.031
6	25.89	1.479	0.109	0.068
12	21.99	0.960	0.055	0.032
0.01	0.46	0.198	0.012	0.006

Donde A., representa el efecto de la densidad de plantación, - edades del cladodio madre y de las flechas de corte sobre la producción de corte y B., el efecto de la edad del cladodio madre, tamaño de los brotes que desarrollaron en la primera emisión y la intensidad de poda de los mismos sobre la producción de brotes.

Quadro 7. Influencia de la edad del cladodio madre y la densidad de plantación sobre la producción de brotes. (Grajeda, 1978.)

Edad meses	Prod. 30 pl/ms.	Kg/m <sup>2</sup> . 55 pt as/m <sup>2</sup>
3	10.030	19.209
6	18.110	33.673
12	15.549	28.440
0.01	2.650	-

presión de turgencia, causada por las fuerzas osmóticas en la sabia vascular; con ésto se permite que el agua penetre a las células provocando su expansión.

Weaver (1976) plantea la hipótesis de que el aumento de volumen de los frutos se debe, principalmente, a la elongación celular provocada por efecto de las hormonas (giberelinas y auxinas) al controlar éstas la extensión del fruto. Este investigador considera que tales hormonas son capaces de desempeñar un papel predominante en la determinación de los patrones de crecimiento de los frutos. Hay dos líneas de pruebas que respaldan esa hipótesis. En primer lugar existe una correlación entre el desarrollo de las semillas (que presentan alta cantidad de hormonas) el tamaño y forma final de los frutos; en segundo, la aplicación de hormonas (en ciertos frutos) que en etapas particulares del desarrollo, provocan una respuesta de crecimiento de los mismos porque las giberelinas son capaces de atraer fotosintatos hacia ellos permitiéndoles llegar al tamaño comercial aunque carezcan de semillas o éstas hayan sido alteradas por la aplicación de hormonas.

Thiman y Went (1934), citados por Becerra (1975) demostraron que las auxinas estimulan la formación de raíces adventicias en estacas, se ha promovido su uso para este fin, sin embargo las estacas pequeñas con hojas con pocas reservas de auxinas o de carbohidratos requieren luz para la formación de alimentos y auxinas

para la formación subsecuente de raíces.

Aplicaciones de ácido giberélico en O. policantha, induce la producción de espinas y no causa elongación del eje. El reposo de las yemas axilares de estas mismas especies pueden ser activados por citocininas o el ácido giberélico. Con la aplicación de este último se ha observado que en el desarrollo de primordios no ocurren las células oclusivas, el tejido vascular y el parénquima.

Pimienta (1979) citado por Rodríguez (1982), observó en Opuntia amyclaea que aplicaciones de ácido giberélico aumentan el número de espinas y de cerdas por areola.

Rodríguez (1982), menciona que el estadio juvenil en los árboles propagados por semillas se caracteriza por una dominancia apical, crecimiento estacional del tallo, crecimiento del tallo por efecto de posición, tallos cortos y largos, crecimiento recurrente, tallos envolventes, formación de espinas, tallos con hojas diferentes, incapacidad de producir flores, abscisión de hojas, variación en fitotaxia, resistencia a enfermedades y la incapacidad de formación de raíces adventicias (Zimmerman 1971).

También es característica la fase juvenil el estado de crecimiento reproductivo, lo que aparentemente es una ventaja ecológica, ya que la planta alcanza un tamaño que le permite competir con las comunidades vegetales. Para el caso del nopal puede ser

contraproducente en su tamaño natural debido a que la planta joven de nopal que se origina de la semilla, es muy sensible a variaciones de temperatura y a grados de sequía que son sus enemigos naturales más fuertes, al menos en sus primeros estados de desarrollo (Zimmerman, 1971).

El estadio juvenil, se contrapone a los deseos de los productores, ya que ellos generalmente requieren de una producción alta que se debe alcanzar en el menor tiempo posible, después de haber establecido la plantación, es por esto que en el nopal es muy importante la reproducción vegetativa, ya que el cladodio lleva en sí, su estado de desarrollo de madurez, por lo que las hormonas relacionadas con la reproducción estarán en disposición de activar las yemas para la diferenciación y por lo tanto la iniciación floral. Esto explica por qué un cladodio puede al año o 2 años empezar a producir.

Algunos autores han estudiado el comportamiento respiratorio de frutos del nopal especie O. robusta Mill en condiciones ambientales ( $20 \pm 1^\circ \text{C}$ ; 60 - 65% H. R. ), y encontraron un comportamiento respiratorio similar a los de los frutos cítricos confirmándolo - adicionalmente por medio de la técnica Warburg empleando discos del tejido de la cáscara, con lo que estos autores clasifican al fruto del nopal como no climatérico, lo que indica de acuerdo al patrón respiratorio que la tuna posiblemente pueda resistir temperatu

ras de refrigeración, para su conservación. Estos frutos no climáticos tienen como característica que deben ser cosechados en estado de madurez comestible y no fisiológica como los frutos climáticos (platano, mango).

Ramayo et. al. (1978), encontró que las mejores condiciones de conservación fueron 10°C. con 85 - 90% H. R. almacenados durante 30 días. Regularmente los brotes tiernos son dañados a temperaturas por debajo de los 10°C.

Después del amarre del fruto se encontró un llenado de frutos cuyo crecimiento tanto de diámetro y longitud es casi lineal, por lo tanto Alvarado y Sosa (1978), consideró necesario combinar los aspectos de desarrollo de la flor con los del fruto para establecer la curva de crecimiento, la cual encontró que era del tipo sigmoide comportándose así de una manera atípica, en comparación de otras frutas.

Después del amarre él observó varias fases críticas en relación a los cambios físicos, fisiológicos y bioquímicos; la primera, observada a los 70 días después del amarre donde se tuvieron cambios pronunciados en apariencia física, actividad respiratoria y compuestos bioquímicos, la segunda se observó al rededor de los 90 - 95 días después del amarre donde los cambios fueron bioquímicos y respiratorios con lo que Alvarado y Sosa (1978), encontró

un parecido con el patrón de desarrollo de algunas bromeliáceas.

Los parámetros que pueden servir como índices de cosecha, son: la profundidad del receptáculo; los cambios bioquímicos en la cáscara y la pulpa; especialmente el contenido de sólidos solubles y azúcares; también es útil, a nivel comercial la gravedad específica que después de la 14ava. semana es mayor que 1.0 por lo que recomienda Alvarado y Sosa (1978), que la cosecha se realice después de la 14ava. semana.

#### 6.1.5.1. Fenología.

La variación climática a lo largo del año responde, como se sabe al movimiento de la tierra y a la posición del sol como consecuencia de esto las plantas (principalmente de zonas templadas y áridas) reaccionan a estos cambios climáticos.

Existen dos condiciones esenciales para que una especie vegetal pueda desarrollarse en una localidad específica, éstas son:

- La existencia de un intervalo suficientemente amplio para que la planta pueda completar su desarrollo desde el nacimiento o el brote, hasta la plena madurez de los frutos y semillas.
- Que durante dicho intervalo las condiciones atmosféricas adversas no lleguen a alcanzar una intensidad tal que pueda disminuir el rendimiento más allá de los límites convenientes. En el caso del nopal menos de 10°C.

La fenología se encarga por lo tanto de estudiar las relaciones de las plantas con el clima y su respuesta a éste, es decir, es el estudio de los fenómenos biológicos que acontecen con ritmo periódico, como la brotación de yemas, las inflorescencias, la maduración de frutos, la caída de hojas, etc. Estos fenómenos se relacionan con el clima de la localidad donde ocurre. (Hinojosa 1979).

También se define como la rama de la ecología que estudia los fenómenos periódicos de los seres vivos y sus relaciones con las condiciones ambientales, tales como: temperatura, insolación, humedad, etc.

Su importancia radica en que da a conocer cuáles son los períodos o etapas críticas de las plantas cultivadas; permite incrementar la producción, así como ahorrar los insumos disponibles, aumentando de esta manera los beneficios (Hinojosa, 1979).

Las divisiones del ciclo vegetativo hechas por la fenología son: - Períodos, Fases y Subperíodos.

El período: es el tiempo indispensable y suficiente que necesita una planta para ser estimulada por un excitante externo que sea capaz de provocar una reacción y que permita la repetición intermitente del estímulo (Brom Rojas, 1976).

La fase: es la aparición, transformación o desaparición rápida de los órganos de la planta; estas profundas transformaciones

se presentan en intervalos muy breves, por ejemplo espigamiento del maíz que se realiza en un período bastante corto.

El subperíodo: es el intervalo de tiempo limitado por dos fases; durante cada subperíodo, las tendencias de las plantas varían en una sola dirección o permanecen constantes, como los subperíodos de los cereales (cuadro 8).

Cuadro 8. Subperíodos de cereales. (Tomado de Hinojosa, 1979).

Subperíodo	Intervalo	Nombre
Primero	Siembra-Principio	Nacencia
Segundo	Inicio-Fin de amacollaje	Amacollaje
Tercero	Fin de amacollaje <b>espigamiento</b>	Espigamiento
Cuarto	Espigamiento-Madurez	Madurez.

En el desarrollo del nopal se pueden caracterizar estas divisiones del ciclo vegetativo. Así tenemos que, el nopal tiene períodos de desarrollo vegetativo y períodos de floración y fructificación.

En el período de desarrollo vegetativo podemos caracterizar las siguientes fases:

- Fase de germinación.
- Fase de crecimiento (establecimiento)
- Fase de madurez.

En un estudio del Nopal forrajero Martínez (1967) menciona que en 1961, con una mezcla de semillas de variedades blanca, amarilla y roja, en la región de Escobedo, se estableció un vivero al norte de Saltillo, teniendo una población de 300,000 plántulas. En Enero 1962, ocurrieron heladas de  $16^{\circ}\text{C}$  bajo cero, que mataron la mayor parte de estas plántulas resistiendo sólo 45 de ellas, de las cuales se cultivaron 31, continuaron las heladas y aún así, solo 8 de éstas en Agosto 1967, empezaron a producir tunas; en esta etapa de la planta se hicieron plantaciones, formando así nuevos clones que han resistido temperaturas de  $5^{\circ}\text{C}$  bajo cero. Sin embargo observó que las plantas de pencas tiernas muestran mayores lesiones por heladas que las provenientes de pencas de más edad.

De esta manera se puede decir que las plantas del nopal son susceptibles a daños por temperatura en fases bien distinguidas como postgerminativa y en subperíodo de desarrollo vegetativo del cladodio. Algunos estudios de conservación han encontrado que por debajo de  $10^{\circ}\text{C}$ , los cladodios tiernos son seriamente dañados por el frío.

En la fase de crecimiento encontramos lo que actualmente se

conoce como dominancia apical; ésta explica por qué una planta en su madurez responde a la poda. Esta dominancia está influida por las auxinas y en especial por el ácido indolacético (IAA), que en dosis elevada, inhiben el desarrollo de tal forma que es muy importante la concentración, ya que dependiendo de ello puede ser o no, un promotor de crecimiento, en el período de madurez para que la planta responda a las podas.

De esta manera la propagación por semilla es menos efectiva, ya que requiere de un conjunto de condiciones que no siempre se reúnen sobre la tierra; cuando éstas se presentan y germina la se milla, el desarrollo subsecuente de la planta es lento, pues basta la acción mecánica de las tormentas para que se desarraigue o la más leve sequedad para que mueran. Sólo se asegura la vida de la planta cuando el sistema radical se ha desarrollado por completo. Pasando este período crítico, el crecimiento es más activo. Así las 3 fases mencionadas anteriormente constituyen este período crítico que Piffa (1977) menciona y que viene a ser específicamente el período de desarrollo vegetativo.

El período de Floración y Fructificación es el período de pro ducción de la planta de nopal, que se divide en:

- Fase de floración.
- Fase de fructificación.

La periodicidad de estas fases se debe a una tercera fase -

que es causada por la influencia de la temperatura, radiación y humedad del suelo que la planta aprovecha para sintetizar reservas metabólicas.

En la fase de floración podemos distinguir subfases como son:

- La iniciación o aparición de yemas florales. Al respecto Alvarado y Sosa (1978), en un estudio de fisiología y bioquímica del fruto (tuna) de O. amyclaea que se inició a fines de Enero, tuvieron como resultado 55 días en promedio para la apertura de la flor a partir de la emergencia de la yema donde el crecimiento fue del tipo sigmoidal tanto para longitud, como diámetro del botón.

Los factores que influyeron en esta diferenciación floral (Alvarado y Sosa, op. cit.), son el estado nutricional de la planta, la posición de la yema en el cladodio, la orientación de éste con respecto al sol (Becerra et. al. 1975), así como la competencia por número de yemas; estos factores pueden modificar el tiempo de esta fase.

- Floración. esta subfase como su nombre lo indica, consiste en la aparición de flores que regularmente sucede en los meses de Abril y Mayo.

En el caso particular de O. amyclaea, la flor permanece únicamente 24 horas; en este lapso los lóbulos del estigma se sepa-

ran, se observan brillosos y turgentes, lo que indica su receptividad al polen; después de esto, la flor se marchita.

El tiempo se transcurre entre la apertura de la flor y la separación de sus partes puede variar desde 5 hasta 20 días. Sin embargo Alvarado y Sosa (op. cit.) considera que la vida del fruto empieza a contar 2 días después de la apertura floral, lo que incluye el momento de antesis; en el cual se puede decir que se inicia la fase de fructificación, después del amarre y dura hasta el momento de la cosecha.

Estos autores, consideran a la tuna como un fruto de ciclo - corto, ya que su desarrollo toma aproximadamente 120 días después del amarre.

Por lo tanto como el nopal se le puede considerar como un - frutal, éste responde a condiciones semiáridas y específicamente - a las anteriormente mencionadas por lo que presenta subperíodos - como los que se muestran en el cuadro No. 9.

Cuadro 9. Subperíodos del Nopal (Grajeda, 1978).

Subperíodo	Intervalo	Nombre.
Primero	Término de cosecha-Brotación de yema	Dormancia.
Segundo	Brotación de yemas-floración	Floración.
Tercero	Floración-Fructificación.	Fructificación I.
Cuarto	Fructificación-Iniciación de madurez.	Fructificación II.
Quinto	Inicio de madurez-Final de madurez.	Madurez.

#### 6.1.6. Genética del Nopal.

Muchas especies de zonas áridas, han sobrevivido al medio a través de adaptaciones a que se sujetan de acuerdo a las necesidades que la planta requiere para equilibrar el medio y hacerlo propicio para su desarrollo.

De esta manera, podemos encontrar una gran variedad y diferenciación en plantas de la misma especie, ya que las especies se adaptan al medio en que se han venido desarrollando, hasta generar diferencias morfológicas que las hace diferentes aún siendo la misma especie, para caracterizar ecotipos que no son más que diferencias en formas, inducidas por las diferencias en el medio, Tureccson (1922).

El nopal es una de las plantas que es muy elástica al medio pues es capaz de adaptarse a él mediante modificaciones morfológicas, como son: hábitos, diferencias en espinas, etc.

Sosa (1964), citado por Rodríguez B. (1982), indica que en estudios cromosómicos de algunas especies de Opuntia apoyan el número básico ( $X = 11$ ). Se tienen evidencias de que existe poliploidía, encontrándose una serie que va desde los diploides ( $2n = 22$ ) hasta los octaploides ( $2n = 88$ ) en Opuntia amyclaea y O. megacantha. Al respecto, Barrientos (1983), menciona que Sosa (1964), hizo la caracterización de tres formas de O. robusta que designó I, II y III. Las formas I y II tenían formas estructuralmente herma

froditas, sin embargo, los sexos estaban separados, correspondiendo los niveles de ploidía para I ( $2X = 22$ ) y II ( $4X = 44$ ); estas dos formas se encuentran creciendo en forma silvestre; la forma III ( $4X = 44$ ), que se cultiva, es hermafrodita. Se sugiere que las formas II y III son autoploiploides de la forma I.

Se ha mostrado que existe una correlación positiva entre distribución y poliploidía en las especies de Opuntia. La poliploidía es importante, ya que da como resultado cambios en la norma de reacción del genotipo, permitiendo así una mayor flexibilidad ecológica.

En el cariotipo de Opuntia ficus-indica y O. dillenii, se encontraron asociaciones cromosómicas con un complemento cromosómico de 88 y 66 respectivamente; tales asociaciones revelan el probable origen híbrido del material estudiado.

A C. amyclaea corresponde la condición diploide a variedades silvestres O. robusta generalmente de multiplicación vegetativa por fracciones de tallos y a través de frutos parcialmente desarrollados, los cuales llegan a enraizar posteriormente en el nivel tetraploide  $2n = 44$  encontrándose variedades de las especies O. robusta silvestre y cultivadas que presentan características morfológicas semejantes al diploide. Esto hace suponer la posibilidad de que estas variedades sean auto tetraploides; dichas características son principalmente la coloración de los tallos y protuberancias del fruto.

Existe una variación grande en las variedades tetraploides de la especie O. robusta, tanto el tamaño y forma de sus tallos, como en la condición de sus flores, pues pueden ser dioicas, así como hermafroditas.

Las especies hexaploides y tetraploides O. lindheimeri, O. phaeacantha, var. major y O. edwardsii ( $X = 11$ ) (O. rogusta), pueden ser hibridadas en toda combinación; sin embargo los pentaploides son probables a ocurrir. En un examen de 4 poblaciones en 2 localidades, se encontraron 13 pentaploides, éstos son principalmente híbridos de O. lindheimeri (6 X) X O. edwardsii (4 X), O. phaeacantha var major (6 X) X O. edwardsii (4 X) estos ejemplos de pentaploides en Opuntia pueden ser sumados a los relativamente pocos casos registrados de ocurrencia de pentaploide (Grant y Grant, 1982).

Un estudio más amplio de los caracteres morfológicos sugiere que los pentaploides han tenido tres orígenes independientes: O. lindheimeri (6X) X O. edwardsii (4 X); O. phaeacantha var major (6X) X O. edwardsii (4X) y O. edwardsii (6X) X O. edwardsii (4X).

La fertilidad del polen y las semillas se desconocen.

A pesar de la divergencia entre la floración de O. robusta, y otras especies, se han logrado cruzamientos, uno de los que más sobresale es el de O. robusta tetraploide con O. robusta diploide. De estos cruzamientos se han identificado dos plantas triploides.

Se conocen numerosos triploides exportáneos en grupos de -

plantas con reproducción, muchos de éstos casos reportados comprenden plantas cultivadas; la fertilidad de los triploides es poco frecuente.

Un ejemplo de heptaploides ( $2n = 77$ ) en Opuntia es un híbrido entre O. ficus-indica (8x) y O. phaeacantha var major (6x) en San Luis Obispo, California. La fertilidad natural en los heptaploides es menos común que en los pentaploides (Grant y Grant op. cit.).

El reconocimiento de los diversos tipos de poliploides está dado por el grado de homogeneidad entre los genomios. Se puede considerar a un individuo como autopoliploide, entre otras cosas, cuando existe una gran semejanza morfológica entre éste y el diploide. Un autopoliploide puede considerarse como un individuo que posee genomios distintos pero repetidos, pudiendo o no existir cierta homogeneidad entre ellos.

El recuento cromosómico de algunas especies de Opuntia, se muestran en el siguiente cuadro (cuadro 10), la posibilidad de cruzamiento mediante una polinización entomófila es frecuente, con posterioridad a la caída de los frutos y la diseminación de las semillas por aves, es posible obtenerse variación, la cual puede -

Cuadro 10. Recuento cromosómico en especies del género Opuntia (tomado de Pinkava et. al. 1971, 1973)

ESPECIE	N	2N	REFERENCIA.
<u>O. acanthocarpa</u> Engelm			
var. <u>coloradensis</u> Bens	11	22	Pinkava et. al. 1973
var. <u>ganderi</u> Bens	11	22	Pinkava et. al. 1973
var. <u>major</u> (Engelm) Ben	11	22	Mc. Leod, 1970
<u>O. antillana</u> Br y Rose	11	22	Spencer, 1955
<u>O. arbuscula</u> Eng.	33	66	Mc. Leod, 1970
<u>O. aurea</u> Bax.	33	66	Mc. Leod et. al. 1973.
<u>O. basilaris</u> Eng. var basilaris	11	22	Earle, 1970
<u>O. bigelovii</u> Engelm	11	22	Dodge, 1970
<u>O. borinquensis</u> Br. y Rose	11	22	Spencer, 1955
<u>O. brasiliensis</u> (Willd) Haw	11	22	Johansen, 1933
<u>O. chlorotica</u> Engelm	11	22	Stockwell, 1935
<u>O. crinifera</u> Pfeiff	11	22	Katagiri, 1953
<u>O. curvospina</u> Griff	22	44	Pinkava et. al. 1973
<u>O. cylindrica</u> D. C.	55	110	Katagiri, 1953
<u>O. diademata</u> Lem	44	88	Katagiri, 1953
var. <u>calva</u> Weber	44	88	Katagiri, 1953
<u>O. dillenii</u> (Ker-Gaw) Haw	11	22	Spencer, 1955
<u>O. discata</u> Griff	33	66	Stockwell, 1935
<u>O. echinocarpa</u> Engelm	11	22	Pinkava et. al. 1973
<u>O. elongata</u> Haw	44	88	Katagiri, 1953
<u>O. erinacea</u> Engelm var. erinacea	22	44	Mc. Leod, 1970
<u>O. ficus-indica</u> (L) Miller	11	22	Spencer, 1955
	44	88	Brown, 1970
$7_1+29_{11}+1_{III}+5_{IV}$		88	Angulo, 1952
$2_1+40_{11}+2_{III}$		88	Angulo, 1952
$4_1+36_{11}+4_{III}$		88	Angulo, 1952
$33_{11}$		66	Angulo, 1952
<u>O. fulgida</u> Engelm			
var. <u>fulgida</u>	11	22	Pinkava et. al. 1973
<u>O. imbricata</u> D. C.	11	22	Katagiri, 1953
<u>O. leptocaulis</u> De Cand	22	44	Mc. Gill, 1970
<u>O. leucotricha</u> D. C.	22	44	Katagiri, 1953

continúa cuadro 10.

<u>Q. littoralis</u> (Engelm)			
Cock. var. vaseyi (Coul)			
Ben	33	66	Pinkava et. al. 1971.
<u>Q. macrorrhiza</u> Engelm			
var. macrorrhiza	22	44	Ganz, 1965
<u>Q. microdasys</u> Lem	11	22	Katagiri, 1953
<u>Q. monacantha</u> Haw			
var. variegata Cels	22	44	Katagiri, 1953
<u>Q. moniliformis</u> (L) Haw	11	22	Spencer, 1955
<u>Q. opuntia</u> Karst	22	44	Katagiri, 1953
<u>Q. oricola</u> Phil.	33	66	Pinkava et. al. 1973.
<u>Q. phaeacantha</u> Engelm	33	66	Stockwell, 1935
var. discata (Griff) Ben	33	66	Ganz, 1965
var. laevis (Coul) Ben	33	66	Smith et. al. 1965
var. major Engelm	33	66	Ganz, 1965; Pinkava et. al. 1973.
var. phaeacantha	33	66	Pinkava, 1965
<u>Q. pilifera</u> Weber	11	22	Katagiri, 1953
<u>Q. polycantha</u> Haw	22	44	Stockwell, 1935
	33	66	Stockwell, 1935
<u>Q. ramosissima</u> Engelm	11	22	Mc. Leod, 1973
<u>Q. repens</u> Bello	11	22	Spencer, 1955
<u>Q. rubescens</u> Salm Dick	11	22	Spencer, 1955
	66	132	Katagiri, 1953
<u>Q. rufida</u> Engelm	11	22	Katagiri, 1953
<u>Q. salmiana</u> Parm	22	44	Katagiri, 1953
<u>Q. spinosior</u> (Engelm)			
Toum	11	22	Pinkava, 1973
<u>Q. subulata</u> Engelm	33	66	Katagiri, 1953
<u>Q. tomentosa</u> Salm Dick	22	44	Katagiri, 1953
<u>Q. triacantha</u> (Willd) Sweet	11	22	Spencer, 1955
<u>Q. violacea</u> Engelm			
var. santa-rita (6-H) Ben	11	22	Stockwell, 1935
			Pinkava et. al 1973.
var. violacea	22	44	Pinkava, 1965
<u>Q. whipplei</u> Engelm			
var. whipplei	11	22	Mc. Leod, 1973
<u>Q. hybrid (Occidentalis-demissa</u> " Ben.)	33	66	Pinkava, 1971.

---

mantenerse a través de multiplicación vegetativa.

Parece ser que la reproducción sexual en O. leptocaulis y O. robusta (diplide), es difícil, ya que existe una atrofia en el estilo y en consecuencia no existe la formación de semillas; la proyección se realiza por fragmentos de tallo y receptáculo floral.

Por otra parte se ha comprobado la autocompatibilidad de algunas variedades, lo cual da la formación de líneas.

Rodríguez (1982), en un estudio con O. amycleae encontró diferencias significativas entre variedades en cuanto a: número de espinas por areola, longitud de espinas, número de areolas por decímetro cuadrado, grueso ancho y largo del cladodio, número de brotes, área y volumen aproximado del cladodio, en clones de plantas adultas, a los 13 meses. También encontró diferencias en plantas juveniles en: longitud de espinas, grueso y ancho del cladodio, número de brotes y volumen aproximado del cladodio. En clones de plantas adultas, a los 17 meses de plantados hubo diferencias significativas entre variedades en: número de espinas por areola por decímetro cuadrado, ancho y largo de cladodio, y para los clones de plantas juveniles las diferencias significativas fueron en: número de espinas por areola en el tercio inferior, número de areolas por decímetro cuadrado, grueso, ancho y largo del cladodio, área y volumen aproximado del cladodio. Por lo que sugiere, que en -

base a sus resultados los caracteres morfológicos en clones de plantas adultas, se requiere al rededor de 13 meses para comparaciones entre variedades, y en clones de plantas juveniles se requiere de 17 o más meses después de plantados para comparación entre y dentro de variedades. También encontró que tal parece que el carácter de longitud de espinas está asociado con la variedad y la fase de desarrollo de la planta.

#### 6.1.7. Composición Química.

La composición química de las cenizas de las cactáceas es variable en las distintas especies y también dentro de una misma especie, dependiendo de la composición química del suelo y de los complicados fenómenos para disponer de sus nutrientes; además se relacionan éstos fenómenos con la acidez, salinidad, conductividad, grado de disociación o ionización, humedad y textura del suelo. Los componentes principales de las cenizas son: calcio y potasio, encontrándose también algo de magnesio, sílice, sodio, pequeñas cantidades de hierro, aluminio y manganeso, predominando en forma de carbonatos aunque también se encuentran como cloruros, sulfatos y en pequeñas cantidades de fósforos (Villarreal et. al. 1963)

Juritz (1921), citado por Villarreal et. al. (op. cit.) efectuó estudios de fermentación. En ese mismo año Fowler y Col., estudiaron algunas variedades de nopales de la India llegando a la con-

clusión, desde el punto de vista de fermentación, de que no contenían suficientes compuestos fermentables para competir con otros materiales baratos como fuentes de etanol. Así mismo Bravo (1978), reporta que los carbohidratos que se encuentran son monosacáridos, disacáridos y polisacáridos. Sin embargo Villareal et. al. (1963) indican que los principales productos fermentables en dos tipos de nopal son los que se muestran en el cuadro II.

Cuadro II .- Principales productos fermentables de 2 tipos de nopal (tomado de Villareal et. al. 1963).

	<u>O. tormentosa</u>	<u>O. robusta</u>
Azucres totales	8.98	
Polisacáridos totales	8.49	
Disacáridos totales		1.6
Monosacáridos totales		0.32
Hexosas totales	3.78	
Hexosas polisacáridos	1.97	
Hexosas monosacáridos		0.26
Pentosas totales	5.20	
Pentosas monosacáridos	0.10	
Pentozanas	0.12	
Carbonatos	1.70	

Los néctares son sustancias exudadas por órganos especializados de las cactáceas y son una mezcla de sacáridos que a veces, probablemente contengan también, ligeras cantidades de aceites esenciales, sobre todo los producidos en flor y su función es en la polinización.

Así mismo, la composición de azúcares en Opuntia, tiene interés debido a la utilidad comercial de la goma de cholla y otros mucilagos; de mucilagos hidrolizados, se han aislado: glucosa, fructosa (Hare, 1921), arabinosa, rhaminosa, xilosa, galactosa y ácido galacturónico (Moyna, 1978; Parikh, 1966 y Sands, 1929).

Los oxalatos de calcio ya cristalizado son insolubles y se almacenan en tallos viejos constituyendo hasta el 85% de las cenizas de ejemplares viejos.

En las cactáceas, se encuentra libre el ácido cítrico, no así el isocítrico.

Meyer y McLaughlin (1981) mencionan que entre las Opuntia, - por ser plantas CAM, acumulan ácidos orgánicos entre los que se encuentran el ascórbico y deshidroascórbico en O. vulgaris, málico y succínico en O. dillenii y málico, cítrico y piscídico en Opuntia ficus-indica.

El contenido de cenizas en pencas de nopales varía según la especie. Esto se puede observar en el cuadro 12, donde la varia-

ción en base húmeda es inferior de 2.1% que corresponde a O. ficus-indica y de 4.3 en Opuntia sp. Blanca II

Quadro 12. - Contenido de cenizas y celulosa de varias spp. de nopal. (Villareal et. al., 1963).

Especie	Cenizas		Contenido de celulosa	
	base húmeda	base seca	base húmeda	base seca.
<u>O. ficus-indica</u> var I.	2.1	15.2	11.38	81.88
<u>O. robusta</u>	2.5	20.1	5.72	46.93
<u>O. amyclaea</u>	2.9	19.8	9.20	63.01
<u>O. sp.</u> (Blanca I)	3.2	26.8	4.63	37.81
<u>O. ficus-indica</u> var II.	3.4	25.9	5.20	39.69
<u>O. megacantha</u>	3.6	21.1	8.51	50.10
<u>O. streptacantha</u>	4.0	27.2	2.73	18.57
<u>O. sp.</u> (Blanca II)	4.5	34.4	4.48	37.63

Pritchard y Hall (1976), en un estudio en el que analizaban las gloquidias de O. compressa y O. microdasys, encontraron que aunque causaban irritación, estaban compuestas únicamente de cristales de celulosa pura.

Suárez y colaboradores (1954) hicieron estudios sobre el contenido de aminoácidos en algunos alimentos vegetales, entre ellos el nopal, así como de proteínas en el fruto de éste. Cuadros 13 y 14.

Cuadro 13. Contenido de proteínas y aminoácidos indispensables de las muestras analizadas. Los datos se expresan en por ciento del material húmedo. \* (Tomado de Suarez et. al. 1954).

Muestra	Humedad	Proteínas	Argina	Histidina	Lisina	Metionina	Tre - onina
Nopales	91.25	1.07	0.031	0.016	0.043	0.008	0.052
Acelgas	91.75	2.18	0.055	0.028	0.062	0.013	0.090
Berro	94.72	1.85	0.057	0.037	0.096	0.020	0.085
Chile jalapeño	91.50	1.01	0.020	0.012	0.030	0.006	0.045
Chile poblano	89.90	1.26	0.025	0.014	0.038	0.004	0.050
Espinacas	94.11	1.70	0.076	0.032	0.070	0.024	0.083
Romeros	89.20	2.56	0.060	0.035	0.087	0.013	0.087

Cuadro 14. Análisis Bromatológico para la determinación de compuestos nitrogenados en la tuna de diferentes especies y entidades - (según Suarez y colaboradores, 1954).

Nombre vulgar	Nombre científico	procedencia	Humedad gr.	Proteínas gr.
Tuna (con semilla)	<u>Opuntia sp.</u>		77.3	1.31
Tuna blanca (con semilla)	<u>Opuntia hyptiacantha</u>	Hidalgo	86.2	- -
Tuna cardona (sin semilla)	<u>Opuntia streptacantha</u>	Michoacán	91.0	0.05
Tuna cardona (con semilla)	<u>Opuntia streptacantha</u>	Durango	88.1	0.56
Tuna cascarona (sin semilla)	<u>Opuntia hyptiacantha</u>	Durango	88.0	0.69
Tuna chaveña (sin semilla)	<u>Opuntia hyptiacantha</u>	Durango	90.8	0.50
Tuna colorada (con semilla)	<u>Opuntia robusta</u>	Hidalgo	82.0	- -
Tuna mansa (sin semilla)	<u>Opuntia ficus-indica</u>	Michoacán	89.4	0.93
Tuna mansa blanca (con semilla)	<u>Opuntia ficus-indica</u>	Hidalgo	87.8	1.21
Tuna mansa colorada (con semilla)	<u>Opuntia robusta</u>	Hidalgo	85.7	1.43
Tuna tapon (con semilla)	<u>Opuntia robusta</u>	Hidalgo	86.3	1.93
Tuna redonda (con semilla)	<u>Opuntia sp.</u>	Hidalgo	85.6	1.62
Tuna roja (con semilla)	<u>Opuntia streptacantha</u>	Hidalgo	82.6	1.81.

Villareal et. al. (1963), encontró que O. megacantha, contiene mayor cantidad de sólidos solubles como de sólidos totales, 8.6° y 17° Brix, respectivamente. Observó también que el pH. no varió - considerablemente con las diferentes especies como se puede ver - en el cuadro 15.

Cuadro 15 .- Algunas características físicas y químicas de varios - tipos de nopal (según Villareal, 1963)

	largo		peso kg.	sólido			sólido	sol.
	ancho			solub.	pH.	acid. total.		
<u>O. ficus-indica</u> A.	16	11.5	0.117	7.7	13.8	5.1	0.12	61.16
<u>O. robusta</u>	25	15.0	0.472	7.2	12.4	4.78	0.41	17.56
<u>O. streptacantha</u>	22	18.5	0.581	7.7	14.7	4.88	0.48	16.04
<u>O. amyclaea</u>	34	19.0	0.750	8.81	14.6	4.8	0.57	14.21
<u>O. sp. I</u>	33	21.0	1.000	7.1	12.5	4.8	0.25	28.4
<u>O. ficus indica</u> V.	20	14.5	0.230	7.6	13.1	4.75	0.36	21.32
<u>O. megacantha</u>	29	14.5	0.387	8.6	17.0	4.81	0.20	43.00
<u>O. sp. II</u>	23	14.5	0.487	7.3	11.9	4.9	0.30	23.71.

La relación de sólidos solubles/acidez total podría considerarse como una característica de las especies siempre y cuando se analicen las pencas en el mismo estado de madurez.

Villareal et. al. (1963), obtuvieron los siguientes resultados en cuanto a contenido de pectinas (cuadro 16).

Cuadro 16. .-Contenido de pectinas de varias especies de nopal, -  
(tomado de Villareal et. al. 1973).

Especie	% pectina Total		% protopectina		% pectina soluble	
	BH.	BS.	BH.	BS.	BH.	BS
<u>O. ficus indica</u>	1.91	13.84	0.097	3.56	1.418	10.28
<u>Opuntia sp. I.</u>	0.95	7.6	0.448	3.58	0.482	4.02
<u>O. ficus indica V.</u>	1.1	8.39	0.622	4.74	0.478	3.65
<u>O. amyclaea</u>	1.4	9.58	0.685	4.69	0.715	4.89
<u>O. sp. II.</u>	0.84	7.05	0.721	6.05	0.129	1.00
<u>O. megacantha</u>	0.805	5.06	0.586	3.43	0.279	1.63
<u>O. streptacantha</u>	0.97	6.59	0.605	4.38	0.365	2.21
<u>O. robusta.</u>	3.3	26.61	0.653	5.26	2.64	23.87

Donde O. robusta, contuvo una cantidad alta de pectina total, protopectina y pectina soluble en agua, por lo que es la que presenta mayores convenientes si se tratara de obtener pectinas de nopal.

Así mismo Villareal et. al. (1964), en un estudio químico sobre jugos de tuna enlatados obtuvo los resultados siguientes:

El contenido de vitamina C, en tunas parece ser sensiblemente mayor que en algunos otros frutos como la pera, plátano, naranja, durazno, mango, pero dentro de las diferentes tunas puede ser diferente la concentración. (cuadro 17). El mayor contenido de -

éste se encuentra en la cáscara del fruto.

El contenido de Ca. cenizas y fibra cruda, también resulta ser mayor en las tunas; en cambio es el fruto el que tiene un nivel muy bajo de carotenoides.

También se mencionan algunas diferencias en la composición química de 7 especies de tuna. Se encontró que la tuna cardona (*O. streptacantha*) al compararla con las demás tunas estudiadas, fue la que demostró tener mayores ventajas en cuanto a sus características, ya que su pulpa fue la que contuvo la mayor cantidad de pectina total, dicho valor correspondió a 2.001% en base seca, este factor influye en su capacidad para ser enlatada.

Cuadro 17. - Composición química de la tuna de varias especies de nopal (Villarreal et. al., 1963)

	pH.	solidos sol. Briv. a 20°	Solid. totales %	acidez total como ac. - cítrico.
<i>O. megacantha</i> S.L.P.	5.7	13.65	17.9	0.071
<i>O. megacantha</i> Gto.	6.0	13.30	15.64	0.064
<i>O. streptacantha</i>	5.25	13.45	18.3	0.129
<i>O. larregi</i>	5.20	11.58	15.49	0.136
<i>O. amyclaea</i>	5.70	13.95	18.23	0.103
<i>O. ficus-indica.</i>	5.85	14.00	16.79	0.084

Otros autores encontraron en el nopal un contenido de almidón

de 24.45%, celulosa 47.00%, proteína 8.65%, sales minerales 18.6%, encontrándose además que poseía un valor nutritivo expresado en calorías /100 gramos de muestras húmedas, las cuales fueron: grasa - 8.38 cal., proteína 37.36 cal., y carbohidratos 98.74 cal.

Varios autores han estudiado la composición química del nopal, Palomo (1963), los compara con otros forrajes y los cita en el siguiente cuadro (cuadro 18).

Cuadro 18. -Composición química del nopal según varios autores y - comparada con otros forrajes según Palomo (1963).

	Villareal	Dugast	Escobar	Lozano	X
Agua	91.80	92.2	83.55	92.05	89.75
Proteína	00.66	0.63	0.40	0.52	0.5525
Grasa	0.11	0.16	0.20	0.09	0.14
Hid. de carbono	5.50	4.54	8.00	5.61	5.913
Celulosa	1.15	1.06	-	-	1.05
Cenizas	1.58	1.41	3.40	1.08	1.868
Agua	Zacate 66.8	Avena 87.0	Ensilado 73.7		
Proteínas	1.4	3.4	1.1		
Grasas	0.5	0.5	0.7		
Hid. de C.	17.0	4.1	1.5		
Celulosa	--	--	--		
Cenizas.	2.3	1.6	1.7		

En el nopal se puede observar que el contenido de agua y de carbohidratos es mayor su proporción y sólo es superado en este último aspecto por el zacate bermuda. En cuanto a contenido prótico y grasas es muy pobre pero equiparable con otros forrajes.

Cepeda Valdéz (1969), encontró que el nopal contiene: calcio 0.22 gr. indicios de cobalto y cobre, fósforo 0.24 gr., hierro 0.027 gr. %, magnesio 0.188 gr.%, sílice 0.040 gr.%, por lo que puede ser fuente de Ca, P. Fe. Asimismo se reporta que puede llegar a ser tóxico por su contenido de nitratos.

Estos análisis nos dan resultados alentadores para que el nopal sea utilizado como forraje. Pero el contenido de sustancias nutritivas es bajo debido a que el nopal tiene un alto porcentaje de agua, lo cual diluye en gran parte estas sustancias, sin embargo combinado con rastrojos o materia seca, este problema puede reducirse.

También es importante mencionar que varía la concentración de su composición química de acuerdo con la época del año y que con la humedad sucede lo mismo según la edad del tallo.

Meyer y McLaughlin (1981), haciendo una revisión de los estudios fitoquímicos de Opuntia realizados por diversos autores; mencionan que:

- Del extracto de flores de Opuntia ficus-indica, se ha obtenido  $\beta$  sitosterol, así como abundantes ácidos libres y esterificados, -

entre los que se encuentran el palmítico, láurico, oléico y mirístico.

- Los pigmentos de Opuntia que han sido investigados, incluyen una betaxantina llamada indicaxantina (fig. 18a) y betacianinas tales como betanidina, betanina, filocactina. Los carotenoides: xantofila y rodoxantina, se han encontrado en las hojas jóvenes de Opuntia humifusa. De las flores de las plantas del género se han aislado flavonoides tales como, isorhamnetina (fig. 18b), hiperina (fig. 18c), narcisina (fig. 18d) 3 rutinosido (fig. 18e) y 3-rhamnogalactosido (fig. 18f). También se han encontrado trazas de antocianinas en Opuntia ficus-indica.

El análisis de los constituyentes volátiles, realizado en los frutos de Opuntia ficus-indica, ha revelado numerosos alcoholes saturados, y no saturados desde el C<sub>1</sub> hasta el C<sub>9</sub>; algunos compuestos carbonilo aparecieron en baja concentración, y se han observado ésteres muy diversos; también, se han detectado en cantidades muy pequeñas los "mirceno" terpenos, "limoneno" y "γ-terpinedo". Tal vez los compuestos del C<sub>9</sub>, puedan ser responsables del sabor del fruto.

Estos mismos autores mencionan que en cuanto a los alcaloides, en 1947 fue detectado un alcaloide que no se identificó; en 1960 se aisló el alucinógeno conocido como "cactus San Pedro" (Tri

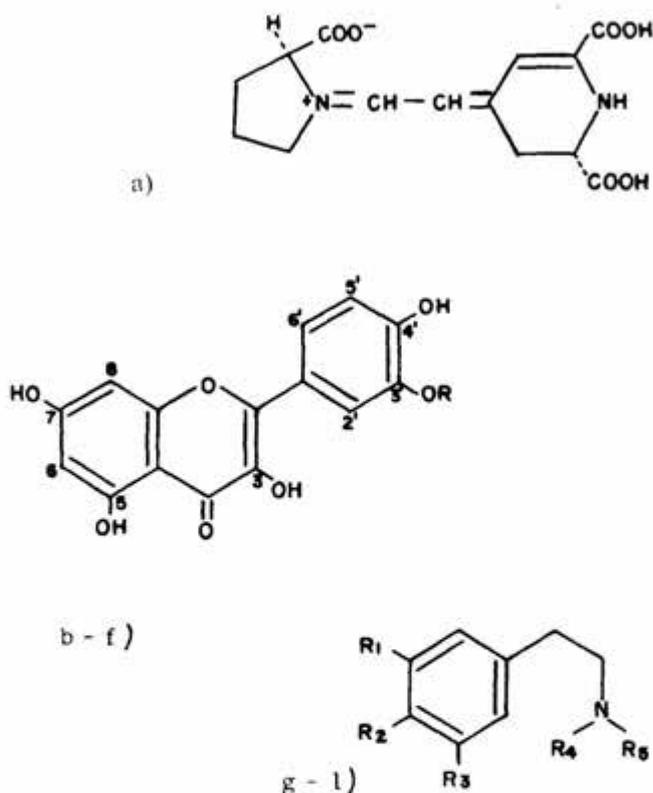


Fig. 18 . Algunos compuestos obtenidos de *Cpuntia* (tomado de - Meyer y Mc. Laughtin, 1981): a) indicaxantina; b) isorhamnetina: R = CH<sub>3</sub>; c) hiperina; R = 1-3, galactosido; d) narcisina: R = CH<sub>3</sub>; e) 3- rútinoso: R = CH<sub>3</sub>, 3- galactosido; f) R = CH<sub>3</sub>, 3- rhamnógalactosido; g) mescalina: R<sub>1</sub> = R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = C CH<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> = R<sub>5</sub> = H; h) tiramina: R<sub>1</sub> = R<sub>3</sub> = H, R<sub>2</sub> = OH, R<sub>4</sub> = R<sub>5</sub> = H; i) N- metiltiramina: R<sub>1</sub> = R<sub>3</sub> = H, R<sub>2</sub> = OH, R<sub>4</sub> = R<sub>5</sub> = CH<sub>3</sub>; j) hordenina: R<sub>1</sub> = R<sub>3</sub> = H, R<sub>2</sub> = OH, R<sub>4</sub> = R<sub>5</sub> = CH<sub>3</sub>; k) 3-metoxitiramina: R<sub>1</sub> = H, R<sub>2</sub> = OH, R<sub>3</sub> = OCH<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> = R<sub>5</sub> = H; l) 3,4- dimetoxi, β- fenetilamina: R<sub>1</sub> = H, R<sub>2</sub> = R<sub>3</sub> = OCH<sub>3</sub>, R<sub>4</sub> = R<sub>5</sub> = H.

chocereus pachanoy) de ejemplares argentinos. La mescalina (fig. 18g) se encontró en Opuntia spinosior de Arizona. Asimismo, en especies de cholla, se han encontrado los alcaloides que incluyen - las tiraminas (fig. 18h): N- metiltiramina (fig. 18i), hordenina (fig. 18j), 3-metoxitiramina (fig. 18k) y 3, 4 - dimetoxi,  $\beta$  fenetilamina - (fig. 18l).

#### 6.1.8 Utilización del Nopal.

##### 6.1.8.1. Antecedentes.

La tuna del nopal fue uno de los primeros y principales frutos recolectados por los indígenas de América en las zonas áridas. Esto se debió probablemente a que tiene un fruto de sabor agradable y fresco y por ello fue consumido.

En excavaciones realizadas en el Valle de Tehuacán, Puebla, se descubrieron vestigios de semillas de frutos y pencas de nopal - con una antigüedad posible de 700 años A.C. y se cree que junto - con el maíz, formaba parte de la alimentación humana (Mc. Neish, 1964). Mac Neish (1964) y Flanery (1968) indican que ésto proporciona un dato confiable para poder aventurarse a decir que el cultivo - del nopal para fruto comenzó desde hace mucho tiempo, quizá 5000 años A.C.

Para los Nahoas, las cactáceas tuvieron una importancia en - la vida económica, social y religiosa, los indígenas que más emplea

ron el nopal en sus cultos religiosos fueron los aztecas y los otomfes; e incluso lo reprodujeron en forma asexual por medio de tallos y artejos (Bautista, 1982).

Existen reportes de que los Nahoas elaboraban vino o mezcal sacado de pitayas, tunas, mezquites, etc.

En un tratado sobre la importancia actual del nopal se hace referencia a lo siguiente. El nopal ha adquirido gran importancia debido a que se puede utilizar como alimento, así como para la industria, en la obtención de aceite de tuna, miel de tuna, queso de tuna, opcional, y potencialmente elaboran jugo de tuna en polvo. - También se puede emplear como setos vivos para delimitar la pequeña y mediana propiedad, para elaborar colonche (bebida fermentada) y "curar el pulque", como fruto seco o "tunas apasadas"; anticorrosivo, colorantes, caucho sintético (Lozano, 1958).

López et. al. (1977) han realizado estimaciones de producción de biomasa anual por ha., producción de fruta y utilidad en dinero por ha., en el área de Peñón Blanco, Salinas, S.L.P. obteniendo resultados mostrados en los cuadros 19 y 20.

Flores (1977) indica en un cuadro (cuadro 21) realizado por Metral (1965), que hay una mayor ganancia económica al utilizar nopal, como forraje, que ensilado de maíz, y sin embargo se usa una mayor cantidad de nopal que de maíz ensilado.

Cuadro 19. Características de la productividad por unidad de superficie, en ecosistemas de Opuntia streptacantha, en comunidades de baja densidad de plantas, con ejemplares mayores de -- 1.50 m. de estatura, en Peñón Blanco, Salinas, San Luis Potosí, durante 1976 (López et al. 1977).

R U B R O	CANTIDAD
Descripción de la nopalera:	
Densidad de plantas (ind/ha).	175
Area media (m <sup>2</sup> /ind).	57.1
Cobertura de la especie (%)	13
Número por unidad de superficie:	
Cladodios (unidades/ha).	33,600
Tunas (unidades/ha).	27,125
Cladodios con tuna (unidades/ha)	10,150
Productividad:	
Tuna descortezada (Kg/ha)	813.7
Semilla (Kg/ha)	81.4
Aceite (Kg/ha)	8.8
Queso de tuna (Kg/ha).	74.0
Valor (%) de queso de tuna a \$ 15.00 el Kg.	1,109.6

Cuadro 20. Características de la productividad por unidad de superficie, en ecosistemas de Opuntia streptacantha en comunidades de alta densidad de plantas, con ejemplares mayores de 1.50 m. de altura, en Peñón Blanco, Salinas, San Luis Potosí, durante 1976 (López et.al. 1977).

---

R U B R O	C A N T I D A D
Descripción de la nopalera:	
Densidad de plantas (ind/ha)	550
Area media (m2/ind)	18.2
Cobertura de la especie (%)	42
Número por unidad de superficie:	
Cladodios (unidades/ha)	105,600
Tuna (unidad/ha)	85,250
Cladodios con tuna (unidad/ha)	31,900
Productividad:	
Tuna descortezada (Kg/ha)	2,557
Semilla (Kg/ha)	255
Aceite (Kg/ha)	27.8
Queso de tuna (Kg/ha)	232.5
Valor de tuna (Kg/ha)	
Valor (\$) de queso de tuna a \$ 15.00 Kg.	3,487.5

---

Cuadro 21. Raciones, ganancia en peso y análisis económico de la comparación del nopal con el maíz ensilado (Metral -- 1965, tomado de Flores 1977)

CONCEPTO	TRATAMIENTO I (maíz ensilado)	TRATAMIENTO II (nopal)
No. de animales	9	10
Peso medio inicial (kg)	208.0	188.5
Peso medio final (kg)	366.5	333.2
Ganancia media de peso diario (kg)	0.838	0.765
Ganancia de peso total (kg)	158.5	144.7
Ración (kg)		
Enlistado de maíz		
Inicial	16.0	---
Final	22.0	---
Nopal picado		
Inicial	---	30.0
Final	---	34.0
Mandioca dulce		
Inicial	2.0	2.0
Final	3.0	3.0
Suplemento protético		
Inicial	1.5	1.5
Final	1.5	1.5
Consumo de la ración (kg)		
Ensilado de maíz	3,419.1	---
Nopal	---	5,006.0
Mandioca	458.3	441.0
Suplemento protético	273.0	273.0
Valor de la ración consumida en cruceiros	10,318.40	5,955.70
Valor de la ganancia de peso en cruceiros	13,080.80	11,937.70
Beneficio son considerar mano de obra, en cruceiros	2,762.40	5,982.00

En el norte del país se acentúa su importancia como forraje y en el centro del país como fruto y como verdura debido a que en el Valle de México alcanza su mayor importancia en cuanto a producción de fruto y verdura (Bautista, 1982).

En el sur, su importancia es principalmente por la producción de grana, una industria que había desaparecido por el desplazamiento de la grana por tintes sintéticos; actualmente ~~se ha~~ tenido problemas para seguirse usando los tintes sintéticos en alimentos y cosméticos, por lo 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 de Oaxaca. En el sureste también el nopal es usado como verdura de las que se encuentran 2 clases: El "nopal grueso", que probablemente sea O. ficus-indica, que se come en un estado avanzado de madurez y el nopalito, pero que en este caso no es O. ficus indica.

El nopal no solamente tiene importancia en los aspectos económicos, sino que también la tiene en la conservación del suelo, pues protege la capa fértil de éste contra la erosión debido al tipo de sistema radicular que posee; además forma un nicho ecológico, en el que crecen bastantes gramíneas, que sirven para el pastoreo, cuando el nopal se encuentra en forma silvestre.

El nopal puede propagarse mediante dos métodos:

- Multiplicación asexual (pencas y fracciones de pencas).
- Multiplicación sexual (semillas).

El primer caso es el más recomendable, debido a que la propagación es más sencilla y mediante este tipo se logrará mantener las características de la variedad escogida como madre. Se propone la plantación de fracciones de penca en aquellos lugares alejados de los sitios de siembra y con escaso material de propagación a fin de evitar grandes costos de transportación.

La propagación por semilla en los nopales es poco conocida y es más compleja que la propagación vegetativa. En forma resumida los pasos principales del proceso son: germinación de las semillas, establecimiento de plántulas y crecimiento de las plantas hasta alcanzar el tamaño y madurez deseados.

Bozquez y Pelayo (1979) en un artículo de la revista "Fruticultura Mexicana" mencionan que existe una rama de la Fisiología Vegetal, la Fisiología de Postcosecha que al interactuar con los conocimientos de la ingeniería puede generar y aplicar diversas técnicas que permiten aumentar la vida útil de los productos perecederos, mantener o aumentar su calidad organoléptica y reducir sus pérdidas al controlar su intensidad respiratoria, velocidad de

maduración, senescencia (envejecimiento), crecimiento de microorganismos patógenos, transpiración, etc., Tecnología de Postcosecha.

En la figura 19, se muestra la relación e interacción de la - Fisiología y Tecnología de Postcosecha con diferentes disciplinas, - procesos metabólicos en los que influyen y controlan, así como los resultados que de este control se pueden obtener en las frutas, vegetales y semillas.

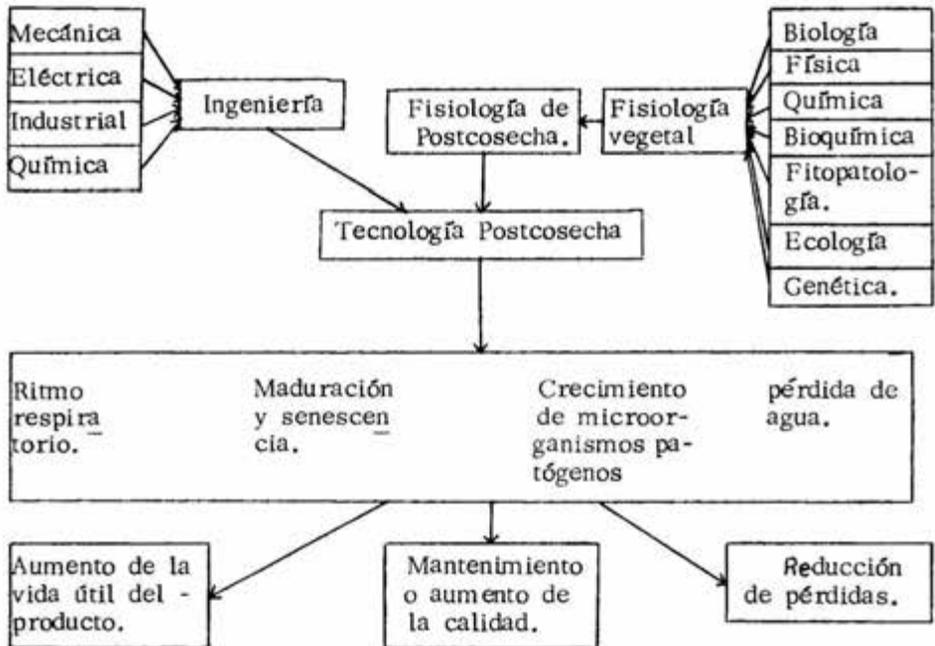


Fig. 19. Relación e interrelación de la Fisiología y Tecnología de Postcosecha con diferentes disciplinas, procesos metabólicos y resultados (Bosquez y Pelayo, 1979).

De esta manera la Fisiología y Tecnología de Postcosecha, dan recomendaciones sobre aspectos como:

- Epoca y métodos adecuados para la cosecha de los productos.
- Manejo adecuado de la fruta, vegetal o semilla, durante su cosecha, en la empacadora y almacén.
- Manejo y preparación para su comercialización.
- Condiciones adecuadas para su almacenamiento, transporte y distribución.

Así, la Tecnología y Fisiología de Postcosecha, en el caso específico del nopal, se convierte en parte importante del proceso de comercialización, ya que mediante un almacenamiento a corto plazo, es posible, dentro de ciertos límites, equilibrar la oferta y la demanda y ofrecer productos frescos a mercados distantes de los centros de producción dentro y fuera del país.

Un ejemplo concreto en este sentido, es el estudio realizado por Ramayo, et. al. (1978) en el que probaron varias temperaturas de refrigeración (2, 4, 6, 8 y 10°C y 80-85% HR.), pues la vida de almacenamiento del nopal para verdura es corta y a condiciones ambientales rápidamente se deteriora.

Observaron que la calidad del nopal, se ve seriamente afectada tanto por daños por frío a medida que se reduce la temperatura de almacenamiento, como por daños por putrefacción a medida que se incrementa la misma. Los nopales almacenados a la temperatura de 10°C. fueron los de mejor presentación en cuanto a color y

firmeza y, además, presentaron excelentes cualidades organolépticas, hasta por 30 días; sin embargo, fueron seriamente dañados por microorganismos, más por factores externos que por las condiciones de almacenamiento.

Por este motivo, los mismos autores realizaron otro estudio con la finalidad de determinar los factores externos que causan las pérdidas del nopal almacenado bajo las mismas condiciones de refrigeración y establecer su posible control; encontrando que la putrefacción del nopal refrigerado se debía, principalmente a los daños mecánicos ocasionados durante el corte, pues los nopales cortados en la región de inserción no fueron infestados por microorganismos; la putrefacción era causada por Penicillium sp., Alternaria sp. y Bacillus; un tratamiento posterior al corte, con una solución de Benlate (500 ppm.) resultó efectivo para controlar el desarrollo de estos microorganismos en los nopales refrigerados, manteniéndose sin daños y con excelentes cualidades organolépticas hasta por 28 días.

Otro estudio, también relacionado con la Fisiología y Tecnología de Postcosecha, realizado por Aguilar Becerril (1981) cuyo objetivo fué determinar el efecto de algunos reguladores del crecimiento (2-4 Damina, ácido giberélico, prolamina, ácido indolbutírico) solos y combinados a diferentes concentraciones (50, 100 y 150 p.p.m) sobre frutos del nopal tunero, observando sus efectos sobre la presencia de semillas con la probabilidad de obtener frutos partenocár

pícos; aumentando de esta manera su calidad organoléptica, pues la presencia de semillas en los frutos, representa una característica - indeseable para los consumidores extranjeros (Canadá, Estados Unidos y Japón), Sin embargo, debe quedar claro que la pulpa del fruto es el arillo de la semilla hidratada, por lo que los frutos sin semillas pueden ser una utopsía de investigación.

Los resultados fueron los siguientes: Con la aplicación sola o en combinación de cualquiera de los reguladores del crecimiento, se obtuvo una menor cantidad de semilla por fruto y un aumento del tamaño del mismo. El ácido giberélico a 150 p.p.m. originó el mayor número de semillas abortivas y el menor número de semillas - presentes por fruto. El peso más elevado de los frutos se obtuvo por efecto de la Prolamina a la dosis de 150 p.p.m.

#### 6.1.8.2. Importancia Forrajera.

El nopal, utilizado como forraje reviste ya cierta importancia a nivel mundial, así, podemos mencionar algunos de los países y regiones donde se han reportado trabajos sobre el uso del nopal forrajero: Madagascar, Africa del Sur, Africa del Norte, Argelia, Túnez, España, Italia, India, Argentina, Brasil, Guatemala, Estados Unidos y México.

Según De Alva (1971) 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 consumo de los animales constituye un recurso valioso en estas zonas. Este valor está dado por las condiciones de vida de ésta especie, así como por su valor nutritivo. Al respecto, Flores (1977) hace el análisis bromatológico de diferentes especies de nopal. (cuadro 22).

El mismo autor compara la producción de Opuntia con otras especies forrajeras, maíz forrajero y remolachas, y encuentra que el nopal tiene mayor producción de nutrientes a un costo menor en condiciones de riego y temporal. (cuadro 23).

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

- Zona nopalera potosino-zacatecana, incluye partes territoriales de Aguascalientes, Jalisco, Durango y Coahuila. Esta compuesta fundamentalmente por Opuntia streptacantha, O. leucotricha; O. robusta y O. imbricata.
- Zona nopalera del Norte de México, comprende el norte de Tamaulipas y norte y oriente de Nuevo León. Es una zona de gran importancia ganadera. Existen principalmente O. lindehimeri y O. engelmanni.
- Zona nopalera difusa. Se extiende desde las partes de San Luis Potosí, Zacatecas y Nuevo León, hasta Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua. En ésta zona se presentan O. cantabrigensis, O. rastrera, O. macrocentra y O. microdasys. Las especies forrajeras más importantes son: O. lindehimeri, O. rastrera, O. cantabrigensis (cuija) O. leucotricha (durasnillo) y O. azurea (coyotillo)

Cuadro 22. Análisis bromatológico de diferentes especies de Nopal (porcentajes en base a materia seca) (Tomado de Flores, 1977).

Genotipo	Materia seca	Materia organica	Proteína cruda	Grasa cruda	Fibra	Ceniza	E.L.N.	Autor Griffiths y Hare
<i>Nopalea</i> spp.	10.69	75.79	8.92	1.50	17.21	26.21	50.70	1906
<i>O. chrysacantha</i>	15.52	73.45	3.54	1.10	4.32	26.55	64.43	Palomo 1963
<i>O. temalsina</i>	12.45	70.20	4.42	1.04	5.14	29.80	59.52	Palomo 1963
<i>O. megacantha</i>	10.12	74.51	7.71	1.38	3.75	25.49	68.87	Palomo 1963
<i>O. rastrera</i>	14.41	59.89	2.78	0.76	6.18	40.11	43.23	Palomo 1963
<i>O. azurea</i>	12.55	68.88	4.54	1.35	3.98	30.12	59.84	Palomo 1963
<i>O. cantabriensis</i>	11.89	68.46	4.79	1.09	3.70	31.54	58.87	Palomo 1963
<i>O. engelmannii</i>	15.07	68.41	3.32	1.19	3.58	31.59	60.32	Palomo 1963
<i>O. lucens</i>	17.45	69.59	3.67	0.57	2.58	30.43	62.75	Palomo 1963
<i>O. lindheimeri</i>	11.57	74.50	4.15	1.03	3.02	25.50	66.25	Palomo 1963
<i>O. robusta</i>	10.38	81.41	4.43	1.73	17.63	18.59	57.61	Griffiths Hare
<i>O. streptacantha</i>	16.10	79.38	3.17	1.99	18.88	20.62	55.34	" " 1906
<i>O. leuotricha</i>	4.50	74.00	7.56	2.66	14.00	26.00	49.78	" " "
<i>O. imbricata</i>	17.71	84.25	7.11	1.75	11.51	15.75	63.86	" " "
<i>O. cacahapo</i>	16.95	72.51	5.19	2.06	11.20	27.49	54.04	" " "
<i>O. stenopetala</i>	13.24	77.87	8.84	1.74	9.14	22.13	58.16	" " "
<i>O. duranguensis</i>	10.34	82.94	4.51	1.29	8.23	17.06	68.91	Bauer y Flores 1969
<i>O. ficus-indica</i> var. amarillo oro.	11.29	86.93*	3.80	1.38	7.62	13.07	74.13	" " "

Quadro 23. Producción y costos de Opuntia, remolacha, y maíz forrajero bajo condiciones de riego y temporal en Chapingo, México (Flores, 1977).

Atributo.	Maíz		Remolacha		Nopal	
	Riego	Temporal	Riego	Temporal	Riego	Temporal
<u>Costo de producción en pesos/ha</u>						
Preparación del terreno	250.00	250.00	250.00	260.00	260.00	260.00
Siembra	180.00	126.00	210.00	210.00	360.00	360.00
Labores de cultivo	500.00	500.00	840.00	420.00	840.00	420.00
Riegos	480.00	---	250.00	---	500.00	---
Fertilización	510.00	450.00	---	---	---	---
Cosecha, acarreo, picado y ensilaje.	2,800.00	1,600.00	450.00	375.00	1,000.00	1,000.00
Costos totales	4,720.00	2,926.00	2,020.00	1,265.00	2,960.00	2,040.00
<u>Producción</u>						
Productividad (ton/ha)	49.0	36.0	45.0	35.0	200.00	200.00
Composición de materia seca (%)	27.6	27.6	9.2	9.2	16.0	26.6
Proteína cruda	2.3	2.3	1.3	1.3	0.8	0.8
N.D.T. (%)	18.3	18.3	7.0	7.0	9.4	9.4
<u>Rendimiento de nutrientes (kg/ha)</u>						
Materia seca	13,524	9,936	4,140	3,320	33,200	33,200
Proteína cruda	1,127	828	858	445	1,600	1,600
N.D.T.	8,967	6,588	3,150	2,450	18,800	18,800
<u>Costo unitario (pesos/kg)</u>						
Materia verde	0.10	0.08	0.045	0.036	0.014	0.010
Materia seca	0.35	0.29	0.49	0.39	0.089	0.061
Proteína cruda	4.18	3.53	3.44	2.73	1.850	1.275
N.D.T.	0.53	0.44	0.64	0.52	0.157	0.108

Los ganaderos del norte, tienen décadas de utilizar el nopal como forraje, pues en 1966, se utilizaban 600 ton. diarias - en la alimentación de ganado lechero estabulado en Monterrey y 100 ton. en Saltillo.

El nopal puede emplearse no sólo durante la sequía, sino que puede utilizarse con provecho como parte integral de la alimentación de los rebaños, produciendo efectos benéficos en los animales que han estado sujetos a una dieta a base de forraje seco (Rios, 1954, Rojas et. al. 1966), cuadros 24 y 25.

Digestibilidad es un concepto que indica la cantidad o porcentaje de un alimento que aprovecha el animal y consiste en restar la cantidad de nutrientes que aparecen en las heces, a la cantidad de nutrientes ingeridos (De Alba, 1971).

Los nutrientes digestibles del nopal varía en relación a la época del año; cambian de acuerdo a los factores ambientales a que están expuestos (suelo, precipitación, temperatura y duración del día), y son los que realmente determinan la cantidad nutricional de las plantas.

Cuadro 24. Digestibilidad de varias especies de nopal y varios -  
autores. (Ríos 1964, Rojas et. al. 1966)

Especie autor	M.S.	M.O.	Prot.crud.	EE.	Fibra	EL.N.	NDT.
<u>O. calysacantha</u>			0.39	0.20	0.84	8.56	10.9
<u>O. sp.</u> Woodward	61.58	67.21%	71.56	65.88%	42.98%	71.55%	
<u>O. sp</u> Morrison			44		40	78	
<u>O. ficus-indica</u>		grasa- cruda					
Bovinos Hare (1908)	69.00	71.00	12.00	---	37.00	80.00	
Bovinos Woodward	71.00	70.00	55.00	---	46.00	78.00	
Ovinos Vinson(1911)	64.00	74.00	56.00	---	13.00	76.00	
Ovinos Maymone (1960) Mallosini	68.60	31.00	68.00	---	53.20	73.8	

Cuadro 25 Digestibilidad de diferentes estados del Nopal

(Base seca), coef. de digest. y % de NDT de Nopal fresco oriado y -  
deshidratado. (Ríos 1964, Rojas et. al. 1966).

	MS.	MO.	Prot.cruca	EE.	Fibra	E.L.N.	N.D.T.
Fresco	-	40.00	34.90	--	50.20	87.30	64.73
Oreado	-	69.67	44.17	--	48.45	83.70	62.11
Deshidratado	-	60.89	35.09	--	40.92	80.96	58.46

De acuerdo con Hare (1908) la digestibilidad del nopal en comparación con otros forrajes, es buena ya que en algunos aspectos supera a la alfalfa, como es el caso de la materia seca, grasa cruda, fibra, extracto libre de nitrógeno y materia orgánica. Asimismo logró un incremento ligero en la digestibilidad del nopal mediante la inclusión de harinolina en la dieta, por otro lado, el nopal tuvo un efecto benéfico sobre la digestibilidad de la alfalfa, debido a la alta asimilación de materia orgánica de éste. (cuadro 26)

Cuadro 26. Porcentaje de digestibilidad de cinco raciones alimenticias (Hare, 1908)

Alimento	M.S.	Ceniza	Proteína cruda	Grasa cruda	Fibra	E.L.N.	M.O.
Nopal solo	64.91	35.69	45.56	68.46	47.66	80.77	72.76
Alfalfa sola	55.88	39.29	65.56	37.94	40.35	69.84	57.75
Harinolina sola	73.70	23.70	88.40	93.30	55.50	60.60	76.10
Nopal y alfalfa	68.41	80.59	60.65	52.28	37.37	78.65	64.38
Nopal y harinolina	74.86	57.32	73.70	103.70	35.55	68.77	76.19

Sin embargo, Lozano (1958) considera que el nopal no es de fácil digestión como alimento para bovinos, pues su contenido de fibra es poco y éstas son muy cortas.

Flores (1977) considera que es un forraje pobre en nutrientes

con una digestibilidad regular pues: es un forraje con una gran cantidad de agua y pobre en materia seca; tosco en base al nivel de energía que se metaboliza por kg. de materia seca, y que su energía digestible se debe considerar al nivel de los forrajes toscos de la época de escasez como pajas, rastrojos y silos.

Hay reportes de que la digestibilidad es del 64.7% para el nopal fresco, 62.1% para el marchito y 58.5 para el deshidratado.

Revuelta (1963), encontró que existe variación en la digestibilidad de los nutrientes según la edad de la penca, ya que la digestibilidad de la proteína y el extracto libre de nitrógeno disminuye - conforme avanza la edad, pero la digestibilidad de la grasa y la fibra aumenta. Sin embargo mezclado el nopal con otros productos puede aumentar su digestibilidad. Así pues, el coeficiente de digestibilidad, cuando el nopal es combinado con un 15%, 3.0% y 0.5% - de sorgo aumenta en forma proporcional al aumento del sorgo; no sucede lo mismo cuando el nopal es combinado con pasta de girasol debido al aumento en el contenido de fibra cruda en el ensilaje.

Metral (1965) citado por Flores (1977) considera que el consumo diario de nopal por los bovinos, cuando no se da otro forraje es del orden de 60 kg. Viana (1965), por su parte encontró que en bovinos lecheros es del orden de 77.3. (cuadro 27).

**Cuadro 27.** Resultados obtenidos en la alimentación de vacas lecheras en tres experimentos (Viena, 1965).

Experi- mento	Dura- ción (días)	Nopal Kg.	Concentrado proteínico	Mandioca (raíz)	Melaza Kg	M.S. total (4) Kg	Produc Lechera (3) Kg	Peso vivo en Kg inicial	final
1	84	74.57	3.37 (1)	4.56	---	---	12.12	477	506
2	112	60.89	2.62 (2)	---	1.07	---	6.63	423	431
3a	63	77.31	3.92 (2)	---	---	12.34	10.16	494	497
3b	63	70.67	5.45 (2)(5)	---	---	31.11	11.24	494	497

Se menciona que los rumiantes necesitan 4 litros de agua por kilogramo de alimento seco consumido y que la secreción láctea eleva las necesidades de agua del animal.

En los bovinos que consumen 35 kg. de nopal no es posible - suprimir completamente el agua de bebida, sin embargo Griffiths et. al. (1906) informa que el nopal permite a los bueyes tomar agua - sólo dos o tres veces a la semana en el verano y una vez a la semana en invierno. Los borregos no pueden vivir indefinidamente - con el nopal como alimento único, sino que es necesario un suplemento; pero sí se les permite vivir en un periodo de 30-90 días en buen estado y con vida hasta 200 días. Estos mismos autores consideran la irrigación del nopal como una posibilidad importante debido a que una unidad de agua produce 7 veces más energía que la alfalfa.

Asimismo algunos autores indican que O. ficus-indica, en 2 altitudes al rededor de los 1000 m.s.n.m. con 150 mm. de precipitación anual produce de 10 a 15 ton. de forraje verde por año.

Por su parte, López et. al. (1977), consideran que la producción de forraje en área de temporal en un ecocultivo pobre puede llegar a 25 ton./ha. mientras que en un ecocultivo regular puede producir entre 50 y 75 ton., y en nopaleras muy bien manejadas la producción de forraje puede llegar a las 125 ton. Considerando que un bovino adulto puede consumir 25 ton. anuales, es claro que en una hectárea se puede sostener 5 unidades-animal.

Algunos autores indican que vacas jersey suplementadas con harinolina, consumían 50.6 kg. de nopal por vaca al día, mientras que las vacas Holstein consumían hasta 75.0 kg./día.

La determinación de las cantidades o niveles de consumo es muy importante porque el ganado prospera debido a la cantidad de nutrientes que consume por unidad de tiempo y no sólo por la calidad o contenido en los forrajes.

Con ovinos, Valdez y Flores (1976) encontraron una mayor aceptación para O. ficus-indica que para O. robusta cuando se tiene libre acceso. Los borregos alimentados con O. robusta sufrieron diarrea de tipo patológico. Así mismo el ganado no acostumbrado a consumir nopal y el ganado que lo consume en grandes cantidades (60-90 kg) puede sufrir timpanismo, lo que se puede evitar con so-

lo proporcionar rastrojo o heno; por lo que el ganado que no ha consumido nopal, es necesario enseñarle a hacerlo, y cuando el ganado está débil, no debe obligarse a consumirlo, ya que puede sufrir diarreas debido al alto contenido de sales inorgánicas del nopal.

Se ha visto que las borregas en época de secas producen poca leche y muy rica en grasa, lo que provoca disturbios digestivos en las crías. Con la adición de nopal a la dieta, esto no sucede; por su parte Revuelta (1963), menciona que los ovinos complementados con nopal, no sólo conservan su peso vivo, sino que mejoran el rendimiento de lana de buena calidad.

Por otra parte Griffiths y Hare (1906), informan que, en general, el ganado en pastoreo al que se le da nopal en el invierno se mantiene en mejores condiciones al finalizar éste que el ganado que sólo ha consumido pastos secos. Además efectuando un experimento durante 15 semanas con bovinos de carne concluyó:

- Es más favorable para incrementar peso, la combinación harinolina-nopal que grano-nopal.
- Consumo diario de nopal fue de 48 kg.
- La ganancia diaria por animal fue de 0.85 kg.
- En promedio son necesarios 55 kg. de nopal + 2.5 kg. de harinolina para producir 1.0 kg. de peso vivo.

En cuanto a subproductos de la leche, algunos autores indican que la mantequilla producida con leche de vacas alimentadas con no

pal es de un bonito color oro por lo que es más apreciada.

Aunque económicamente el nopal disminuye la producción de leche o el peso del animal, se sigue ocupando como forraje por dos aspectos: su costo de producción y la calidad del ganado que se origina con su consumo (ver cuadro 28).

Cuadro 28. Costos y producción de vacas lecheras con varios forrajes (Flores et. al., 1977).

RACION	CONSUMO Kg/dfa.	Costos de alim/vaca (peso 1967)	Produc. - diaria prom. /vaca (litros)
Concentrado	11.75	6.62	11.09
Avena verde	33.42		
Nopal	94.03		
Concentrado	11.57	10.26	11.9
Avena verde	33.42		
Alfalfa achicalada	30.92		
Concentrado	11.32	11.66	11.00
Alfalfa achicalada	45.10		
Nopal solo			9.27
Alfalfa verde			10.07
Alfalfa achicalada			11.47

El nopal ha sido utilizado por necesidad en estas zonas, esto -

no quiere decir que bromatológicamente sea efectivo, ya que en es te aspecto es sensiblemente pobre comparado con otros forrajes de mayor calidad, pues presenta las siguientes desventajas.

- Se necesita una gran cantidad de material verde para cubrir los requerimientos nutritivos diarios de un animal.
- El nopal debe ser complementado con alimento protéico.
- El ganado a veces continúa comiendo nopal sin chamuscar (enviamiento), lo que causa daños internos y externos que pueden facilitar la penetración del gusano tornillo que es costoso de com batir.
- La producción total de pastura se reduce, pues el nopal extrae - humedad y los nutrientes del suelo que pueden servir para forra jes más adecuados.
- El ganado es más difícil de manejar en praderas que tienen nopal.
- Hay un incremento en roedores dañinos que se refugian en las no paleras.

En México, las plantaciones de nopal con fines forrajeros son muy escasos ya que en su mayoría el nopal utilizado proviene de - nopaleras naturales. Lozano G. (1958) menciona las formas más - usuales de aprovechar el nopal espinoso como forraje, éstas son - las siguientes:

- Amontonar hierbas secas alrededor de la planta y prenderle fue go, lo que trae consigo que se acabe la planta, pues el tronco - es el que soporta el fuego más intenso.
- Cortar las ramas (varias pencas), chamuscarlas por ambos la - dos sobre fuego de hierbas y picarlas antes de dárselas al - ganado.
- Cortar el borde de la penca donde hay más espinas y dejar que el animal haga el resto (utilizado por los pastores de cabras -

y borregos).

- Emplear chamuscador.- Este se utiliza para chamuscar en pie, (San Luis Potosí) o en pencas ya cortadas (establos de la ciudad de Saltillo).
- Usar picadoras de nopal; son muy empleadas en los establos de Monclova y nueva Rosita, Coahuila.
- Cocción en calderas; sistema utilizado en E.U., no se usa en México por el costo que implica.
- Algunos ganaderos dejan fermentar el nopal picado con lo que se ablandan las espinas.

Pese a todo, varios estudios han demostrado que es económicamente factible su cultivo.

La variedad recomendada para forrajes según Barrientos (1972), se ha designado COPENA F-1 (forrajera I). En las observaciones preliminares, esta planta llamó la atención en los lotes de selección debido a su rápido crecimiento y ramificación; posteriormente, dentro de las otras seleccionadas se observó que la preferían los roedores y las hormigas, lo cual era un índice de su palatabilidad. Las variedades potenciales se incrementaron rápidamente por el método de fracciones mínimas, desarrollado por Barrientos y Brawer (1964), utilizando partes de la penca con una sola areola para obtener plantas rápidamente.

Rojas et. al., (1966), recomienda un sistema rotatorio de cosecha, que consiste en lo siguiente: dividir la plantación en 4 partes aproximadamente iguales (A+B+C+D), de tal forma que a partir del -

cuarto año de establecida, se coseche la parcela A. dejando sólo la base de la planta para que rebrote; ese mismo año B, C, y D. reciben cortes parciales; al año siguiente B, recibe el corte severo y así sucesivamente. Ellos estiman que con este método y densidades de 2500 plantas/ha. se puede obtener un rendimiento de 113, 132, y 165 ton. /ha.

Barrientos (1965), en un estudio con O. ficus-indica encontró que:

- Los rendimientos de forraje verde son similares al semi enterrar pencas (cladodios) paradas, que al depositar sobre la superficie del suelo.
- Las pencas con mayor exposición al sol tuvieron menor desarrollo.
- El nopal responde notablemente al estercolado.
- Con densidades de 40000 ptas/ha. en hileras separadas de 9 mt. - con una distancia mínima entre plantas de 25 cm. y 2 cortes al año pueden obtenerse, a partir del tercer semestre de establecidas la plantación, al rededor de 400 ton. por ha. por año.

En este mismo aspecto Barrientos (1972), realizó un experimento de densidades en terreno tepetatoso y de temporal. El nopal se plantó en marzo de 1967, y se cosechó en Septiembre de 1969, o sea 2.5 años después, y obtuvo los siguientes resultados del cuadro 29.

Los resultados de Barrientos (op. cit.,) indican que:

- Existe un aumento en la producción en toneladas por ha. a medida que aumenta la densidad.

Cuadro 29. Densidad de siembra y producción de nopal forraje, según Barrientos (1972).

Tratamiento	Distancia Surco	Distancia Planta	Densidad Ptas/ha.	Ton/Ha. Rendim.
1	2.0	4.00	5 000	27.405
2	2.0	0.50	10 000	36.180
3	2.0	0.25	20 000	53.865
4	1.0	1.00	10 000	40.690
5	1.0	0.50	20 000	49.005
6	1.0	0.25	40 000	58.000
7	0.5	1.00	20 000	59.505
8	0.5	0.50	40 000	62.725
9	0.5	0.25	80 000	64.790

- Los rendimientos en forrajes a altas densidades tienden a estabilizarse.

#### 6.1.8.3. Importancia Frutícola.

Muchos estados de México, principalmente los ubicados en las zonas áridas, dependen en gran parte del nopal tunero para su subsistencia, pues numerosas familias se dedican a cultivarlo para producir tunas o recolectan las tunas silvestres. Así tenemos que la producción de tunas en México alcanzó en 1975, según CONAFRUT, 2697850 ton. distribuidas sobre una área de 57800 ha., de éstos -

10850 ha. corresponden a tipos cultivados con un valor de producción de \$34'369,000.00. Los principales estados consumidores de tuna según datos de CONAFRUT (1977) son: Coahuila, Nuevo León, Chihuahua, Sinaloa, Tamaulipas, Jalisco, Zacatecas y el Distrito Federal.

El fruto del nopal varía en forma y fisiología de especie en especie; cuando tiene sabor dulce se le conoce como tuna y cuando el sabor es ácido se le conoce como xoconoxtle.

El Estado de México, Teotihuacán e Hidalgo, son reconocidos por la calidad de su tuna con C. amyclaea y C. ficus indica (alfaja yucan y de castilla respectivamente) C. streptacantha (cardona) y C. leucotricha (duraznillo) son importantes para la zona central potosina y zacatecana, pues llegan a alcanzar densidades hasta de 600 individuos por hectárea en forma natural. Desde hace algunos años, de la región tunera zacatecana, se está exportando tuna a Estados Unidos, Canadá y Japón. Esta tuna, desde luego, procede de cultivos tecnificados y es sometida a un sencillo proceso de industrialización que consiste en la selección por tamaño, eliminación de espinas y aplicación de una cubierta cerosa, que mejora notablemente su presentación, todo esto se realiza en forma mecanizada (Bravo y Piña 1979).

A últimas fechas se ha introducido este tipo de cultivo intensivo a otras regiones, principalmente en el estado de Oaxaca (Bravo

y Piña op. cit.)

Los nopales productores de tuna y el color de ésta se representan en el cuadro 30.

Cuadro 30 .- Diferentes especies de nopal y la coloración de sus frutos (Barrientos, 1981).

Especie	Color del fruto	Nombre Común.
<u>O. ficus-indica</u>	Blanco, intermedio amarillo rojo	Nopal de castilla.
<u>O. duranguensis</u>	Roja	Tapon
<u>O. megacantha</u>	Amarillo o rojo	Nopal manso.
<u>O. streptacantha</u>	Guinda	Nopal cardón.
<u>O. amyclaea</u>	Blanco	Nopal alfajayucan
<u>O. leucotricha</u>	Blanco	Nopal duraznillo.

En general todos los nopales producen frutos comestibles, sin embargo son pocas las especies que por el tamaño de su tuna, por su cáscara delgada, por su escasez de espinas y semillas, poseen demanda como frutos de mesa. Esto sucede con O. ficus-indica,

O. megacantha, O. amyclaea y O. lasyacantha; especies en las que

México les aplica indistintamente los nombres genéricos de: nopal de tuna fina, nopal de tuna mansa o nopal de castilla (Bravo y Piña, op. cit.)

Los nopales tuneros cultivados generalmente se multiplican -

asexualmente, en esta forma conservan sus características.

De acuerdo a Grageda (1978) el mejoramiento genético de éste cultivo se ha realizado principalmente con variedades seleccionadas de la especie Opuntia amyoclaea (tuna blanca o de alfajayucan) mediante la hibridación de la colección Méx. 23 de San Martín de las Pirámides, Méx. con la colección Hidalgo 64 de Ajacuba, Hgo. Las  $F_1$ , que se obtuvieron de esta cruce se establecieron en semilleros; en éstos se efectuó la primera selección en base al vigor de las plántulas; la segunda selección se hizo en el vivero bajo competencia completa, usando como criterio de selección el vigor, la resistencia al frío y la tolerancia a plagas y enfermedades; la tercera selección se llevó a cabo en plantas adultas por adaptación, calidad y producción de fruta, época de cosecha y tolerancia a plagas y enfermedades. Con los materiales obtenidos como más sobresalientes se han establecido pruebas de adaptación en un rango amplio de condiciones ecológicas de México. Existen algunos lotes más avanzados donde los niveles de producción fluctúan alrededor de 22 toneladas por hectárea en las variedades COPENA T-1 y T-2 (García, 1976). En general todos estos materiales presentan características de interés por su rendimiento, calidad de frutos y escalonamiento en la producción.

En los últimos años se ha presentado en plantaciones silvestres y cultivadas la enfermedad denominada engrosamiento del cladodio, -

la cual provoca una reducción general del crecimiento, falta de brotación y baja fructificación. En Opuntia ficus-indica cultivar inermes, se encontraron evidencias de que esta enfermedad es causada por virus o microplasma (Pimienta 1974). Debido a ésto, se ha considerado necesario que para obtener material sano, éste debe propagarse a partir de material fundador libre de dichos microorganismos.

Por su parte, Bravo y Piña (op. cit.) mencionan que paradójicamente en épocas relativamente recientes fueron traídas de Italia, tanto a México como a Estados Unidos diversos tipos de nopales mejorados, por lo que algunos especialistas como Benson y Wolkington (1965) opinan que el nopal de castilla (O. ficus-indica) y el nopal de castilla (O. ficus-indica) y el nopal de alfajayucan (O. amyclaea) son variedades hortícolas de O. megacantha.

Según Bautista (1982), la especie más cultivada es O. megacantha pues presenta mayor extensión de cultivo debido a su alta preferencia en el mercado y por lo tanto tiene mayor remunerabilidad.

Dentro de algunos huertos se encuentran también otras especies como O. robusta (nopal tapon), Opuntia sp. (tuna morada) O. streptacantha (tuna cardona) que son empleadas básicamente para la elaboración de curados, mieles y queso de tuna. Otra especie muy importante es el xoconoxtle, que puede encontrarse, en general, inter

calado dentro del huerto o limitándolo, los frutos de esta especie son empleados como condimentos y para la elaboración de dulces. Tiene la ventaja de producir frutos durante todo el año (Bautista - 1982). La densidad en los huertos es aproximadamente 570 nopales/ha. a una altura de 1.5 a 2 m. aproximadamente, para favorecer la cosecha.

Una actividad común en las nopaleras es la poda y tiene como fin mantener joven a la planta, evitar que haya demasiado cladodio en ella, eliminándose aquellos que se entrecruzan o que tomen una dirección hacia el suelo, también se evita que haya sobreproducción de fruta, lo que propicia que ésta sea de mejor calidad y por lo tanto tenga mayor demanda. Los cladodios podados pueden tener doble propósito: el de servir como materia orgánica, que es integrada al suelo o bien como forraje.

Uno de los problemas más importantes al que se enfrenta un productor de tuna es la "cuarteadura" de la fruta, que se presenta cuando ésta ya está madura y es sorprendida por las lluvias y alta radiación al día siguiente, lo que dilata la tuna y la revienta.

La producción del fruto se localiza en el perímetro superior de los cladodios producidos en la temporada anterior, por lo cual la producción está íntimamente relacionada con las condiciones previas de la nopalera, la disponibilidad de agua y nutrientes minerales en el suelo y con la densidad de cladodios por unidad de superficie.

Asimismo como todo frutal el nopal tiene una alternancia de producción debido principalmente a la acumulación de carbohidratos en la planta, así como algunas hormonas que están relacionadas con la dominancia apical. Es decir la acumulación de carbohidratos por el cladodio y su concentración determina la producción del cladodio, ya que en frutales se ha encontrado una asociación entre altos niveles de carbohidratos en la planta y la tendencia a florecer. También en tratamientos que aumentan el nivel de carbohidratos en una rama, comparándolos con el resto del árbol, se tiende a promover la floración en esa rama. Estos efectos se han atribuido a que hay más carbohidratos disponibles para la iniciación floral (Matthews 1963).

De esta manera se puede suponer que la alta producción de un año se debe a que el cladodio puede haber acumulado grandes cantidades relativas de carbohidratos que influyeron en el alto índice de floración, pero para que estas frutas se desarrollen y maduren, se necesitan, nuevamente grandes cantidades de carbohidratos que originan un descenso de la concentración de los carbohidratos en el cladodio. Así pues, se produce una disminución en la fructificación del siguiente año, pues el cladodio estará en proceso de almacenamiento y desarrollo vegetativo.

Sería importante hacer estudios fisiológicos que apoyen o rechacen esta suposición para que de esta manera se explique la alternancia de la fructificación en estos términos o en otros.

La cosecha del fruto comienza a partir de la primera quincena de Agosto y tiene una duración aproximada de 45 a 50 días (Baurista, 1982). La cosecha según otros autores es de Julio a Septiembre.

Comparando los valores nutritivos de la tuna con respecto a otras frutas de alto consumo per-cápita, como son: manzana, durazno, papaya y plátano, se observa que la tuna supera en proteínas, vitaminas y elementos minerales tales como calcio y fósforo, principalmente, a las frutas citadas. Cuadro 31 (Cravioto et. al., 1951; Lozano-González 1958 y CONAFRUT, 1977).

En cuanto a la composición química, podemos observar los resultados de Villarreal et. al., (1964) en el cuadro 32.

Según estos resultados C. megacantha tiene mayor contenido de jugo y ligeramente mayor, también, en sólidos totales, pero no así en la concentración de Vit. C. e incluso superior a varias frutas con las que la comparó como son la tuna de castilla, mango, durazno, naranja, plátano y pera.

En el mismo estudio Villarreal et. al. (1964), compararon la composición química de 7 tunas diferentes, cuyos resultados reportan en el cuadro 33.

De estos se puede decir que el pH. es bastante ácido aunque con algunas variaciones que pueden deberse al tipo de suelo y al -

Cuadro 31. Valores nutritivos de cinco frutas (Cravioto et.al., 1951)

Componentes	f r u t a s .				
	Tuna	Manzana	Durazno	Papaya	Plátano
Calorías	262.00 u	65. u	46. u	25. u	96. u
Proteínas	2.10 gr	0.3 gr	0.9 gr	0.5 gr	1.7 gr
Grasa	.96 gr	0.5 gr	0.1 gr	0.1 gr	0.2 gr
Hidratos de carbono	-. -	16.5 gr	11.7 gr	6.2 gr	24.7 gr
Calcio	345.00 mg	7.0 mg	16.0 mg	23.0 mg	8.0 mg
Fósforo	92.00 mg	5.0 mg	27.0 mg	2.0 mg	24.0 mg
Hierro	-. -	0.80 mg	2.13 mg	0.46 mg	1.35 mg
Tiamina	0.40 mg	0.02 mg	0.02 mg	0.45 mg	0.08 mg
Rivoflavina	0.15 mg	0.01 mg	0.04 mg	0.04 mg	0.07 mg
Niacina	-. -	0.2 mg	0.6 mg	0.3 mg	0.7 mg
Acido ascórbico	23.90 gr	10.0 mg	19.0 mg	48.0 mg	23.0 mg
Potasio	500.00 mg	-. -	-. -	-. -	-. -
Acido nicotínico	2.43 gr	-. -	-. -	-. -	-. -
Vitamina 'A'	0.41 gr	-. -	-. -	-. -	-. -
Celulósicos	16.70 gr	-. -	-. -	-. -	-. -
Glúcidos	58.65 gr	-. -	-. -	-. -	-. -

Cuadro 32. - Composición química de la tuna de 2 especies de nopal, según Villarreal et. al. (1964)

Especie	% Fruta 100%	Sólidos Solubles (°Brix) 20°	Vit. C. mg/100 ml.	Caroto- noids - mg/100 gr.	Sólidos Totales.
<u>O. megacantha</u> jugo	52.3	13.4	13.5	0.23	16.79
cortesa	26.2		30.4		
<u>O. amyclaea</u> jugo	49.2	13.95	32.24	0.27	17.03
cortesa	13.8		95.1		

tipo de planta; sin embargo en sólidos solubles presentan algunas - variaciones, siendo el de mayor concentración O. ficus-indica y el menor O. larregi; por otra parte los sólidos totales también varían, teniendo O. streptacantha la mayor concentración y la menor O. larregi.

En otro estudio de fisiología y bioquímica del desarrollo del fruto de O. amyclaea, Alvarado y Sosa (1978) reporta lo siguiente: la observación de una clara tendencia ascendente en la cantidad de los sólidos solubles totales, ácido ascórbico y azúcares totales desde 91 días después del amarre hasta 120 días, cuando la fruta ha alcanzado la madurez comercial; de la misma manera el pH del jugo se acercó a la neutralidad, desde 5.7 hasta 6.6.

Los sólidos solubles totales así como los azúcares totales - mostraron un comportamiento similar con una tendencia a aumentar

Cuadro 33. - Composición química de 7 tunas diferentes (Villarreal et. al. 1964).

ESPECIE	LOCALIZACION	pH.	SOLIDOS SOLUBLES °BRIX 20°	SOLIDOS 65%	ACIDES TOTAL COMO ACIDO CITRICO %
<u>O. megacantha</u> , amarilla	San Luis Potosí	5.7	13.65	17.91	0.071
<u>O. megacantha</u> , amarilla	Ibarra, Gto.	6.0	13.30	15.61	0.064
<u>O. sp.</u> Blanca, cristalina	Zacatecas	5.6	13.85	15.83	0.116
<u>O. sp.</u> Teca mazuda	San Luis Potosí	5.4	14.50	18.1	0.09
<u>O. streptacantha</u> , cardona	San Luis Potosí	5.25	13.45	18.30	0.129
<u>O. larregi</u> , camesa	Pinos, Zacatecas	5.20	11.58	15.49	0.136
<u>O. amyclaea</u> , fafayuca	Ibarra, Gto.	5.7	13.95	18.23	0.103
<u>O. ficus indica</u> , de castilla	Ocampo, Gto.	5.85	14.90	16.79	0.084

rápidamente de los 91 a los 98 días, para luego continuar aumentando lentamente de 9.70 a 15.5 a los 120 días. En tanto que los azúcares totales aumentaron de 10.85 a 17.54% y a los 120 días disminuyó a 16.04%.

En cuanto a los azúcares libres se observó que la cantidad de glucosa fue más del 95% y muy poca cantidad de sacarosa. La glucosa mostró una tendencia a incrementarse en las etapas finales del desarrollo del fruto pero no fue uniforme, ya que a los 105 días hubo una caída (7.8) para luego aumentar a 11.98 a los 115 días y des

cender, por último, a los 120 días. La fructosa se comportó de manera contraria.

Estos resultados y otros del mismo estudio, llevaron al autor a considerar como el índice de cosecha, a la concentración de sólidos solubles y a la gravedad específica de la tuna, que al momento de cosechar es mayor que 1.0, presentándose ésta a la catorceava semana después del amarre. Por lo que recomienda que la cosecha se realice después de la catorceava semana.

Otro aspecto muy importante de la tuna es su industrialización, al respecto Alvarado y Sosa (1978), dicen de Villarreal (1964):

Las posibilidades de aprovechamiento del jugo enlatado y de proteína microbiana son los que han llevado a algunos estudios químicos de esta fruta. Así pues, Villarreal et. al. (1964) encontraron que el rendimiento del jugo obtenido de O. amyclaea y O. megacantha era 49.2% y 57.3% respectivamente, donde la primera resultó tener mayor cantidad de corteza que la segunda. Además, enlataron el jugo de 4 especies de tuna, observando que la tuna cardona (O. streptacantha) demostró tener mayores ventajas en cuanto a sus características, ya que su pulpa fue la que tuvo mayor cantidad de pectina total, sólidos totales, vitamina C y carotenoides, además de su color y sabor. La composición química se encuentra influenciada por: la época del año, zona productora, condiciones -

edafológicas, edad de la planta, y pencas de donde proviene el fruto (Valadéz, 1979). También Paredes López y Rojo (1973) estudiaron las características del jugo enlatado de O. streptacantha encontrando que compite con otros jugos desde el punto de vista organoléptico y de nutrientes por su alto contenido de tiamina, niacina y ácido ascórbico. Cuadro 34.

Cuadro 34. Análisis bromatológico del jugo de tuna (Paredes y Rojo, 1973)

---

Humedad	88.00% B.H
Proteína	0.5 "
Extracto etéreo	0.5 "
Fibra cruda	0.0 "
Cenizas	0.2 "
E. L. N.	10.8 "
Tiamina	0.04 mg/100g.
Rivoflavina	0.03 "
Acido ascórbico	20.00 "
Niacina	0.21 "
Fósforo	20.55 "
Fierro	0.42
Calcio	18.00 "

---

Otros productos derivados de la industrialización de la tuna y su procedimiento de elaboración se indican a continuación:

Melcocha. Se obtiene después de exprimir la pulpa de la tuna que ha alcanzado su completa madurez, separándose de la semilla. La pulpa que se obtiene, se introduce en un cazo de cobre a fuego directo para concentrarle, agitando constantemente con palas de madera, para evitar que se pegue al recipiente; cuando se aproxima al punto de melcocha, debe disminuirse el fuego. Dicho punto se detecta cuando, al mover la pala se logra ver el fondo del cazo y entonces se retira del fuego, dejándose enfriar por doce o quince horas. Al enfriarse se almacena en diversos tipos de envases - (Lozano, 1958).

Queso de tuna. Una vez fría la melcocha, se toma por dos o tres operarios levantando la masa hasta determinada altura, arrojándola con fuerza sobre una piedra grande, lisa y humedecida con agua.

Esta operación se repite alrededor de 150 a 200 veces, hasta que al levantarse la pasta, no quede adherida a la piedra. Mientras mayor sea el amasaje, el queso producido es de mayor dureza y claridad. Luego se pone en moldes rectangulares de madera humedecidos, en los que permanece durante varias horas (12 a 15); se envuelve y se conserva en papel especial.

El tamaño de cada molde de queso comercial va desde medio

a doce kilos y aún mayores (Lozano, 1958) quien indica también el análisis de sus principales componentes, cuadro 35.

Cuadro 35. Análisis del queso de tuna cardona (Lozano, 1958).

ANALISIS	% B. H.
Agua	11.29
Grasa	0.23
Glucosa	73.53
Albuminoides	5.25
Celulosa y otros materiales	5.68
Cenizas	1.53
Goma	2.49.

Valadéz et. al. (1979) indica la manera de elaborar la miel de tuna y el colonche.

Miel de tuna. La pulpa sin desmenuzar, se coloca en cazos de barro o cobre y se pone a fuego lento durante más o menos 40 minutos. Durante su permanencia en el fuego, se agita lentamente con una paleta de madera; transcurrido el tiempo se reduce el fuego y con mucho cuidado se cambia la miel a un recipiente provisional, quedando la pulpa y la semilla en el fondo del cazo. Luego se retiran estos dos productos y se vuelve a poner la miel en el -

mismo recipiente, donde se continúa evaporando. Constantemente se agregan más tunas, apartando la pulpa y semillas de las que se adicionan.

El proceso continúa hasta que las tunas y jugo del cazo se agotan. Cuando la miel alcanza cierto grado de evaporación, se retira del fuego y se vierte en recipientes especiales, agitándose lentamente mientras se enfría. El punto que se debe alcanzar es de 32° a 35° Baumé.

Colonche.- En primer lugar, hay que preparar los recipientes en que se va a elaborar, los que son simples ollas de barro que dan muy buenos resultados.

En seguida, se agrega el principio de fermento tomado del pulque del día anterior, para que la fermentación sea más rápida y regular. En estas condiciones se deja reposar por espacio de 10 a 12 horas, al cabo de las cuales se procede a separar la miel de las semillas y demás pulpa. Este trasiego se realiza de forma más adecuada, empleando un sifón sencillo formado por una manguera.

Empezando a fermentar esta miel, a las pocas horas del trasiego, está lista para el consumo. En este estado, dura entre dos a tres días en condiciones satisfactorias; no obstante, se adiciona para darle fijeza y ayudar a su conservación, la llamada hierba del

pulque. "timbe" (familia de las anacardiáceas Rhus shinoides), - que comunica además, un sabor algo amargo por su contenido en - tanino.

Con este método, se obtiene el pulque de mejor calidad.

La producción de proteína microbiana por fermentación del - jugo de tuna es otra alternativa para aprovechamiento de la fruta, de donde se puede obtener hasta 3 kg. de biomasa por 100 kg. de fruta (Paredes López y Rojo, 1973).

Cruz (1977) en una estudio del nopal productor de tuna, entre variedades de la misma, concluyó que las selecciones que presentan las mejores características para el mercado son COPENA T-2 - COPENA T-3 y COPENA T-5, ya que tienen pulpa blanca y un buen tamaño de fruto. Por otra parte, en el análisis económico de la - producción, en donde se comparan las utilidades obtenidas del maíz frijol y variedades COPENA, se observó que son mucho mayores las obtenidas de éstas últimas que las obtenidas de siembra de maíz y frijol, cuadro 36. La desventaja que presenta la tuna es que es una fruta de temporada y que el hábito alimenticio de la gente - no es propiamente el consumo de fruta.

Valadez et. al., (1979) condujeron un estudio sobre la estabilidad del jugo, concentrado y en polvo, de la tuna obteniendo las - siguientes conclusiones:

Cuadro 36. Rendimiento y utilidad de algunas variedades de nopal comparado con maíz y frijol. (Cruz, 1977).

SELECCION	RENDIMIENTO kg/ha.	No. de Cajas	UTILIDAD. \$/ha.
Copena F-1	17,642	588	23,520.00
Copena T No. 2	19,828	660	26,400.00
Copena T No. 3	20,213	673	26,920.00
Copena T No. 5	13,848	461	18,441.00
Cultivo.			
Maíz.	250	- -	437.50
Frijol	300	- -	1,500.00

- El jugo de tuna tapona concentrado y en polvo reveló mayor estabilidad, en los cambios observados, al calor y almacenamiento, al ser comparado con el jugo de arándano concentrado, jugo de betabel y extracto de col roja.
- La estabilidad alcanzada durante la fermentación al disminuir el total de azúcares libres (13.7%), hace posible el poder obtener jugo de tuna concentrada y en polvo, evitando así la caramelización y la viscosidad de éste al ser concentrado e incrementada su estabilidad para uso industrial.
- El jugo de tuna presenta gran viabilidad a los cambios de pH., siendo el rango de 3 a 4 los más estables, pudiendo usar amplia-

mente en refrescos y bebidas carbonatadas.

- En un periodo mayor de 4 semanas de almacenamiento el jugo de tuna concentrado pierde ligeramente su color rojizo pero es más estable que otros jugos.
- El jugo de tuna en polvo es más inestable a los cambios de pH y temperatura que el jugo de tuna concentrado líquido.
- Sobre la base del estudio presentado referente a bebidas de tuna en el que se simuló su pH característicos de 3 y 4, mostró que se puede usar con confianza, tanto en forma líquida como en polvo, pudiendo ser utilizado en la industria de refrescos y bebidas por periodos hasta de 3 meses.

Ornelas Vale (1975), en un estudio de Biomasa en cultivo continuo a partir de jugo de tuna resume lo siguiente:

Seleccionó O. streptacantha (tuna cardona) debido a que es la que presenta características excelentes como sustrato para fermentación por su contenido de carbohidratos y otros nutrientes, cuadro 37 y 38.

Cuadro 37. - Contenido de azúcares en el jugo de tuna (Paredes y Rojo, 1973).

Tipo de Azucar	Gr/100 Ml.
Fructosa	5.68
Glucosa	6.03
Maltosa	0.11
Sacarina	0.14
Total	11.96.

Cuadro 38 .-Análisis bromatológico promedio de las partes constitutivas de la tuna cardona (Abarca, 1971; Bejarano, et. al., 1973; Lozano, 1958; Piña, 1970).

Análisis	Cáscara % B.H	Pulpa % B.H	Semilla % B.H.
Humedad	87.00 - 88.00	85.00 - 90.00	- - -
Cenizas	0.40 - 1.91	0.20 - 0.30	1.8
Proteína cruda	0.35 - 0.51	0.50 - 1.00	10.3
Grasa	0.39	0.00 - 0.53	11.50 - 20.00
Fibra cruda	1.27	0.27	46.40
Azúcares red. tor.	4.15 - 4.99	8.70 - 11.00	- - -
Azúcares red. dir.	0.15 -	2.0 - 6.00	- - -

Así pues, usando una levadura o convertidor de sustrato a proteína de alta calidad, procedió a la prueba encontrando que: la composición de la tuna cardona en este sentido es 56.65% de cáscara - 46.33% de pulpa y 29.24% de jugo.

Valadez et. al. (1979) menciona que el fruto en almacenamiento, no altera la composición de la pulpa y cáscara, pero sí disminuye parte de su peso total, notándose que esta alteración afecta - sobre todo a la pulpa, que pierde parte de su peso, en tanto que la cáscara aumenta. Claramente indica esto, que el agua del fruto - para de la pulpa a la cáscara, pero este cambio, no influye en la

composición íntima. Según los análisis obtenidos durante el almacenamiento, las tunas sufren otros cambios, como, el aumento de acidez tanto en pulpa como en cáscara (0.05% y 0.21% respectivamente). Debido a este comportamiento, la tuna cardona es la más apropiada para ser conservada.

Por otro lado, el contenido en extracto etéreo de la semilla es de aproximadamente 13%, por lo cual puede considerarse como una fuente de aceite comestible (Paredes y Rojo, 1973). Quadro 39.

Quadro 39. Análisis por cromatografía de gases del aceite de la semilla de tuna cardona (Paredes y Rojo, 1973).

---

Mirfístico	0.11g/100 g.
Palmítico	13.64g/100 g.
Palmitoléico	0.75g/100 g.
Estearico	4.56g/100 g.
Oléico	4.56g/100 g.
Linoléico	50.91g/100 g.

---

El jugo de tuna resultó ser un buen sustrato para la producción de biomasa usando, Candida utilis como convertidor donde la cantidad de proteínas encontradas en el valor de dilución igual a  $0.20 \text{ hr}^{-1}$ , es similar al de lípidos aunque el comportamiento de las proteínas es lineal y reporta los siguientes resultados, en el cua

dro 40.

Cuadro 40. Composición aproximada de la mesa celular producida con Candida utilis.

DETERMINACION	BH g/100 g.	BS g/100 g.
Humedad	76.6	--
Proteínas X	11.2	47.9
Extracto eterio	1.2	5.2
Fibra cruda	1.0	4.3
Cenizas	1.5	6.4
E. L. N.	7.8	33.3

14 municipios de Zacatecas producen 1 millón de toneladas de fruta que no es aprovechada por su alto contenido de semillas. Sin embargo el análisis bromatológico de la tuna cardona muestra que tanto la pulpa como la cáscara tienen un contenido protéico bajo; no así la semilla, la cual presenta un 11.1%. Cuadro 41.

Cuadro 41. Análisis bromatológico promedio de las partes constitutivas de la tuna cardona (Opuntia streotacantha) (Según Paredes y Rojo, 1973).

	Cáscara		Pulpa		Semilla	
	% b. h.	% b. s.	% b. h.	% b. s.	% b. h.	% b. s.
Humedad	87.00	-	85.00	-	5.01	-
Proteína cruda	0.51	4.11	0.51	3.37	10.63	11.10

Vital (1974), en un estudio sobre la optimización de la producción de proteína microbiana a partir del jugo de tuna, obtuvo un coeficiente de rendimiento celular por unidad de sustrato de 47.6%, en una tasa específica de crecimiento de 0.96 una productividad de 0.66 g/ha/hrs. con un contenido protéico de 46.3% y un 1.75% en ácidos muréicos.

La semilla contiene un 12% de aceite con un índice de yodo de 122, índice de saponificación de 196 y una densidad de 0.917 gr/cc. Piña (1970); comparado con otros aceites estos resultados son buenos, pero su índice de saponificación y su densidad son mayores que en el olivo, ajonjolí, maíz, cártamo, copra, soya, girasol y algodón (Vital, 1974).

Soto (1979), reporta resultados de la composición del aceite de tuna comparado con otros aceites, ver cuadro 42. En él se puede observar que el contenido de aceites insaturados de ésta es comparable con el de otras semillas de alto contenido de aceite, sin embargo, en algunos casos las de tuna superan a otras.

Valadez, et. al. (1979) investigaron la identidad de los pigmentos principales presentes en la tuna cardona (C. streptacantha); la influencia del tamaño del fruto sobre la concentración de los colorantes, en una zona productora y estado de madurez determinado; así como la influencia de la temperatura, pH, aire y/o luz. Los resultados que obtuvieron fueron: Batacianinas con un 78% de betanina,

Cuadro 42. Composición de la semilla de tuna comparada con otras productoras de aceites (Soto, 1979).

Acido graso	Aceite semilla de tuna %	Cartamo %	Algodón %	Ajonjoli %	Soya %	Olivo %
Mirístico	trazas	-	-	-	-	-
Palmítico	13.5	7.0	23.4	8.2	11.0	13.5
Palmitoléico	1.92	-	2.0	0.5	-	1.5
Estéarico	4.82	2.5	1.1	3.6	4.0	2.5
Oléico	24.71	14.5	22.9	45.3	25.0	73.0
Linoléico	53.35	75.0	47.8	41.2	51.0	8.5
Linolénico	1.66	1.0	2.8	1.2	9.0	1.0
Total de Inst.	79.72	90.5	73.5	87.7	85.0	82.5

17.6% de isobetamina y 4.4% de phylocactina, e indicaxantina como única betaxantina. El tamaño del fruto sobre la concentración de los pigmentos no tiene influencia significativa sobre un estado maduro uniforme. La aplicación del colorante natural en postres de gelatina y yoghourt, demostró que es posible obtener buenos resultados operativos (semejantes a los de colorantes artificiales), siempre y cuando el sistema alimenticio presente un pH entre 3.0 y 6.0 y se exponga a bajas temperaturas o períodos cortos de tiempo a altas temperaturas de procesamiento; para obtener la máxima estabilidad

de color, el alimento debe ser protegido del aire y/o la luz.

En un estudio realizado por Piña en 1970, estima que la cáscara representa el 53% del contenido del fruto, o sea que de la producción de un millón de toneladas de éste, se calcula que produce aproximadamente 520,000 toneladas de cutícula, que al someter a secado directo reduce 5 veces su peso, con lo que se obtienen 104,000 toneladas, pudiéndose usar ésta como forraje para la alimentación del ganado mayor y tener un beneficio de 13 millones de pesos por este concepto.

Actualmente las grandes cantidades de semilla que se obtienen como subproducto de la elaboración del queso de tuna, no se les ha prestado la atención debida conforme su valía.

La alimentación de cerdos con semilla molida, representa un alimento sólo inferior al maíz en un 25%. La semilla contiene alrededor de un 20% de grasa comestible, muy parecida en olor y sabor a manteca de cerdo y bien se le podría utilizar para proporcionar dichas características a las grasas vegetales salidas al comercio.

Se le considera en forma muy general que en una extensión - aproximadamente de 100,000 ha. hay una densidad de 1,000 plantas por ha. calculándose además, que la productividad media por planta es de 10 kg. de tuna, lo que corresponde a 10,000 kg. por ha. (Piña 1970), con una producción aproximada en el estado de Zacate

cas de 1,000,000 a 1,200,000 toneladas anuales de tuna cardona - (Paredes y Rojo 1973; Piña 1970).

Velázquez (1962), estima que la zona cubierta por nopal cardón en la zona Potosino-Zacatecana, es del orden de 3.832,500 ha. con una densidad promedio de 45.45 individuos por ha. considerando que cada nopal produce 10 kg. de tuna al año, obtenemos una producción anual de 1.74 millones de toneladas de tuna cardona, de la cual menos de la mitad es aprovechada.

Una de las limitaciones al incremento de la producción tunera, realizada con el fin de elaborar productos agroindustriales, es el elevado costo ecológico de la cosecha, la cual debe hacerse en forma totalmente manual.

López et. al. (1977), indican que parece factible el pensar acerca de la proposición de que en el futuro se incremente el tamaño del fruto de las especies y variedades que usualmente se cosechan. El beneficio principal de este incremento, sería la reducción del costo ecológico de cosecha, pues por jornada de trabajo, sería posible cosechar y descortezar un peso mayor del producto - (como es el caso de O. ficus-indica de piel roja, cuyo peso del interior del producto es 2.8 veces superior al del fruto de O. streptacantha).

De acuerdo a Bravo y Piña (op. cit) una posibilidad para el aprovechamiento masivo no sólo del nopal cardón sino de otros -

nopales silvestres es el ensilado, tanto de las tunas como de las pencas, trituradas y mezcladas con rastrojo de maíz, paja de frijol y otros desperdicios agrícolas. La mezcla resultante se somete a fermentación adicionando urea, con lo que se obtiene un forraje de sostén para ganado lechero.

#### 6.1.8.4. Nopal Verdura.

La explotación del nopal para verdura para 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, zonas que por una parte presentan las condiciones ambientales propicias para el cultivo y por otra (y más importante) los hábitos alimenticios de la población dan a los nopalitos una cierta importancia dentro de la dieta.

En el Valle de México, sobresale la región de Milpa Alta como productor de nopales para verdura. Sin embargo, ninguna bibliografía ha mencionado al nopal con éste fin en el Valle de Oaxaca, no obstante, en esta región se consume el nopal como verdura a partir de el llamado "nopal grueso" que probablemente sea O. ficus-indica var. Oaxaca, que se consume en un estado avanzado de madurez; este nopal tiene como características; cladodios oblongos y gruesos, con una voluminosa capa cerosa blanquecina y sin espinas.

De acuerdo con Fernández (1949), el análisis bromatológico del

nopal para verdura, en comparación con otros vegetales se muestra - en el cuadro 43.

Cuadro 43. - Análisis bromatológico del nopal para verdura y otros productos utilizados en la alimentación (Fernández Landero, - 1949).

Muestra	Nombre científico	Humedad %	Muestra fresca		Vit. 'C' total	Muestra seca		Vit. 'C' total
			Ac. Asc.	Ac. Deh. Asc.		Ac. Asc.	Ac. Deh. Asc.	
NOPAL	<u>O. tomentosa</u>	93.5	1.2	0.3	1.5	18.4	4.7	23.1
Crudo			0.8	0.2	1.0	12.3	3.0	15.3
Cocido								
VERDOLAGA	<u>Portulaca oleracea</u>	93.5	12.2	5.4	17.6	187.0	83.1	270.0
Cruda			5.6	2.0	7.6	86.9	30.1	117.0
Cocida			0.7	2.6	3.3	10.7	40.0	50.7
CALABACITA (fruto)	<u>Cucurbita pepo</u>	94.1	29.0	13.5	42.5	500.0	232.7	732.7
Crudo			12.5	2.0	14.5	214.0	36.0	250.0
Cocido			7.9	---	8.0	136.5	1.4	137.9
Caldo								
ROMERITOS	<u>Suaeda sp</u>	88.5	15.7	26.3	42.0	137.5	228.9	366.4
Crudos			4.6	11.2	15.8	40.3	97.5	137.8
Cocidos								
TOMATE VERDE	<u>Physalis coztomat</u>	92.0	2.0	1.5	3.5	25.0	18.7	43.7
Crudo			0.5	---	0.5	6.0	---	6.2
Cocido			1.2	0.2	1.4	15.3	2.5	17.8
Caldo								
CHILE SE-RRANO	<u>Capsicum annum</u>	89.4	3.0	10.6	13.6	28.3	100.0	128.3
Crudo			1.5	2.4	3.9	14.1	22.7	36.8
Cocido			1.9	0.6	2.5	17.9	5.6	23.5
Caldo								

La especie más conocida como verdura es O. ficus-indica, sin embargo, el Colegio de Postgraduados de la S. A. R. H. obtuvo la

variedad para verdura conocida como Tlaconopal (O. inermis), ésta produce brotes carnosos y con muy pocas espinas, y tiene la ventaja de que su sabor no es agrio. La misma institución obtuvo la variedad COPENA F-1 de triple propósito (verdura, fruto y forraje), cuyos brotes son más delgados que los de Tlaconopal, pero son igualmente sin espinas con poca baba y no son agrios.

El Colegio recomienda para tener resultados óptimos en la siembra, una densidad de 40,000 plantas por hectárea. La producción que puede lograrse con riego, estiércol y fertilizante químico puede ser de 5 a 8 ton. cada semana durante todo el año.

Según García M. (1965), las plagas más comunes del nopal son:

- Picudo barrenador (Cactophagus spinolae Gyll). Se alimenta comúnmente de brotes tiernos. Las larvas devoran los tejidos internos de las pencas constituyendo una serie de galerías en los ejes principales. En las partes afectadas se observa una acumulación de secreciones gomosas que posteriormente toman un color café amarillento y finalmente negro. Esta plaga provoca una disminución en la producción, y en casos extremos, la muerte de la planta.
- Picudo de las espinas (Cylindrocopturus biradiatus Champs)

El adulto aparece durante los meses de abril y mayo. Las hembras depositan sus huevecillos en la base de las espinas, y entre junio y julio nacen las larvas, que comienzan a alimentarse de

los tejidos de las plantas originando 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.

Chinche gris (Chelinidea tabulata Burm) aparece durante los meses en que comienza a aumentar la temperatura. 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. Se presentan principalmente sobre plantas jóvenes del nopal manso.

Chinche roja (Hesperolabops gelastops Kirkaley), ninfas y adultos succionan la savia de las pencas y en las zonas que atacan aparecen manchas que al secarse se levantan y agrietan la superficie.

Gusano cebra (Olycella nephelepsa Dyar). En Enero, principalmente, es atacado el nopal joven o las pencas tiernas por numerosas colonias de larvas; viven exclusivamente en el interior de la planta, provocando abultamientos exteriores por la destrucción interna de la penca. Se han localizado en O. tomentosa, O. megacantha, O. ficus-indica, O. streptacantha, O. stenopetala O. robusta y otras no determinadas.

Gusano blanco (Lanifera cyclades Druce). Sobre las pencas de nopal son depositados los huevecillos, las larvas avanzan hacia el interior de la penca hasta llegar al eje principal, afectando el tejido

te atacada. Los trips son también vectores de las enfermedades rilles o coloración parda, la costrosidad y la desecación de la parte de excremento oscuro y brillante. Más tarde aparece la amarillamiento de color amarillento o gris blanquecino y se ven ensucias de los órganos atacados se cubren de perforaciones. Los órganos atacados se cubren de perforaciones como "alas con flecos". Perforan los tejidos de la planta. También se les

se alimentan y aparecen.

activos, al anochecer suben a las partes altas de la planta donde en el principio del otoño, en la primavera los adultos se vuelven se alimentan de las raíces y partes subterráneas de la planta hasta Gallina ciega (*Phyllophaga* spp.) Las gallinas ciegas jóvenes

que presenta la planta en su parte aérea.

cuencia daños muy graves. La invasión se reconoce por la marchitez y otras partes subterráneas de la planta, produciendo con frecuencia de hambre (*Diabrotica* sp.) Devoran y royen las raíces

mente su muerte.

den causar la caída del fruto, debilitamiento de la planta y finalmente se localizan en la parte basal de las espinas. Ataques severos pueden Cochinita o grana (*Dactylopius indicus* Green). Los daños

hasta su muerte o impidiendo que produzca nuevos brotes.

leñoso y perforando toda la parte interna, debilitando a la planta

Caracol (Helix aspersa Muller). Se alimenta de la parte superficial de las pencas rompiéndose el fenómeno de síntesis clorofiliana que ocasiona la reducción de nuevos brotes en las pencas afectadas.

Monilema variolaris Thomson. Las larvas perforan los tallos de los nopales, lo que consecuentemente causa la muerte de la planta y en otros casos, produce un debilitamiento general muy notable.

De acuerdo con Alcorn, Gilberston y Nelson (1972), algunas de las enfermedades de los nopales son:

- Enfermedades por bacterias. Probablemente la enfermedad más visible sea la Necrosis Bacteriana causada por Erwinia carnegiana, microorganismo que mide 1 por 3 micras, esta bacteria infecta a la planta a través de aerturas naturales, heridas u horadaciones de insectos, probablemente también por contacto directo o de raíz a raíz, provocando una pudrición suave en la que los tejidos internos pueden volverse líquidos, semejjando las pencas bolsas de agua, para después desplomarse o hundirse por completo. La bacteria puede permanecer restringida en el área afectada, después de la destrucción del cladodio o puede expandirse a través de la coyuntura o nudo, al próximo cladodio; generalmente, no más de dos pencas sucesivas son afectadas a un tiempo.

- Enfermedades por hongos. Las lesiones causadas por el hongo Phyllosticta concava son circulares, de color café claro, hay

hundimiento de tejidos cubiertos por diminutos puntos negros, los síntomas pueden aparecer simultáneamente en ambos lados del cladodio, el área afectada puede aumentar o no su diámetro hasta una pulgada, pero la unión de múltiples lesiones en una penca origina manchas más grandes; más tarde los tejidos afectados se contraen y se hacen negros, formándose los cuerpos de las esporas, primero, en el centro de la lesión. Aunque la manera en que los hijos del hongo infectan las pencas no se conoce, las características del hongo sugieren que probablemente no son diseminados por pencas adyacentes, por el viento o por chapoteamiento de la lluvia.

Cpuntia fulgida, O. versicolor y Ferocactus wislizenii, en condiciones de invernadero han manifestado sensibilidad a los hongos - Fusarium solani y Fusarium oxysporum, estos hongos provocan - desde un color verdoso hasta un ablandamiento negro de tejidos que bajo la epidermis pueden convertirse en acuosos y negros con líneas café claro en las estructuras internas leñosas; generalmente aparece primero la infección cerca de la línea de apoyo o donde las espinas de la planta adyacente han penetrado la planta. La planta se derrumba por completo en pocos días.

- Enfermedades por virus. - Los nopales infectados por virus pueden mostrar síntomas severos, tales como, círculos cloróticos (amarillos) y pencas retorcidas que tienen efecto marcado en el crecimiento de la planta. Trabajos hechos en Arizona sobre la distri-

mas actividad fotosintética, siendo en este caso el tamaño de brote establece un equilibrio fisiológico, es decir, en el que se efectúa - continúa creciendo hasta alcanzar el tamaño adecuado en el que se cía fotosintética, o sea, que mientras la hoja no es autosuficiente - se debe a que existe una relación entre el tamaño foliar y la eficiencia en la tasa de asimilación neta (TAN) del cladodio madre; esto influye a las siguientes producciones de brotes. Este tamaño también se deja desarrollar en la primera emisión, ya que afecta directa -

Encontró también que influye el tamaño medio del brote que influye en la producción.

fisiológico de máxima eficiencia, saturándose en esa edad la respuesta más altas, por lo que se plantea que en ellos existe un equilibrio - los cladodios de 6 meses de edad se obtuvieron las producciones - última densidad tuvo las más elevadas producciones de brotes. En estas fueron 30 plantas/m<sup>2</sup>, y 55 plantas/m<sup>2</sup>, obteniendo que esta influencia de la poda en la producción intensiva del nopal verdura; Grageda (1978), probó dos densidades en su estudio sobre la - banización, pasaron a los cactus.

la cultivada hace 60 ó 100 años y de ésta, como resultado de la ur - del nopal sino que fueron, posiblemente, introducidos en alguna plan - cultivadas, lo cual sugiere que no son parte natural del desarrollo trado que se encuentran solamente en regiones donde existen plantas bución de estos virus en poblaciones de plantas nativas, han demos -

medio el que reúne esa condición.

Por lo tanto para establecer una plantación y realizar una poda debe tomarse en cuenta la edad y el tamaño del cladodio respectivamente.

El tamaño medio para eliminar brotes es de 22 a 28 cm. de largo por 14 a 18 de ancho.

Conforme se deja desarrollar un número mayor de brotes de la primera emisión y luego se elimina (poda ligera), las producciones subsecuentes de brotes son más elevadas, obteniéndose así, una respuesta lineal a este efecto, es decir, hay un incremento en las siguientes producciones de brotes conforme mayor era el número de brotes que inicialmente se dejaron desarrollar (intensidad de poda ligera) sin presentarse saturación en la respuesta.

#### 6.1.8.5. Obtención de Grana o Cochinilla.

La grana o cochinilla (Dactylopius indicus), es una de las plagas del nopal, de la cual se obtiene un tinte carmín que es utilizado en la industria del vestido, fabricación de cosméticos, pinturas, coloración de alimentos y medicamentos. 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.

Según algunos autores, los nopales en los que se cultivó la cochinilla son: de castilla (O. ficus-indica) y el de San Gabriel (O. -

tomentosa). Bravo (op. cit.) afirma que en la actualidad la grana vive sobre el llamado nopal pluma o nopal crinado (O. pilifera), - mientras que Piña (1981) ha observado también grana fina creciendo en el nopal cardón (O. streptacantha) y en el nopal manso (O. megacantha).

En 1620, Felipe III, señaló que uno de los más preciados frutos que se criaban en las Indias Occidentales era la grana o cochinnilla, mercadería valorada al igual que el oro y la plata. Fray - Bernardino de Sahagún indica que existían 3 tipos de grana la fina o "recia", la "baja" que mezclaban con harina o greda, y la de menor calidad o "falsa". En 1784, se consideraba que la mejor era la grana pasture, que se obtenía de las hembras que habían tenido crías.

En la época en que el producto tuvo buen mercado, la Mixteca Alta, era de las más sobresalientes. Sin embargo, esta región fué 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 independencia de México, estableciéndose una libre competencia entre los países productores que origina el abatimiento de los precios; y a la aparición de colorantes - sintéticos (color malva en 1858; y rojo congo en 1884).

A últimas fechas existe una demanda cada vez mayor de este colorante natural. Sin embargo México ya no produce grana, por -

El ciclo biológico de la cochinilla se inicia cuando la temperatura empieza a ascender pues la reproducción de estos insectos se hace notable; las ninfas de 36 días de edad son capaces de procrear porque ya poseen aparato reproductor. La oviposición comienza cuatro semanas después de la fecundación, ovopositando cada hembra de 150 a 160 huevecillos, de los que nacen inmediatamente las ninfas. Esta operación dura unos 15 días al término de la cual, el cuerpo del insecto se contrae hasta que muere. Al nacer los hijos, se aferran con la trompa y se alimentan con el jugo del nopal. En el término de tres meses los insectos de la cochinilla, están completamente desarrollados y listos para rendir cosecha. Se desprenden de a las madres ya muertas con pinceles suaves y después se hace

(Pina 1977).

Con objeto de rescatar este mercado para nuestro país, se está realizando un programa para fomentar la explotación intensiva de la grana en las regiones del estado de Oaxaca (cuna del colorante) que tengan condiciones ecológicas adecuadas. Esta actividad ofrece la posibilidad de un aprovechamiento masivo de diversas especies de nopales, en los que mediante técnicas relativamente sencillas, se cría el insecto. Posteriormente éste es sometido a un proceso químico para la obtención de colorantes a nivel industrial

1979).

el contrario, la importa principalmente del Perú (Bravo y Pina, -

lo mismo con los hijos. Se requieren más o menos 140,000 insectos para hacer 1 kg. de cochinilla.

## 6.2. Descripción del Sistema de Producción Agrícola del Nopal para Verdura, Opuntia ficus-indica, en Milpa Alta, D. F.

### 6.2.1. Características de la Especie Opuntia ficus-indica.

De acuerdo con Bravo, (1978), Opuntia ficus-indica, es arborecente, de 3 a 5 m. de alto o más. Tronco leñoso bien definido de 60 cm. a 1.50 m. de altura y 20 a 30 cm. de diámetro. Artículos oblongos hasta largamente obovados, de 30 a 60 cm. de largo y 20 a 40 cm. de ancho y 1.9 a 2.8 cm. de grueso, color verde opaco; integran ramas de varios artículos que forman una copa muy ramosa. Areolas distantes separadas entre sí como 2 a 5 cm., pequeñas, angostamente elípticas, de 2 a 4.5 mm. de largo, 3 mm de ancho. Espinas casi siempre ausentes, cuando existen son escasas y pequeñas; gloquíferas más o menos numerosas, amarillas, caducas. Flores de 7 a 10 cm. de diámetro y como de 6 a 8 cm. de largo; - segmentos exteriores del perianto ovados hasta ampliamente cuneados, obovados, agudos hasta truncados, enteros, mucronados o denticulados, amarillos con la porción media rojiza o verdosa; segmentos interiores del perianto angostamente obovados hasta angostamente cuneados, truncados hasta redondeados, enteros, mucronados o denticulados, amarillos hasta anaranjados; pericarpelo con algunas - espinas pequeñas caducas. Fruto oval, de 5 a 10 cm. de largo y

de 4 a 8 cm. de diámetro, amarillo, anaranjado, rojo o púrpuro, con abundante pulpa carnosa algo umbilicado.

Ampliamente cultivado en las poblaciones del altiplano mexicano, posiblemente desde épocas prehispánicas.

Se desconoce el lugar de su origen, aunque se cree que es nativa de México, donde existen numerosas formas hortícolas e híbridas. Fue uno de los primeros nopales llevados a Europa en la época de la conquista en donde se cultivó y aclimató especialmente en el litoral del Mediterráneo. En España se le dió el nombre de "chumbo" y a sus frutos "Higos de las Indias"; los árabes los llaman "Higos de los Cristianos"; los moros propagaron esta especie por el norte de Africa.

Britton y Rose, citados por Bravo (1978), opinan que este nopal es una forma inerte de especies relacionadas con la serie *Streptacanthae* y que su colocación en una serie especial es solamente "amatter of convenience"

Berger cree que es una forma sin espinas de *Opuntia amyclaea* que bajo cultivo crece bien en Italia (Bravo, 1978). Griffiths (Journal of Heredity 5:222, 1914) indica que el origen de esta forma sin espinas se encuentra en *Opuntia megacantha*; de esta opinión son también Benson y Walkinton (1965), que consideran esta especie como el tipo silvestre de *Opuntia ficus-indica* (Bravo, 1978).

Benson, estudiando los nopales de California encontró muchísimas formas híbridas que dicho autor considera que se originaron principalmente a partir de una sin espinas, correspondiente a O. ficus-indica y la otra con espinas aplanadas correspondiente a O. megacantha, los cuales a su vez hibridaron con varias especies nativas creando un nuevo enjambre de formas y tipos más o menos diferenciados (Bravo, 1978).

#### 6.2.2. Estructura de las Nopaleras.

La mayoría de las nopaleras que se presentan en esta zona son pequeñas, pues la máxima extensión que llegan a tener, sólo algunas, son 3,000 m<sup>2</sup>, casi todas se encuentran en predios de propiedad privada con poca superficie, y algunas más, en los solares de las casas.

El tipo de suelo y la topografía existente en el lugar hacen muchas veces necesaria la formación de terrazas que son sostenidas y detenidas por basalto.

Las parcelas se encuentran limitadas por bardas de piedra (basalto); vegetación secundaria perenne como matorrales de tipo tepozan (Buddleia americana) y marrubio (Marrubium vulgare), pirú, (Schinus molle), cedro (Cupressus lindleyi), capulín (Prunus serotina) y tejocote (Crataegus pubescens), y en algunos casos por magueyes (Agave atrovirens, Agave salmiana y Agave mapisal). También en ocasiones son limitadas por áreas de cultivo, comúnmente maíz, (Zea mays).

La manera en que se distribuyen las plantas del nopal en la nopalera es la siguiente:

Existe una serie de hileras que distan entre sí de 70 - 80 cm. y las plantas están colocadas en cada una de las hileras, una al lado de la otra (a 20 cm. aproximadamente al momento de sembrar) - sin dejar espacios al crecer la planta). Esto proporciona una alta densidad de población por hectárea que en ocasiones llega a ser hasta de 40, 000 plantas/ha.

Verticalmente la altura máxima que las plantas llegan a tener en las nopaleras es de 2 m., pero generalmente el promedio es de 1.20 - 1.25 m. (fig. 20).

### 6.2.3. Procesos de Trabajo.

#### 6.2.3.1. Selección del Terreno.

Prácticamente en esta región no hay una selección del terreno muy rigurosa, ya que por el tipo de suelo y topografía existente, las nopaleras comúnmente se establecen en laderas y sue los pedregosos que hacen necesarios, en muchos casos, la forma-- ción de terrazas. Sin embargo, hay que hacer notar que los bosques de coníferas que una vez existieron aquí la agricultura de temporal- practicada desde épocas remotas (principalmente: maíz, haba, frijol, trigo, papa, chícharo y maguey) han sido desplazados continuamente por el cultivo del nopal; al grado de haber desaparecido los bosques

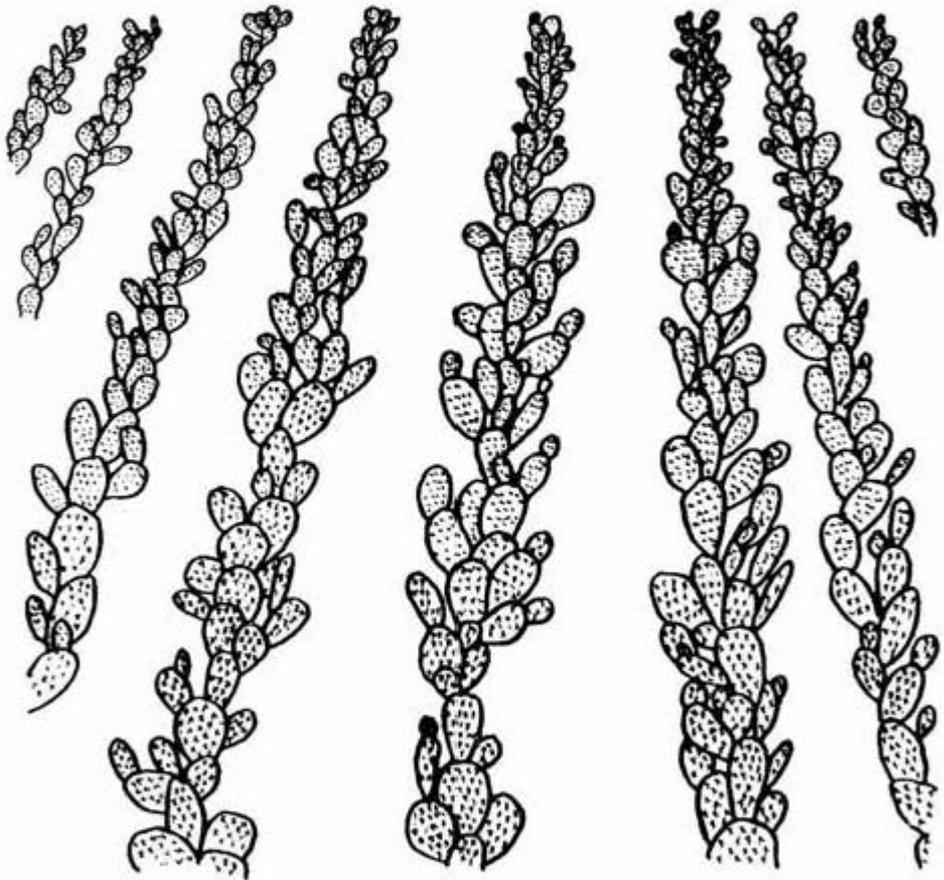


Fig. 20 -Distribución de las plantas de nopal en el sistema nopilero.  
Distancia entre hileras: 70 cm, distancia entre cladofio -  
generadores de plantas: 30 cm, altura de cada planta: 1.15 cm.

y la agricultura tradicional existe ahora en muy baja escala.

#### 6.2.3.2. Selección y Tratamiento del Propágulo.

Los productores de la zona utilizan la propagación vegetativa en sus nopaleras; un solo cladodio sirve como propágulo el cual es escogido de acuerdo a las siguientes características: mayor tamaño, sin cicatrices y sin enfermedades ni plagas. Si el cladodio cumple con tales características, se corta por la base para evitar que se pudra y se lleva a la sombra para impedir una deshidratación completa y para que cicatrice la herida del corte; al cicatrizar (15-20 días), si el cladodio no ha adquirido alguna infestación o infección entonces está en condiciones de ser plantado. Estos propágulos pueden almacenarse durante uno o dos años, cerca de la casa o de la parcela apilándolos, dejando espacio entre ellos y cubriéndolos con una capa de paja.

La fecha adecuada para la selección del propágulo es en julio aproximadamente.

#### 6.2.3.3. Preparación del Terreno.

Antes de iniciar la siembra es preparado el terreno quitando piedras grandes, deshierbando, y se rompe, desmorona y empareja la tierra, utilizando para ello azadón, rastrillo y pala.

#### 6.2.3.4. Siembra.

La plantación de propágulos puede realizarse durante todo

el año, pero los meses más óptimos y más comunes para llevarla a cabo son marzo y abril. Esta se lleva a efecto a una distancia entre planta y planta de 30-40 cm., distancia suficiente para que se desarrolle la planta sin dejar espacio, en hileras que distan entre sí 70 - 80 cm. que permite el paso para la cosecha y cuidados, y en surcos de 10-15 cm. de profundidad para poder enterrar el cladodio, aproximadamente una cuarta parte; lo que viene a repercutir, como se ha mencionado previamente, en una alta densidad de población por hectáreas. Al término de veinte días o un mes se aplica una capa de abono.

#### 6.2.3.5. Fertilización.

No se utilizan fertilizantes químicos, pero sí se realiza la aplicación de abono orgánico en grandes cantidades (30-40 cm.) colocado someramente al momento de la plantación, tapando casi por completo al cladodio. Posteriormente se agrega cada seis meses, cada año o hasta cada dos años, colocando una capa gruesa antes de las lluvias, según se necesite. La materia orgánica más comúnmente empleada es el estiércol de vaca que se compra en establos lecheros de Chalco, Naucalpan o Tlanepantla a un precio que varía desde \$3,000.00 hasta \$15,000.00. La manera en que transportan el abono del carro de carga a todas las hileras es en carretillas, canastos o botes y lo esparcen con palas o trinchas. Se necesita - aproximadamente un carro de abono para 2 hileras en una extensión

de 2.5 ha., utilizando en toda esa área de 60 a 70 carros de estiér col.

También se utiliza como abono el picado del nopal que se avejenta, que no alcanza a ser cortado para su venta y deshechos de poda, el cual se emplea principalmente en época de sequía (para que el exceso de humedad no pudra al nopal).

#### 6.2.3.6. Poda, Deshierbe y Combate de Plagas.

La poda se realiza constantemente y con varios fines: 1) mantener una misma dirección (oriente-poniente) en los cladodios de la planta, poda de ordenación o poda de laterales; 2) para desechar los nopalitos que no logren ser cortados para su venta; 3) para evitar el envejecimiento prematuro de las plantas, es decir, es una poda de rejuvenecimiento que aumenta la productividad y evita la producción de tunas que no es costable explotar porque solo se dan 1 vez al año, y 4) para sanear el cultivo, pues todos los nopales plagados o enfermos son podados. Los desechos de la poda rara vez son sacados de la plantación, pues con el fin de evitar plagas como tuzas o ratas son picados y utilizados como abono o para agregar humedad al suelo. La época de poda es en julio y agosto aproximadamente.

Debido al continuo cuidado que hay que tener en estas nopales, es poco probable que lleguen a infestarse de malezas, pero -

cuando esto sucede para eliminarlos no se emplea ningún pesticida; se deshierba manualmente, empleando generalmente, azadón o pala y machete.

El combate de plaga se realiza en muy contadas ocasiones, - pues se puede decir que se tienen pocas plagas y enfermedades y que éstas no causan un detrimento alto en la producción. Las plagas más comunes son: Diabrotica sp. chahuistle; Lanifera cyclades gusano blanco; barrenador Cactophagus spinolae; piojo Cylindrocoturus biradiatus; chinche roja Hesperolabops gelastops; pinacate Phyllophaga spp. y cochinilla Dactylopius indicus, y para combatirlos se emplea agua y jabón, agua con cal o se corta el pedazo afectado, otras plagas fuertes son ardillas, ratas, tuzas y pájaros, que son controlados mediante trampas o los matan con arma de fuego.

#### 6.2.3.7. Cosecha.

La cosecha se realiza durante todo el año, una o dos veces por semana dependiendo del tamaño de la parcela, pero la época en que se efectúa con más frecuencia (hasta diaria) por ser más elevada la producción es en abril y mayo.

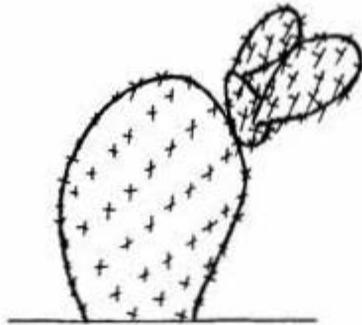
La cosecha se lleva a cabo temprano por la mañana para que los nopalitos se mantengan frescos y no se pongan rojos. Se seleccionan las pencas más grandes (20-25 cm.) y se cortan por la base dejando un "quotillo" es decir la parte inferior del nopal cosechado

queda adherida a la planta para posteriores regeneraciones; el "quiotillo" puede ser corto, o largo, cuando los precios son muy bajos (fig. 21). Los implementos que se usan son cuchillo corto y guante y se colocan en canastos, a los cuales les cabe 150 nopales aproximadamente o entre 50 y 60 kg., y en ellos se transportan, ya sea a los lugares de comercio o a ser empaquetados, para lo cual se emplea un cilindro de metal de 1m. de diámetro, destapado por ambas partes (molde) y dentro de él se van acomodando los nopalitos en forma circular; las pacas así formadas contienen aproximadamente 3000 nopalitos o 500 kg. (fig. 22) y de esta manera son conducidos a los mercados.

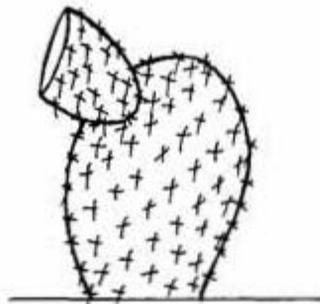
#### 6.2.3.8. Comercialización.

Los nopales pueden venderse durante los primeros 2 ó 3 días de su cosecha, después de este tiempo ya no los compran. Los agricultores venden su producto según la cantidad que posean, es decir, los grandes productores venden a la central de abastos, mercado de la Merced, mercado de Jamaica, de donde se distribuyen a otros estados o en el D.F., y los pequeños productores lo venden en el centro de Milpa Alta o a los grandes productores.

Los productores en pequeño poseen menos de una hectárea con nopaleras; la mano de obra familiar es suficiente para atenderlas; transportan sus productos en carretillas para venderlos.



a)



b)

Figura 21. "Quiotillo" a) corto, para aumentar la longevidad del cladodio en estado productivo. b) largo, para detener la proliferación de nuevos cladodios.

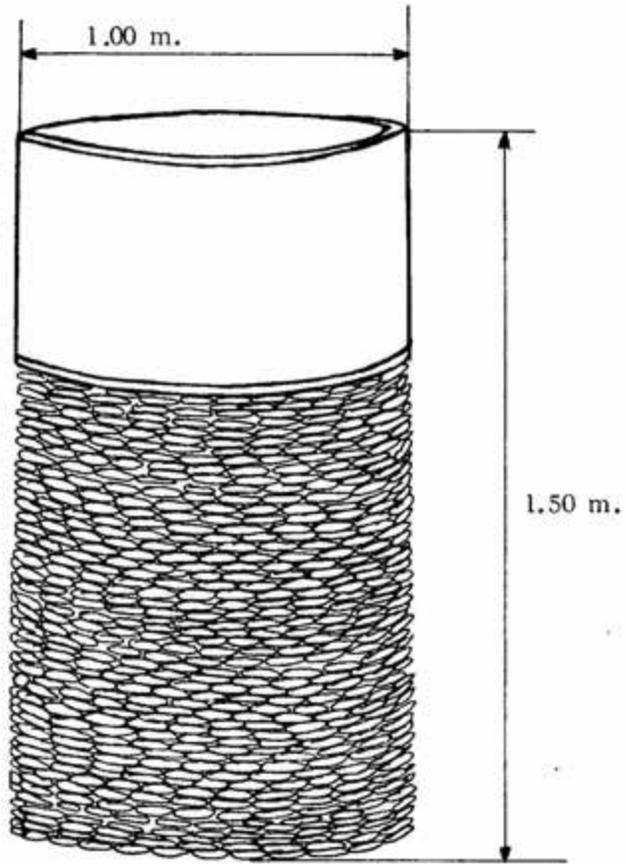
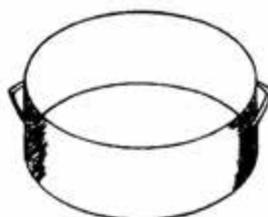


Fig. 22. Estructuración de la Paca.



Cuchillo



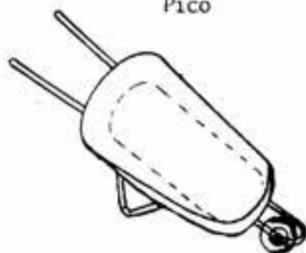
Molde



Pico



Azadón



Carretilla



Pala



Bieldo



" Chiquihuite "

Fig. 23 Implementos agrícolas utilizados en el cultivo del nopal.

Los productores en grande, dedican una hectárea o más al cultivo del nopal y como la mano de obra familiar es insuficiente, en estos casos se contratan peones que cosechen y mantengan en buenas condiciones las plantaciones, éstos asalariados son generalmente "masahuas", que se trasladan de los poblados de Atlacomulco, San Felipe del Progreso e Ixtlahuaca, en general son del Estado de México, Puebla y Oaxaca, para vender su mano de obra a razón de \$500.00 diarios, comida y hospedaje, estos propietarios poseen camionetas o camiones de redilas para comercializar su producto.

El precio del nopal por "chiquihuite" o por paca para los agricultores varía según la época del año, pues cuando hay una mayor producción (abril y mayo) el precio disminuye hasta \$50.00 \$100.00 el "chiquihuite", y \$1,500.00 la paca, y cuando la producción disminuye (en invierno) el precio sube y llega a ser hasta de \$1,000.00 el "chiquihuite" y hasta \$25,000.00 la paca, porque la demanda también aumenta en diciembre y enero. Cuando la oferta rebasa por mucho la demanda sólo los grandes productores siguen vendiendo nopal aún a muy bajo precio, para no perder a sus clientes y los pequeños productores prefieren tirarlos y picarlos para que sirva de abono a las nopaleras.

La asesoría por parte de alguna institución, para la producción y comercialización del nopal es nula, ya que todos los conocimientos

que tienen al respecto son empíricos, de la práctica y transmitidos de padres a hijos. En lo que se refiere a créditos bancarios los agricultores tienen desconfianza, pues consideran desventajosas las condiciones para obtenerlos.

#### 6.2.3.9. Envejecimiento, Muerte y Renovación de las Nopaleras.

Si las nopaleras no son podadas constantemente se avejentan rápidamente y el nopal tiende a producir tunas, cuando esto sucede se desecha la plantación y se renueva lo más pronto posible, ya que no es costeable la producción de tuna. También se renueva la nopalera cuando ésta ha producido durante varios años y ha alcanzado un tamaño incómodo para seguir cosechando (1.50 m. aprox.) o cuando no se ha podido controlar alguna plaga.

Esta práctica se realiza tirando con machete (en áreas escarpadas) o con tractor (en terrenos planos) todos los nopales de la parcela en cuestión o cortando la mayor parte de la planta y dejando únicamente los cladodios iniciales, siempre y cuando no se hallen plegados, e insertándolos picados en otras nopaleras, para posteriormente, iniciar una nueva siembra que renueve la nopalera.

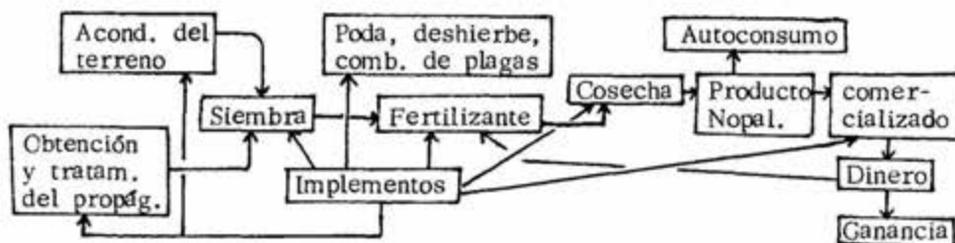


Fig. 24.- Diagrama de los procesos de trabajo.

### 6.3. Razonamiento Ecológico y Cultural del Proceso de Producción del Sistema Nopalero y su Domesticación.

#### 6.3.1. Propágulos y Forma de cultivo.

Se utiliza la reproducción vegetativa por requerir de menos tiempo y cuidados para que empiece a producir nopales. Se utiliza un cladodio como base del cultivo es decir, un sólo nopal como unidad de siembra o propágulo, en lugar de dos o tres que se emplean como propágulo en los huertos tuneros. Las razones de esta práctica son las siguientes:

- Permite obtener cladodios comerciales en menos tiempo, 3 ó 4 meses.
- De esta manera la penca es totipotencial, es decir, no se desperdicia ninguna posibilidad de que se desarrollen yemas vegetativas (nopales) que es lo que importa en este proceso de producción. - la totipotencialidad del cladodio se debe a que todas las areolas tienen tejido meristemático; se cree que por influencia hormonal, después de producir vástagos en los bordes, se inicia la producción de éstos en las caras del cladodio.
- En última instancia, es más fácil que se mantenga erguido un propágulo que conste de un cladodio, que otro de 2 ó 3 mientras desarrolla raíces y queda firmemente adherido al suelo.

#### 6.3.2. Aplicación de Fertilizante.

La aplicación de abono en la superficie del terreno y en una capa tan gruesa (30-40 cm.) podría parecer una práctica extraña pero ésta tiene los atributos siguientes:

- Al liberarse los nutrientes del excremento de ganado bovino, las raíces de los nopales, que son someras, los captan rápidamente.
- Mantiene la temperatura del suelo estable, lo cual es necesario para la producción permanente del nopal, pues si ésta varía de acuerdo a la época del año la producción sólo sería estacional, en verano principalmente, y no permanentemente.
- Dado que el estiércol absorbe humedad y la libera lentamente, proporciona humedad a la planta en tiempo seco.
- El estiércol tiene incluida paja de trigo (desde el establo viene con ella), la cual sólo sirve para ayudar a conservar la temperatura y humedad.

Abonar cada dos años se debe más bien al lavado del estiércol por las lluvias, ya que casi todas las parcelas están en pendiente, y no a la degradación de los nutrientes.

### 6.3.3. Utilidad de la Poda.

La poda continua de las plantas es importante por los siguientes aspectos:

- Retrasa el crecimiento de la planta al evitar la formación de nuevos cladodios totipotenciales, sin haber utilizado la potencialidad

- de los ya existentes, lo que repercute en una mayor productividad.
- Tiene una finalidad fitosanitaria, pues evita que los cladodios viejos se plaguen y se propaguen los insectos a toda la planta. Al no utilizar insecticidas, porque son caros y afectan al nopal que se consume como verdura fresca, se provoca un menor desequilibrio ecológico.
  - Aporta y mantiene la humedad en épocas de sequía al depositar los desechos de la poda, picados en el suelo.
  - Evita la competencia por nutrientes.
  - Se tiene espacio suficiente para la cosecha.

#### 6.3.4. Cosecha.

Los planteamientos que a continuación se indican nos muestran porqué la manera de cosechar el nopal aumenta la productividad en tiempo y espacio.

- Al cortar los brotes de las areolas del borde ~~de la~~ penca se evita la formación de yemas florales que inhibirían la aparición de yemas vegetativas (nopales), ya que de ocurrir la floración, los carbohidratos que se produjeron en la fotosíntesis no se utilizarían en la formación de nuevos tejidos del desarrollo vegetal, sino en la diferenciación floral; además se permite el surgimiento de brotes en las areolas de las caras laterales de la penca, es decir, se expresa la totipotencialidad del nopal, pues se ha observado -

que cuando se eliminan vástagos de un cladodio se favorece a una nueva emisión de yemas vegetativas, y éstas son más numerosas mientras más severas sea la poda (García, 1971; Barrientos, 1976).

Aumento de productividad en tiempo.

- El cosechar dejando un "quitillo" en los bordes de la planta, no inhibe la formación de yemas vegetativas en las caras laterales y sin embargo sí incrementa la superficie de producción de éstas - cuando éste es corto, aumento de productividad en espacio; o retrasa (sin inhibir) la emisión de brotes en las caras laterales. Esta última modalidad sirve para regular, un poco, la producción en la época en que ésta es excesiva para que en junio o julio se vuelva a cosechar (fig. 21).
- Al cosechar de este modo se está ejerciendo una presión de selección en las plantas, pues se obliga a cada cladodio a expresar su totipotencialidad, lo que en nopales silvestres no sucede, pues se producen nopales sólo en los bordes.

La gran densidad de población ocasionada por la manera de distribuir los propágulos en la siembra es otra manera de ejercer la presión de selección ya que entonces los recursos se ven sometidos a una fuerte competencia intraespecífica y por lo tanto, las plantas requieren mayor costo de energía para obtenerlos permitiendoles así, únicamente un desarrollo vegetativo, por lo que se puede

considerar que el nopal cultivado es forzado a ser un organismo - con estrategia de supervivencia de tipo K; es un buen competidor por tener alta eficiencia. Así pues, la alta productividad de este cultivo (1 ha. con 40,000 plantas, 1 ha. produce 200 toneladas al - año), es consecuencia de la presión de selección ejercido en las - nopaleras.

#### 6.3.5. Clima y Productividad.

Analizando el climograma (sistema ombrotérmico) correspondiente a la zona (fig. 25), se puede observar que se trata de un sistema homeotermo, pues las temperaturas medias mensuales no son muy altas, pero tampoco muy bajas, ya que oscilan entre 16.3°C. a 10.3°C., estas quedan dentro del intervalo de temperaturas en las que generalmente se desarrollan los nopales, 11.2°C. a 27.1°C. - (Blanco, 1966); sin embargo la temperatura es un factor limitante en la productividad, pues el que disminuya considerablemente la cosecha en época fría se debe a que se dejan crecer los cladodios nuevos - para evitar que las heladas ocasionales los destruyan (Rojas, 1961). Las nopaleras situadas en las laderas son menos afectadas ya que - el aire helado se estanca en los valles.

La relación entre radiación y orientación de los cladodios puede o no ser importante en el proceso productivo, de acuerdo a los siguientes aspectos:

- En lo que a transpiración se refieren no es importante, por que son plantas MAC (metabolismo ácido crasuláceo), es decir, se cierran los estomas durante el día y se abren en la noche, haciendo que su transpiración disminuya al máximo durante el día, obteniendo el  $CO_2$  que requiere la fotosíntesis, de ácidos orgánicos (ácido málico) acumulados durante la noche.
- En cuanto a la eficiencia fotosintética, sí es importante, por la forma aplanada que poseen los cladodios. En un estudio de Becerra (1975), se observó que los cladodios orientados al norte y sur acumulan más calor durante el día, lo cual evidencia que realizan una mayor captación de luz directa que los orientados al este y oeste. Puede entenderse la importancia de esto si se toma en cuenta que una planta que se encuentra en constante crecimiento vegetativo como el nopal cultivado, requiere de mucha energía para mantener dicha actividad sin afectar al fotosintato, es decir, se hace necesario superar en mucho el punto de compensación de luz para que se mantenga la producción y la calidad del fruto.
- Con respecto a la precipitación, se tienen 8 meses de lluvia en donde el coeficiente de evapotranspiración tiene valores positivos en relación a la mayor humedad, lo que indica que el nopal tiene humedad durante un periodo bastante largo. Así pues, existe una correlación directa entre la época de lluvia y la productividad ya que hay una mayor producción en verano -

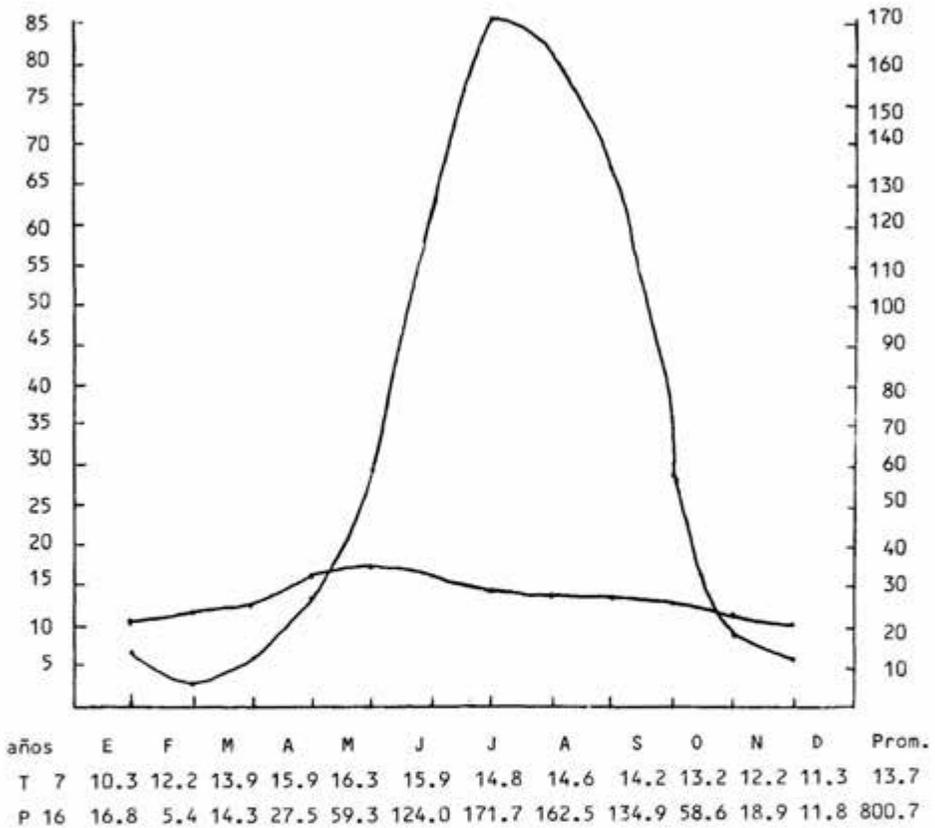


Fig. 25 Datos Metereológicos del Distrito Federal. Estación Milpa Alta. (García, 1981).

Tipo de Clima : C (w<sub>2</sub>) (w)b(i)g

por haber en ésta mayor precipitación y mayor temperatura. Según Velázquez (1962) el desarrollo óptimo en cuanto a abundancia y distribución se da con 400 mm. de precipitación, a partir de ésto la densidad disminuye conforme disminuye la precipitación.

#### 6.4. Aspectos Históricos Socioeconómicos y Culturales del Cultivo del Nopal en Milpa Alta.

##### 6.4.1. Aspecto Histórico General.

En varias fuentes históricas se reconoce a los habitantes de San Pablo Oztotepec como los primeros pobladores de Milpa Alta. Llegaron desde Amecameca; se les llamaba Chichimecas por su forma de vivir, como nómadas recolectores, más que por su origen racial; vivían en la región en total desorganización.

En 1429, una segunda corriente migratoria que viene del Lago de Tenochtitlán al mando de Hueyitlahuilan que (gran jalador) derrota sin dificultad a las tribus chichimecas. Hueyitlahuilaque impera como único jefe y organiza el territorio conquistado, quedando así conformado el imperio Malacachtepec Momoxco (lugar rodeado de cerros enlameados).

Al ser conquistada la gran Tenochtitlán por los españoles en Malacachtepec Momoxco, reinaba Hueyitlahuilli (gran antorcha) - que ante el inevitable peligro de invasión a su imperio, antes de morir aconseja a caciques y guerreros discutir la paz con los ahora -

señores de Tenochtitlán, en 1528. (Reyes, monografía).

Así, el 29 de julio de 1529, llegó a Malacachtepec el primer enviado de la Real Audiencia de la Nueva España, que portaba el documento de reconocimiento de todas las tribus, tierras de cultivo, montes, pedregales, agua y bosques a los nativos, pero que debía pagar tributo al Rey de España.

El 15 de agosto de 1532, queda como fecha definitiva de la fundación de Milpa Alta, pues en este día que es el de la Santa María de la Asunción se bautiza a los indígenas y se bendicen los lugares para el establecimiento de los pueblos. Milpa Alta, San Pedro Atocpan, San Pablo Oztotepec, San Lorenzo Tlacoyucan, Santa Ana Tlacotenco, San Juan Tepehuac, San Jerónimo Miacatlán, San Francisco Tecoxpa y San Agustín Ohtenco.

En 1535, se fundó el pueblo de San Salvador Cuauhtenco y en 1536 el de San Bartolomé Xicomulco.

Durante la Colonia y la Independencia no hay en Milpa Alta ningún acontecimiento sobresaliente.

En la época de la Revolución los pueblos de Milpa Alta llegan a verse envueltos en ella, pues las ideas revolucionarias habían pasado a ser parte del alma de los campesinos de la región al estar en frecuente contacto con las fuerzas zapatistas, ya que éstas por ocupar posiciones ventajosas y asediar a los federales para después desbordarse sobre el D. F., en varias ocasiones amenazaron y -

atacaron a Milpa Alta y sus poblados. (Reyes, Monografía).

El 6 de agosto de 1919, el plan de Ayala queda reformado en Milpa Alta, suscribiéndolo antiguos revolucionarios del sur.

De 1800 a 1929, Milpa Alta tiene calidad de municipio, municipalidad o ayuntamiento y en 1929 es ya la delegación Milpa Alta.

#### 6.4.2. Aspecto Histórico del Cultivo del Nopal.

Desde épocas remotas se ha cultivado maíz, chícharo, frijol, haba, papa, trigo y árboles frutales como higo, durazno, chabacano, tejocote y capulín, además de maguey. Este último fue la mayor fuente de ingresos de la comunidad durante mucho tiempo por la producción de pulque que se fue perdiendo debido a su lento ciclo de vida, pues tarda 6 u 8 años en crecer y sólo producen agua miel por 3 o 4 meses y la exigencia de aseo constante en la elaboración del pulque.

Según algunos vecinos nopalersos de la región, fue Florentino Flores Torres del barrio de la Concepción, quien en 1938 empezó a experimentar el cultivo del nopal. Con el tiempo, al observar que la nopalera sí producía ganancias y requería menos cuidados y tiempo, los campesinos de Milpa Alta cambiaron los sembradíos de maíz y otros por nopaleras, comenzando una producción masiva hace 30 años aproximadamente.

#### 6.4.3. Aspectos Sociales, Económicos y Culturales en Torno al Nopal.

Cada poblado tiene un templo dedicado al Santo Patrono de cada lugar, pero en Milpa Alta está el de la Santa María de la Asunción cuyo día, 15 de agosto, se tomó como fecha de la fundación de los poblados de Milpa Alta, en 1532. A partir de este año se vienen celebrando anualmente grandes festejos en este día y todos los pueblos se unen a ellos para dar mayor realce a la conmemoración y estrechar los lazos de sangre y amistad, pero desde que la producción del nopal es la principal actividad de la zona, se estableció la Feria del Nopal en la semana que incluye el 15 de agosto; en ella hay exposiciones y venta de diferentes guisos con nopales, concursos de agricultores que empaican y limpian nopales y obsequios de nopales y recetarios a los visitantes. Existen 240 guisos aproximadamente.

Debido a la sobreproducción se formó una cooperativa que enlataría el excedente, pero los planes fueron frustrados al enfrentarse a las autoridades delegacionales para la tramitación de la enlatadora, pues los intereses de algunas de ellas mermaba en mucho las ganancias que de ésta pudieran obtener los campesinos, quedando así como un plan abandonado.

Sin embargo, el nopal cultivado en Milpa Alta, además de llegar a la Merced, Jamaica y Central de Abastos ha conquistado por su calidad los mercados de Celaya, Guanajuato, Monterrey y Tijuana, e incluso California, Texas, Chicago, etc.,

La tenencia de la tierra en las zonas aledañas a los poblados del área de estudio es propiedad privada, y se utiliza principalmente para establecer nopaleras. Fuera de la región urbanizada las tierras son: 1) ejidales, que se usan comunmente para sembrar maíz, aunque últimamente se empieza a sembrar nopal, y 2) comunales, que abarcan los bosques de la Sierra del Cuauhtzín y pertenecen a todos los pueblos de la delegación con excepción de San Antonio Tecomitl y San Bartolomé Xicomulco que no participan de ésta co-  
propiedad; los bosques se utilizan en gran parte como leña y para hacer carbón.

Se han conservado la lengua nahuatl o "mexicana" pues en algunos poblados todavía se oye el amor hacia esa tierra, los lazos de comunidad indisoluble por apego a la tradición y a la defensa fanática, de los cerros llanos y montes comunales.

El nivel educativo de los agricultores y sus familias ha aumentado, pues en muchos casos va más allá de la primaria, llegando a veces hasta el bachillerato y en algunas ocasiones son profesionistas. Esto se debe mucho al mejoramiento del nivel económico de la población como causa directa de las ganancias que obtienen de cultivar y comercializar nopales.

Así pues, se observa en esta región como hay un enlace estrecho entre aspectos sociales, económicos y culturales en torno al nopal.

#### 6.5. Interpretación del Sistema Mediante el Lenguaje de Circuitos - propuesto por Odum, (1981).

Antes de hablar del modelo de circuitos del sistema nopalero es necesario aclarar los siguientes aspectos:

El análisis de sistemas tiene como objetivo principal, para la mayoría de las disciplinas, la descripción del sistema.

El análisis de sistemas y la construcción de modelos son ideas inseparables ya que el describir un sistema se construye algún tipo de representación o modelo de éste, es un modelo de la descripción del sistema. Los medios que se utilizan para tal fin, van desde los físicos hasta los simbólicos.

Para comunicar adecuadamente la naturaleza y el comportamiento del sistema, el modelo debe ser menos complicado que el sistema real. En resumen, las representaciones de un sistema que trazan la estructura observada de éste se clasifican como modelos descriptivos.

Así pues, los diagramas de flujo de materia y energía son modelos esquemáticos, puesto que son una representación gráfica de los pasos que describen un sistema. Sus componentes, son líneas y símbolos; la elección de los símbolos que deben emplearse en estos diagramas y su disposición son arbitrarios pues no existe una convención universalmente aceptada que se utilice en tales representaciones para indicar las diferentes operaciones que se realizan.

De esta manera el modelo del Sistema Nopalero en el lenguaje de circuitos propuesto por Odum (1981) se muestra en la figura - 26 y la explicación de éste es la siguiente:

Para transportar el fertilizante, se necesita gasolina. El fertilizante funciona como reservorio de nutrientes que se utiliza aunado a la energía solar, agua y los diferentes procesos de trabajo para cultivar el nopal. Este se cosecha y una pequeña porción se autoconsume y la mayor parte se transporta al mercado de Milpa Alta; de aquí es vendida a intermediarios que la llevan a mercados de provincia o del Valle de México; o los mismos productores la transportan y la venden directamente a los mercados del Valle de México de donde puede ser llevada a mercados de provincia. Las ganancias de los productores son un capital utilizado en su mejoramiento socioeconómico y en la compra de instrumentos de trabajo y fertilizantes.

Este diagrama de flujo (fig. 26) tiene tres subsistemas. El del fertilizante (fig. 26a), que nos indica que el estiércol proveniente de los establos, funciona como un lugar de almacenamiento pasivo de nutrientes, temperatura y humedad que en determinado momento deja de ser pasivo y actúa en el sistema aportando estos elementos al nopal, perdiéndose algunos de ellos como nutrientes lixiviados. El subsistema cultivo de nopal (fig. 26b) nos muestra que para obtener nopales es necesario una serie de pasos o procesos de trabajo

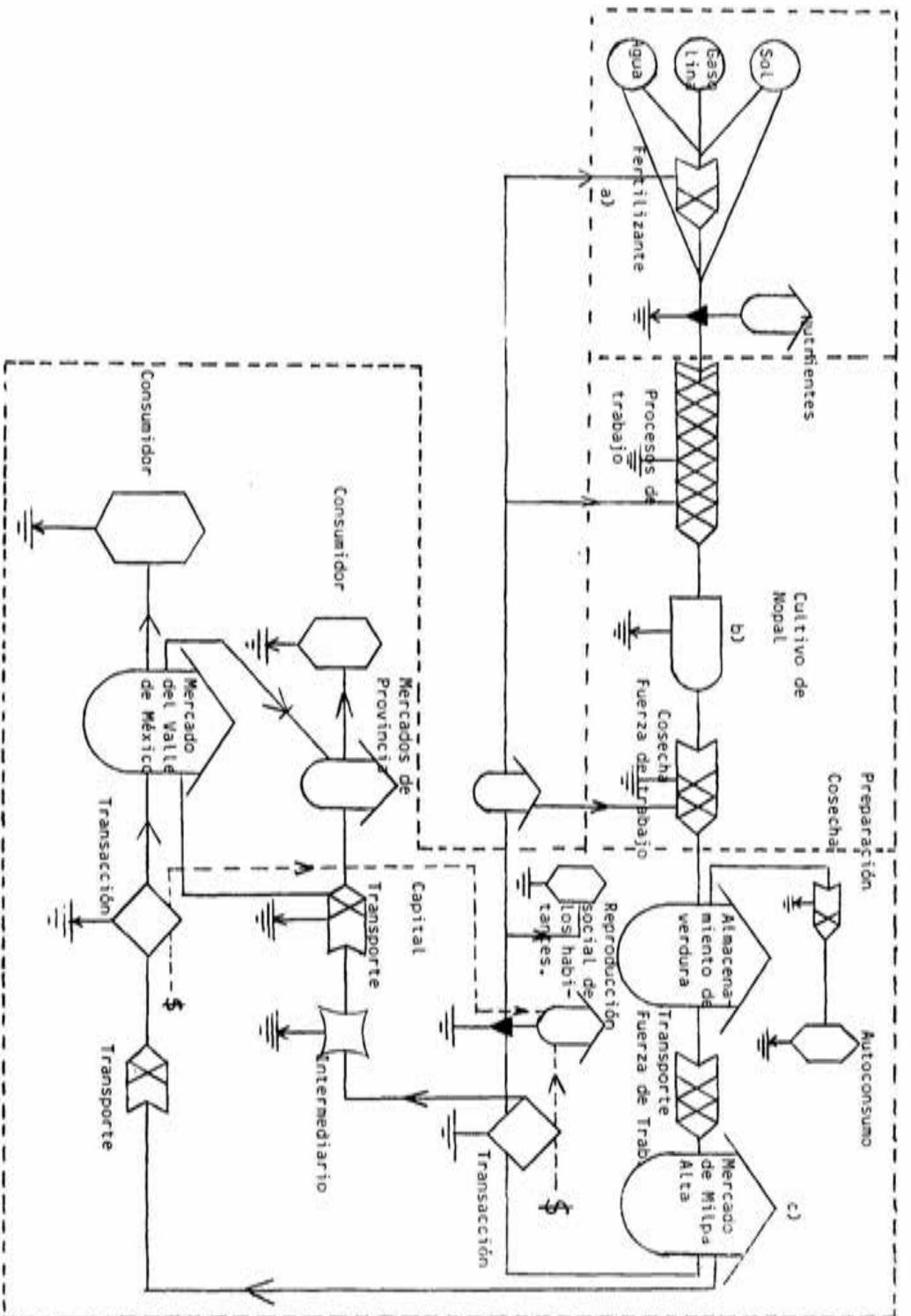


Fig. 26 - Diagrama de flujo de Materia y Energía del Sistema Mopalero.

como lo son: obtener el propágulo, preparar el terreno, sembrar, abo  
nar, podar, deshierbar, combatir plagas y cosechar; el subsistema -  
comercialización (fig. 26c) representa que la cosecha que se tiene -  
en el mercado de Milpa Alta, puede ser transportada y vehndida direc  
tamente a los mercados de distribución del D. F., es vendida a inter  
mediarios, quienes aumentan sus ganancias, transportándola a los mer  
cados de distribución del D.F. o de provincia, de donde a través de  
nuevos intermediarios se distribuye a mercados locales y ahí los con  
sumidores pueden comprar nopales.

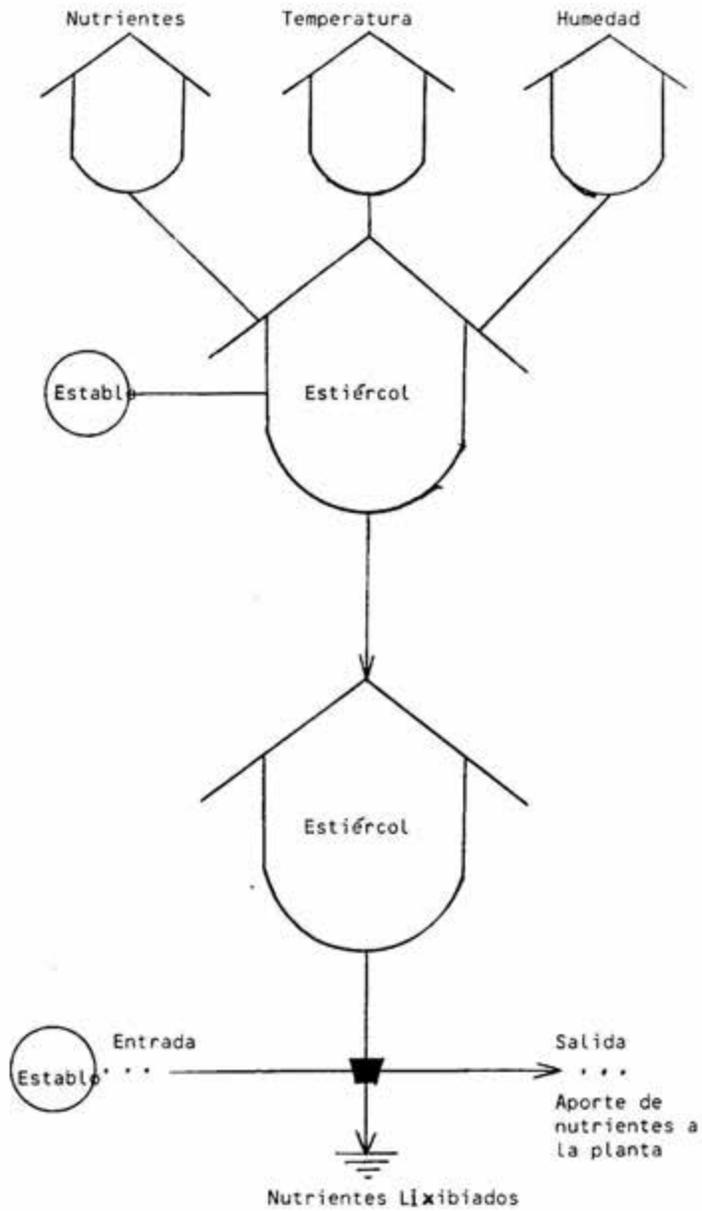


Fig. 26 a) Subsistema Fertilizante.

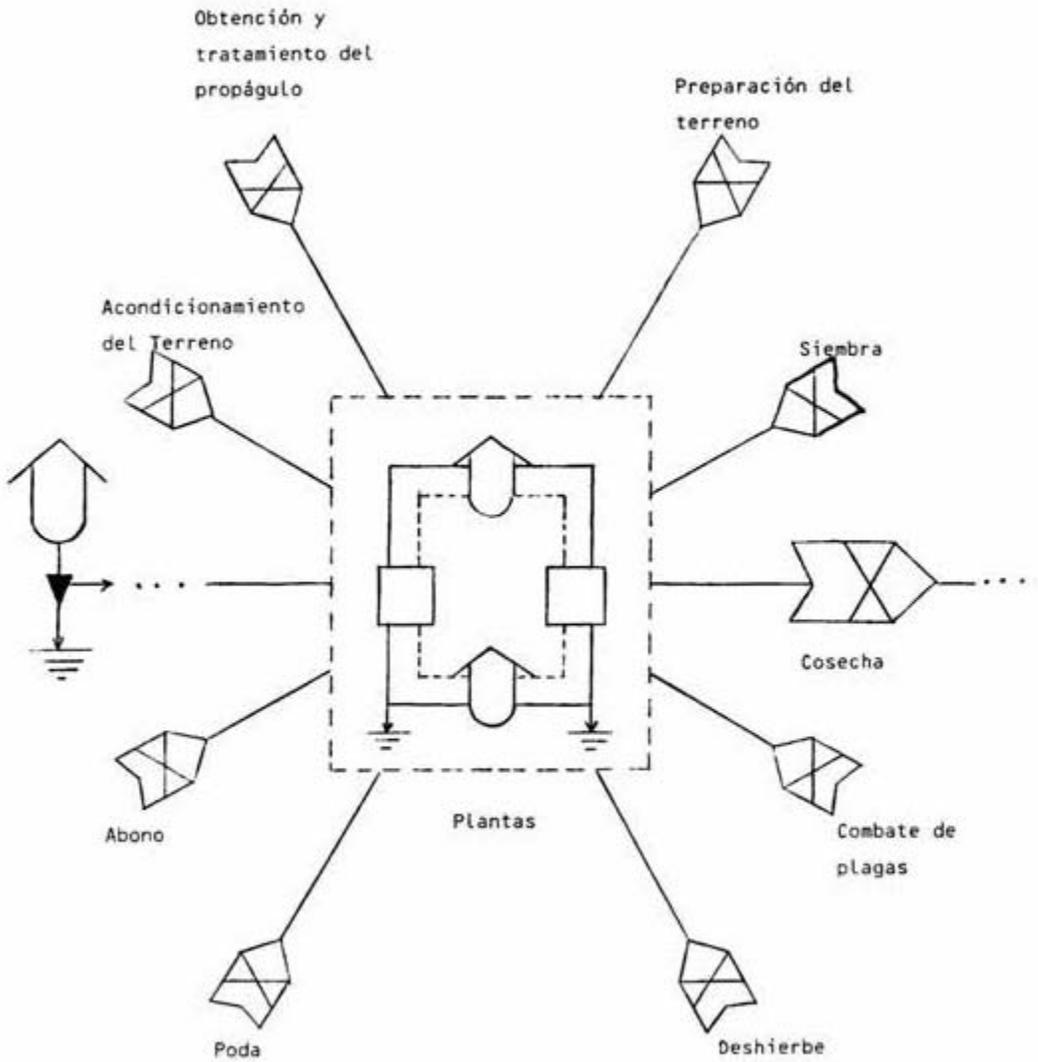


Fig. 26 b) Subsistema Cultivo de Nopal

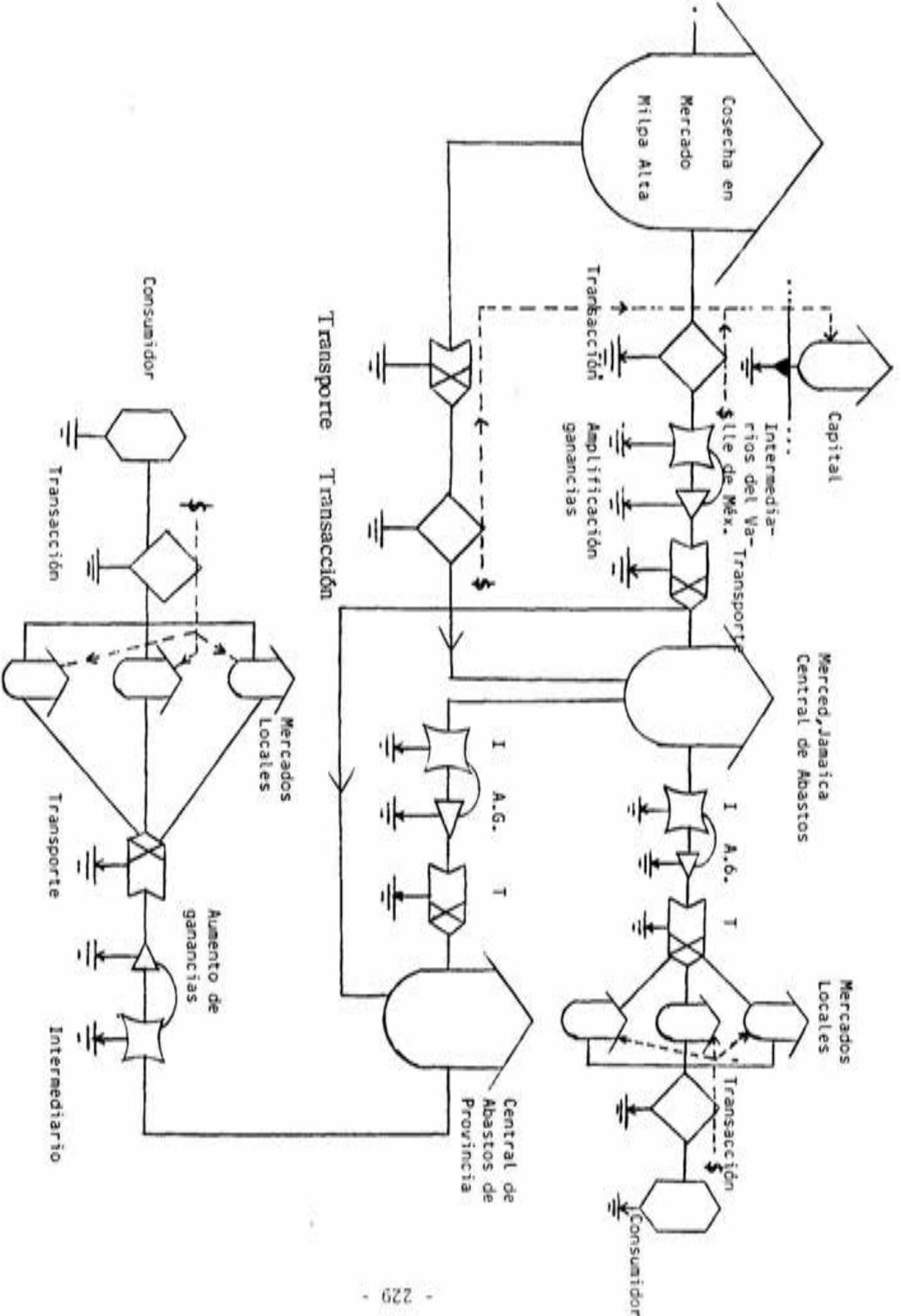


Fig. 26 c) Subsistema Comercialización

## 7. DISCUSION Y CONCLUSIONES.

- El nopal fue, es y será un recurso muy importante para los mexicanos, pues en el pasado era muy significativo su uso como alimento, medicamento, ornato, elemento causal de asentamientos humanos, medio de obtención de colorante, símbolo representativo del pueblo nahua, etc., es decir, tuvo una considerable repercusión en la vida económica, social y religiosa de los nahuas. Todo ésto repercute hasta nuestros días, pues de alguna manera influye en la gran aceptación que actualmente tiene como alimento a manera de hortaliza y fruto. Esta aceptación favorece la economía de quienes lo cultivan con diversos fines Sin embargo, pese a su importancia histórica y su aceptación actual, nacional y hasta internacionalmente, en México no se ha hecho gran cosa por un mejor aprovechamiento del nopal y por la explotación de su potencialidad como recurso, contrariamente a lo que en otros países, como Italia (donde fue introducido después de la conquista de México) ha sucedido. Un ejemplo muy claro de la falta de desarrollo en la utilización del nopal lo tenemos en el hecho de que, paradójicamente, en épocas relativamente recientes se trajo de Italia diversos tipos de nopales mejorados (Bravo y Piña, 1979).

- Siendo México (en el sistema del Golfo de México) el centro de origen y diversificación de las cactáceas y por tanto de las Opuntias, existe aquí el mayor número de especies, subespecies y variedades que según Bravo (1978), en México hay silvestres 104 y como especies mexicanas unas 60. Aunque esto implique dificultades taxonómicas, se debe

remarcar que la diversidad que tenemos del género Opuntia es más bien una bendición por los usos que se le puede dar, si se desarrolla toda su potencialidad, como se ha visto, en parte, en otros países.

- En este trabajo, que se enfoca al proceso productivo de nopal en Milpa Alta, hay que puntualizar que en dicho sistema se ha alcanzado la máxima domesticación en la especie O. ficus-indica que en cualquier otra especie por el gran control logrado sobre el ciclo biológico de ésta, con el fin único y antropocéntrico de obtener nopal para verdura y no de tuna. El factor esencial que permite obtener siempre nopal para verdura es el evitar la ramificación de las plantas, pues si ésta se permite, la producción del sistema cambia a frutícola, como sucede en otras regiones.

- En el sistema de producción de nopal en Milpa Alta se ha desarrollado un completo control del ciclo de vida de la planta con el empeo de una serie de prácticas de cultivo bastante razonadas como la fertilización, la poda, etc.. Pero lo más importante es que se le ha dado pauta a la presión de selección para la producción, únicamente, de cladodios en forma permanente (lo que en ningún otro tipo de nopal ocurre), inhibiendo la producción de frutos que es perjudicial para la producción de cladodios, pues la disminuye considerablemente.

- Este sistema de producción no es complicado por las siguientes razones: se trata de un monocultivo para las regiones semiáridas; funciona solamente con el subsidio de fertilizante que viene de fuera del sistema, no es intrínseco (por lo que hay que evitar el deslave del abono por las lluvias manteniendo las parcelas cerradas); la comercialización es lineal aún cuando existen más mercados.

- En el aspecto productivo, lo que más llama la atención es la fertilización con materia orgánica (estiércol) agregada en capas tan gruesas (40 cm. aprox.) y el costo que implica (\$ 360,000 a \$ 420,000/ha.), que es superior a cualquier otro implemento, y que a pesar de ésto se compensa con las ganancias que se obtienen por la alta productividad del cultivo y el mercado que existe.

- La mayor productividad es por temporadas y ésta está en estrecha relación con la comercialización, pues la productividad en el sistema es de 200 ton/año habiendo épocas de mayor producción que otras; lo que repercute en el precio del nopal para el consumidor. En este punto hay que hacer notar que aunque se trata de un sistema de producción agrícola bastante primitivo, por los procesos de trabajo que se siguen, se dirige hacia un proceso de producción capitalista porque el productor prefiere, en épocas de mayor productividad, perder la cosecha con tal de obtener mayores ganancias, que vender más barato para poner su producto al alcance de un mayor número de consumidores.

- El aspecto tecnológico de producción es muy conocido por todos los productores. Este es muy sencillo, pues no hay necesidad de ser más complejo, ya que así, es funcional. No obstante su simplicidad, el sistema nopalero de Milpa Alta, está convirtiéndose en un sistema de comercialización capitalista por un aspecto más: la existencia de patronos y asalariados, éstos últimos son masahuas, que acaban por abandonar sus lugares de origen y residir en Milpa Alta.

- A pesar de que Milpa Alta es una delegación del Distrito Federal y de las ganancias por acumulación de capital de los habitantes dedica

dos al cultivo del nopal, se siguen manteniendo las costumbres religiosas, culturales, sociales, etc., de ahí que la Feria del Nopal, no sea puramente comercial (como podría serlo para aumentar las ganancias de los nopaleros), sino que hay mucho de amigable convivencia, como se hacía desde tiempos ancestrales para esas fechas. Sin embargo, en el sentido de comunicación de los conocimientos que tienen para el cultivo del nopal, existe mucho recelo para con la gente de fuera y en muchos casos, entre ellos mismos también.

- Debido a la alta productividad y a la posible extensión de este cultivo a otras áreas, se requiere, en este momento, más que el desarrollo de estudios sobre aspectos biológicos del cultivo, implementar estudios sobre agroindustrialización dado que este sistema es el más eficaz en la producción de biomasa en relación con otros cultivos.

8. BIBLIOGRAFIA.

- Abarca, A.M.E. 1971.  
Estudio de la tuna para su industrialización. Tesis Prof. Escuela de Ingeniería Química. Universidad de Puebla, Pue. México.
- Aguilar, B.G. y G.J.E., Grajeda. 1981.  
Efectos de varios reguladores del crecimiento en el nopal tunero (Opuntia amyclaeae) Chapingo, Nueva Epoca, No. 27-28: 22-25.
- Alcorn, Gilbeston y Nelson. 1972.  
Enfermedades de las Cactaceas. Folleto Imprenta Chapingo, - Zonas Aridas. Chapingo, México.
- Alvarado E.A. y R.G. Ramírez 1977.  
Estudio microbiológico de la tuna y pruebas preliminares para su conservación con cera de candelilla. Memorias del II Congreso Nacional de Fruticultura. México, D. F.
- Alvarado y Sosa, L. 1978.  
Fisiología y Bioquímica del futuro del nopal tunero (Opuntia - amyclaeae). Tesis. C.P. Chapingo, México.
- Anónimo. 1976.  
La Productividad en Tuna. Boletín mensual, Dirección General de Economía Agrícola, No. 621-632. México, D. F.
- Anónimo. 1977.  
La tuna. Comisión Nacional de Fruticultura. Boletín quincenal de información comercial. México, D. F.
- Anthony, M.S. 1949.  
An ecology and systematic analysis of genus Opuntia Miller in the Big Bend region of Texas. Ph. D. dissertation, University of Michigan.
- Backeberg, C. 1977.  
Deskakteenlexicon. Gustav. Fisher Verlag stuttgart, Jena.
- Bailey, I.W. 1916.

The significance of the reduction of vessels on the Cactaceae.  
Journ. Arnold. Arbor. 47: 288-292.

Barbosa, A. R. 1973.

El Bajío (uso de los recursos). Edit. Centro de Investigaciones Agrarias. México.

— Barrientos P. F. 1965.

El nopal y su utilización en México. Revista de la Sociedad Mexicana de Historia Natural. Dic. 1966.

1972.

Rendimiento del nopal (*Opuntia ficus-indica*) var COPENA F-1 a diversas densidades. Rama de Genética, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

1976.

Propagación del nopal (*Opuntia spp*) Informe anual de actividades. Sección de Fruticultura, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

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.

Barrientos P., I. y O. Brawer. 1964.

Multiplicación vegetativa a partir de fracciones mínimas de una planta. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.

1972.

Mejoramiento Genético del Nopal. Revista de la vida rural de México 8 (90): 4-7.

Bartholomew, B. 1973.

Drought response in the gas exchange of *Dudleya farinosa* (Crassulacae) grown under natural conditions. Photosynthetica 7: 114-120.

Bartra, R. 1980.

El modo de producción asiático. Problemas de la historia de los países coloniales. Ediciones Era, México.

— Bassols, B. A. 1972.

- Recursos Naturales (clima, agua, suelos, vegetación). 3a. ed. Edit. Nuestro Tiempo. México.
- Bautista C., R. 1982.  
Los Agrosistemas nopaleros del Valle de México, Tesis. - Chapingo, México.
- 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.
- Bedelian, J. 1911.  
Recherches anatomiques sur les Cactées au point de vue de leur adaptation au climar sec. *Nuovo Georn. Bot. Ital.* n.s. 18:399-458.
- Bejarano y A. Almada. 1973.  
Anteproyecto de una Planta para la Elaboración de una Bebida en latada hecha a partir de tuna. Tesis Prof. Facultad de Química, U.N.A.M. México, D.F.
- Benson, L. 1969.  
The Cacti of Arizona 3a. ed. Tucson: University of Arizona Press.
- Benson, L. y D.L. Walkington. 1965.  
The southern Californian prickly pears-invasion, adulteration -- and trial - by - fire. *Annals Mo. Bot. Gard.* 52 (3): 262-273.
1968.  
Los nopales de California. *Rev. Soc. Méx. Cact. Sucul.* 13 (2): 27 - 33.
- Blanco S.P., 1966.  
El Nopal. Mimeógrafo, Chapingo, México.
- Blanco M., G. 1966.  
El nopal como forraje para el ganado en las zonas áridas y aprovechamiento de la tuna. *El campo* 42 (887): 4-16.
- Bosquez M., E. y C. Pelayo S. 1979.  
¿Qué son la Fisiología y la Tecnología de Postcosecha? *Fruticultura Mexicana.* 15 (1): 16-17.

- Bowes, G. Ogren, W.L., 1972.  
Oxygen inhibition and other properties of soybean ribulose 1,5 diphosphate carboxylase. J. Biol. Chem 247:2171-2176.
- Bravo, H.H. 1937.  
Las Cactáceas de México. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
1978.  
Ibíd. 2a. ed.
- Bravo H., H. y Piña L., I. 1979.  
Algunos aspectos sobre la industrialización de los nopales. - Cact. Suc. Méx. XXIV: 27-31.
- Brom, R. 1976.  
El nopal. Rev. El campo. Con. Nal. Frut. p. 1013-1015.
- Bucio, A.L. 1963.  
El mejoramiento del nopal en México. Conferencia de la Sociedad Mexicana de Historia Natural . 2: (8).
- Cepeda Valdez, S.L. 1969.  
Estudio relacionado con el valor forrajero de siete variedades del nopal (Cupuntia spp.) Tesis Prof. Univ. Aut. Agr. A. Narro; Saltillo, Coahuila.
- C.E.T.E.N.A.L. 1979.  
Carta Edafológica E-14, A-49 esc. 1:50000 S.P.P.
1982.  
Carta Edafológica E-14, B-41 esc. 1:50000 S.P.P.
1979.  
Carta Geológica E-14, A-49 esc. 1:50000 S.P.P.
1979.  
Carta Geológica E-14, B-41 esc. 1:50000 S.P.P.
1978.  
Carta Topográfica E-14, A-49 esc. 1:50000 S.P.P.
1979.  
Carta de Uso del Suelo E-14, A-49 esc. 1:50000 S.P.P.

1983.  
Carta de Uso del Suelo y Vegetación E-14, B-41 esc. 1:50000  
S.P.P.
- Comisión Nacional de Fruticultura, 1977.  
Tuna. Boletín Informador Comercial Frutícola No. 127.
- Comisión Nacional de las Zonas Áridas 1981.  
El nopal. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. Publicación especial No. 34. Chapingo, Méx.
- Conde, L.F. 1975.  
Anatomical comparisons of five species of Opuntia. Ann Mo. Bot. Gard 62: 225-227.
- Cravioto, R.O., G. Massieu, J. Guzmán-García y J. Calvo de la -  
Torre. 1951, Composición de alimentos mexicanos. Ciencia -  
Mex. Vol. 11 (5-6): 129-155.
- Cruz H., P. 1977.  
Fruticultura Caducifolia. Campo Agrícola Experimenta. Teca  
machalco, Puebla, INIA-SARH, México.
- Chapela M., G. y col. 1981.  
Proposiciones metodológicas para el proceso de producción -  
agrícola, Centro de Investigaciones Ecológicas del Sureste.  
Publicación especial en trabajos de campo. Chapingo, México.
- Dávila de L.F. 1967.  
Comparación entre Nopal y Alfalfa achicalada en la alimentación  
de vacas lecheras. Tesis. Escuela Superior de Agricultura A.  
Narro, Saltillo, Coahuila.
- De Alba, J. 1971.  
Alimentación del ganado en América Latina. La Prensa Médi-  
ca Mexicana. México.
- De Luca, P., Alfani, A. y A. Virzo De Santo, 1977.  
CAM., transpiration and adaptive mechanisms to xeric environ-  
ments in the succulent Cucurbitaceae, Bot. Gaz. 138: 474-478.
- Dillen, J.J. 1732.  
Hortus Elthamensis. London
- Donkin, R. A. 1977.

- Spanish Red. An ethnogeographical study of. Cochineal and -  
*Opuntia Cactus*, *Trans. Amer. Phil. Soc.* 67 (5): 1-84.
- Dutt. G. R., M. J. Shaffer y W. J. Moore, 1972.  
Computer Simulation Model of Dynamic Bio-Physio-Chemical -  
Processes in Soils. Technical Bulletin 196, Department of Soils,  
Water and Engineering Agricultural Experiment Station, Univer-  
sity of Arizona, Tucson.
- Fernández L. 1949.  
Estudio Químico de seis muestras de nopal del Valle de México.  
In: Bravo H., H. (1978). *Las Cactáceas de México*, Ed. Univ.  
Nal. Aut. Méx. Tomo I.
- Fischer, R. A. y N.C., Turner. 1978.  
Plant productivity in the arid and semiarid zones. *Annu. Rev.*  
*Plant Physiol.* 29: 277-317
- Flannery, K.V. 1968.  
Archaeological systems theory and early Mesoamerica. In Bett  
y J. Maggers (ed). *Anthropological archaeology in the Americas*.  
*Anthrop. Soc. of Washington*. Washington, D.C.
- Flores V., C. 1977.  
El nopal como forraje Tesis Prof. Escuela Nacional de Agricult-  
tura. Chapingo, México.
- Flores V., C. y R. Aguirre, 1979.  
El nopal como forraje Ed. Univ. Aut. Chap., México.
- Fog, E. G. 1963.  
El crecimiento de las plantas. Edit. Eudeba. Argentina.
- Friedrich, H. 1975.  
Las primeras relaciones de Cactaceas en la vieja Europa, -  
*Cact. Succ. Méx.*, 20:53-63
- Fuller H. J., Carothers Z.B., Payne W.W. y M.K. Balbach. 1974.  
*Botánica 5a. ed. Interamericana, México.*
- Ganong, W. F. 1895.  
Present problems in the anatomy, morphology and biology of  
the Cactaceae *Bot. Gaz.* 20:129-138, 213-221.
- García, E. 1981.

Modificaciones al sistema de clasificación climática de Köppen (para adaptarlo a las condiciones de la República Mexicana) 3a. ed. Instituto de Geografía, Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

García M., T. 1965.

Problemas entomológicos en el Valle de México. Tesis Prof. Esc. Nal. Agric. Chapingo, México.

García S., J. 1976.

Resumen de investigación en fruticultura caducifolia y viticultura, I.N.I.A., S.A.G., México.

García V., A. 1971.

Manejo del nopal forrajero. Rama de Genética. Colegio de Postgraduados, E.N.A. Chapingo, México (Inedito).

Gates, D.M. 1980.

Biophysical ecology. Springer, New York.

Gentry, H.S. 1957.

Los pastizales de Durango, Edic. Inst. Mex. Rec. Nat. Renov. México, D. F.

Grageada G., J. E. 1978.

La influencia de la poda sobre la producción intensiva de nopal verdura. Chapingo, México.

1978.

Nopal tunero, un recurso genético disponible en México. Ed. - Cervantes S.T. México.

Grant, V. y K.A. Grant. 1982.

Natural pentaploids in the Opuntia lindheimeri - phaeacanta group in Texas. Bot. Gaz. 143 (1): 117-120

Griffiths, D. y R.E. Hare. 1906.

Summary of recent investigations on the value of cacti as stock food. Washington U.S.D.A. Bureau of Plant Industry. Bull. 102

Gutiérrez C.A. 1972.

Nopalnocheztli, Rev. Soc. Méx. Cact. Sucul 17(2) : 51-54

Guzmán R.G., 1982.

Causas y control que exhiben la tuna blanca (Opuntia spp.) en el almacenamiento I.P.N. México, D.F.

- Hanscom, Z., y I.P. Ting. 1978.  
Responses of succulents to plant water stress. *Plant. Physiol*  
61:327-330
- Hare, R.F. 1908.  
Experiments on the digestibility of pricklypear by cattle. *Washington, U.S.D.A. Bureau of Animal Industry. Bull* 106
- Hare, R.F. 1921.  
A study of the carbohydrates of the prickly pear and its fruits.  
*Biochem. Bull.* 2: 173.
- Hatch, M.D. y C.B. Osmond. 1976.  
Compartmentation and transport in C4 photosynthesis. In "*Encycl. Plant Physiol*" New Ser., Vol. III 114-184, Springer-Verlag, Berlín.
- Hein, A.N. 1931.  
Der mechanismcs der strekung. *Tray. Bot. Neerlad.* 28: 113-244.
- Heinicke, A.J. y N.F. Childers, 1937.  
Ther Daily Rates of Photosynthesis During the Growing Season - of 1935. of a Young Apple Tree of Bearing Age. *Cornell Univ. Agr. Expt. Sta. Mem.* 201.
- Hernández R., L. y F. Barrientos 1978.  
Distribución del sistema radical del nopal (*Opuntia amyclaea* - Tenore) Tesis de M. en C. Sección de Fruticultura, Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Hernández, X.E. y A. Ramos 1981.  
Metodología para el estudio de Agroecosistemas tradicionales Agroecosistemas, C.P. Chapingo, México.
- Hinojosa C.G. A. 1979.  
Fenología. Boletín Tecnológico No. 3. Departamento de Irrigación, Chapingo, México.
- Informe Rama de Botánica. 1980.  
Area de Investigación C.P. Chapingo, México.
- Jones, R.J. ant. T.A. Mansfield, 1970.  
Suppression of stomatal opening in leaves treated with abscisic acid. *J. exp. Bot.* 21: 714-9

Jorgensen, O.S. 1976.

A eutrophication model for a lake. *Ecol. Modeling.*  
2: 147-165.

Kalmbacher, G. 1976.

Correct name for the *Opuntia* of the Eastern U.S. *Cact. Succ. Jour.* 48:27-28.

Kluge, M. 1976.

Crassulacean acid metabolism (CAM): CO<sup>2</sup> and water economy. In *Ecological Studies Vol. 19 Water and Plant Life*, Springer-Verlag, Berlin.

Kraybill, H. R. 1923.

The effect of shading and Ringing upon the Chemical Composition of Apple and Peach Trees. *Tech. Bull. N.H. Agric. Exp. Sta.* 23.

Lastra E., J. y S. Pérez, 1978.

Digestibilidad in vivo e in vitro de ensilaje de nopal (*O. ficus indica*). Chapíngo, México.

Lee, B y J.H. Priestley, 1924.

The plant cuticle. I. Its. structure, distribution and function. *Ann. Bot.* 38: 525-545.

Levitt. J. 1969.

Growth and survival of plants at extremes of temperature - a unified concept. *Symp. soc. Exp. Biol.* 23: 395-448

Linnaeus, C. 1753.

*Species Plantarum*, Ray Society Facsimile (1957) London.

López G., J.J. 1977..

Descripción y transformación del ecosistema *Opuntia streptacantha* L. Tesis maestro en Ciencias. Especialidad en Ciencia Animal. Univ. Aut. Agr. A. Narro, Saltillo, Coahuila.

López G., J. J., Nava, R. y R. Pargas. 1977.

Nopal forrajero. Departamento de Recursos Naturales Renovables. Div. de Ciencia Animal Univ. Aut. Agr. A. Narro Saltillo, Coahuila.

López R., E. 1979.

Geología de México, Tomo III. Instituto de Geología. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D.F.

- Lozano, G.M. 1958.  
Contribución al estudio e industrialización del nopal (*Opuntia* spp.) Tesis Prof. Esc. Sup. de Agric. A. Narro. Saltillo, Coahuila.
- Malo C., F. J. 1965.  
Estudio Agroeconómico del nopal forrajero (*Opuntia* spp.) en el Edo. de Nuevo León. Escuela de Agricultura y Ganadería I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León.
- Márquez, S.F. 1976.  
Sistemas de Producción Agrícolas. Departamento de Fitotecnia. Chapingo, México.
- Marroquín, S.J.G., Borja, C. Velázquez y J.A. De la Cruz. 1964.  
Estudio ecológico desanómico de las zonas áridas del norte de México I.N.I.F. S.A.G., México, D. F.
- Martínez, M. 1967.  
El Nopal en las Zonas Áridas. El campo 42 (887): 22-28
- Matthews, J.D. 1963.  
Factors Affecting the Production of seed by Forest Trees. For Abst 24 (1): I= XIII.
- Mayer, B.B y L.L. Mc. Laughlin. 1981.  
Economic uses of *Opuntia*. Cact. Succ. J. 53: 107
- Mc. Millan, C. y F.R. González. 1977.  
Análisis de sistemas. Trillas, México.
- Mc. Neisch, R.S. 1964.  
Ancient Mesoamerican Civilization. Science 143: 531-537
- Miller, P. 1735.  
The Gardeners Dictionary. 1st. ed. London.
- \_\_\_\_\_ 1754.  
The Gardeners Dictionary. Abridged Edition. London.
- \_\_\_\_\_ 1768.  
The Gardeners Dictionary 8 th. ed. London.
- Miranda, F. 1955.  
Mesas redondas sobre problemas de las zonas áridas de México. Formas de vida vegetal y el problema de la delimitación de las zonas áridas de México I.M.R.N.R. México.

- Montalbo, P. 1982.  
Agroecología del Trópico Americano. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San José, Costa Rica.
- Moyna, P. y J. L. DiFabio. 1978.  
Composition of Cactaceae mucilages. *Planta Medica* 34:207
- Muller, C.H. 1939.  
Relations of the vegetation and climatic types in Nuevo León, México, *Amer. Mild. Nat.* 21: 687-729.
- Nelson, M. 1977.  
El aprovechamiento de las tierras tropicales en América Latina. Siglo Veintiuno Editores, México.
- Nieto R., J. A. 1969.  
Métodos numéricos en computadoras digitales. Limusa-Wiley S.A. México.
- Nobel, P.S. 1977.  
Water relations and photosynthesis of a barrel cactus, *Ferocactus acanthodes*, in the Colorado desert. *Oecologia* 27: 117-133
- Influences of photosynthetically active radiation on cladode orientation, stem tilting, and height of cacti. *Ecology* 62: 982-990
- 1982.  
Orientations of terminal cladodes of *Platynopuntias*. *Bot. Gaz.* 143 (2): 219 - 224.
- Odum, H.T. 1981.  
Ambiente, Energía y Sociedad. Ed. Blume. Barcelona, España.
- Ornelas V., A. 1975.  
Producción de biomasa en cultivo continuo a partir del jugo de tuna I.P.N. Tesis. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas, - México, D. F.
- Orozco, L.C. 1979.  
Estudio Anatómico de la Epidermis del Género *Opuntia* del Valle de México. Tesis. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.
- Osmond, C.B. 1975.  
Environmental control of photosynthetic options in crassulacean plants In "Environmental and Biological Control of Photosynthesis" 311-321. Academic Press, Australia.

1978.  
Crassulacean acid metabolism: a curiosity in context. *Annu. - Rev. Plant Physiol* 29: 379 - 414
- Osmond, C. B. y O. Björkman 1975.  
Pathways of CO<sup>2</sup> fixation in the CAM plant *Kalanchoe diargre-montiana* II eff. Academic Press. Australia.
- Osmond, C.B. Björkman, O. y D.L. Anderson 1981.  
Drought Resistance in Plant. The Physiology an Biochimestegof Proces in Plant Ecology. Cademic Press, Australia.
- Paleg L.G. y D. Aspinall. 1981.  
Drought Resistance in Plant, The Physiological an Biochimistry of Drought Resistance in Plants. Academica Press Australia.
- Palomo, G. D. 1963.  
Datos sobre los nopales (*Opuntia* spp.) utilizados como forraje - en el noreste de México. Tesis I.T.E.S.M. Esc. Agric. Monterey, Nuevo León.
- Paredes, L.O., R. Rojo 1973.  
Estudio para el enlatado de jugo de tuna. Tecnología de Alimentos. Mimeógrafo. Departamento de Industrias Agrícolas, Chapingo, México.
- Parikh, V.M. y J.K.N. Jones. 1966.  
Cholla Gum. I. structure of the degraded cholla gum. *Can. J. Chem.* 44:327
- Penfound, W.T. 1931.  
Plant anatomy as conditioned by light intensity and soil moisture. *Amer. Jour. Bot.* 18: 558-572
- Pimienta B., E. 1974.  
Estudio de las causas que producen engrosamiento de cladodio en nopal (*Opuntia* spp.) en la zona de Chapingo. Tesis M.C. Sección de Fruticultura. Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Pinkava, D.J. y M.G. Mc. Leod. 1971.  
Chromosome numbers in some cacti of western North America. *Brittonia* 23: 171-176.
- Pinkava, D.J., Mc. Leod, M.G., Mc. Gill, L.A. y R.C. Brown. 1973  
Chromosome numbers in some cacti of western North America - II, *Britonia* 25: 2-9

- Piña, L. I. 1970.  
Región productora de tuna en el estado de Zacatecas. Cactáceas y suculentas 15 (3) : 64 - 70
- 1977.  
La grana o cochinilla del nopal. Monografía No. 1 de los Labs. Nales. de la Subsecretaría de Fomento Industrial. México.
- 1981.  
Observaciones sobre la grana y sus nopales hospederos en el Perú. Rev. Soc. Méx. Cact. Sucul. 26 (1): 10-15
- Piñeiro, M., Fiorentino, R., Trigo, E., Balcazar, A. y A. Martínez 1982.  
Articulación social y cambio técnico. La producción de azúcar en Colombia. Instituto Interamericano de Cooperación para la Agricultura. San Jose, Costa Rica.
- Preston, C.E. 1900.  
Observation on the root system of certain Cactaceae. Bot. Gaz. 30 348-351.
- Pritchard, H.N. y J.A. Hall. 1976.  
The chemical composition of glochids from *Opuntia*. Can. J. Bot. 54: 173
- Rabinovich, J. E. 1976.  
Teoría de Sistemas en Ecología. Editado en Gómez Pompa, A. Universidad Nacional Autónoma de México, México, D. F.,
- Ramayo R. L., Saucedo V., C. y S., Lakshminarayana. 1978.  
Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal hortaliza (*Opuntia inermis*). Chapingo, Nueva época No. 10: 30-32.
- Causas de altas pérdidas en nopal hortaliza (*Opuntia inermis*) almacenado por refrigeración y su control. Chapingo, Nueva Epoca, No. 10: 33-36.
- Reddy, A.R. 1982.  
Piruyate inorganic phosphate-dikinsr activite in different groups of crasulaceum acid metabolism plants. Plant Sci Lett 25 (2): 155-160.
- Revuelta, C.L. 1963.  
Bromatología zootécnica y alimentación anual 2a. Ediciones - Salvat. Madrid, España.

- Reyes H. A., Milpa Alta. Monografía.  
Comisión Coordinadora para el Desarrollo Agropecuario del Distrito Federal.
- Ríos, L.A. 1954.  
El nopal y la oveja: una esperanza para la zona desértica mexicana. México. Srfa. Rec. Hid. (memorandum técnico No. 96).
- Robínovich, J. y G. Halffter (compiladores). 1979.  
Tópicos de ecología contemporánea, Fondo de Cultura Económica México.
- Rocha, J. O. 1955.  
Los cactus como alimento para el ganado. Sobretiro de la revista de Agricultura de Costa Rica 27: 229-233
- Rodríguez, B. J. J. 1982.  
Características morfológicas en clones de plantas adultas y juveniles del nopal (O. amyclaea) Folleto; Rams de Botánica. - C.P. Chapingo, México.
- Rojas M., P. 1961.  
Aprovechamiento de las zonas áridas. Cultive nopal tierno. - Agronomía 79. I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León.
- Rojas M., T., F. J. Malo C. y O. Palomo G. 1966.  
El nopal forrajero en Nuevo León. Agronomía 108 I.T.E.S.M. Monterrey, Nuevo León.
- ✓ Rojo B.R., 1971.  
Estudio del enlatado de jugo de tuma y sus subproductos I.P.N. Escuela Nacional de Ciencias Biológicas. México. D. F.
- Rzedowski, J.R. 1959.  
Las principales zonas áridas de México y su vegetación. Folleto, Rama de Botánica, C.P. Chapingo, México.
- 1981.  
Vegetación de México Ed. Limusa. México.
- Rzedowski, J. y R. Mc. Vaugh. 1966.  
La vegetación de Nueva Galicia Contr. Univ. Mich. Herb. 9:1-123.
- Sampango O., R. 1971.

- Efectos de la suplementación dietética con nopal (*Opuntia - chrisacantha* Beng) en la producción de leche de vaca Holstein. Tesis. Monterrey, Nuevo León.
- Sands, L. y R. Kaas. 1929.  
Composition of cholla gum. I. the isolation of l-arabinosa, d-galactosa y l - rhamnosa. J. Am. Chem. Soc. 51: 3441.
- Secretaría de Información y Presupuesto 1982.  
Milpa Alta. Coordinación General del Sistema Nacional de Información.
- Shaw, E. 1976.  
The genus Cactus Linn. Cact. Succ. Journ. 48: 21-24
- Shreve, F. 1951.  
Vegetation of the sonoran desert. Carn Inst. Wash. Publ. 591:1-192.
- Skoss, J.D. 1955.  
Structure and composition of plant cuticle in relation to environment factors and permeability. Bot. Gaz. 117: 55-72
- Sosa, Ch., R. 1964.  
Microsporogenesis, distribución e importancia económica de tres especies del género *Opuntia*. Tesis de Maestría en Ciencias. - Colegio de Postgraduados, Chapingo, México.
- Sosa, R. y A. Acosta 1966.  
Poliploidía en *Opuntia* sp. Agrociencia I. (1) : 100-106
- Soto, J. M. 1979.  
Estudio experimental para obtención de ácidos grasos a partir de aceite de semillas de tunas. I.P.N. Escuela Superior de Industria Química E.S.I.Q.I.E., México, D. F.
- Spedding, R.C.W., 1979.  
Ecología de los Sistemas Agrícolas. H. Blume Ediciones. Madrid, España.
- Suárez, M.L. Massieu, G., R.O. Cravioto y J. Guzmán-García. 1954.  
Nuevos datos sobre contenido en aminoácidos indispensables en - alimentos mexicanos Ciencia. Méx. 24 (1-3): 19-32
- Sudzuki, F. 1975.

Captación y economía del agua en plantas que viven en ambientes de desierto. Bol. Tec. 38 - 47 Fac. Agr. Univ. Chile.

1969.

Ibíd. III Absorción foliar atmosférica en Tamariego Bol. Tec. 30:10-32 Fac. Agr. Univ. Chile.

Szarek, S.R. y Ting. I.P. 1974.

Seasonal patterns of acid metabolism and gas exchange in Opuntia basilaris, Plant Physiol. 54: 76-81.

Turesson, G. (1922)

The genotypical response of the plant species to the habitat. Hereditas, 3 : 35-106

Turner, N. C. 1975.

Concurrent comparisons of stomatal behaviour, water status, and evaporation of maize in soil at high or low water potential. Plant. Physiol. 55: 932-936.

1979

Drought resistance and adaptation to water deficit in crop plants. 343-372 Wiley-Interscience, New York.

Turner, N.C. y J. E. Begg. 1978.

Responses of pasture plants to water deficits. In "Plants Realations in Pastures" pp. 50-66. Melbourne

Valadez, V.S., A. Valadez y S. Chatelain. 1979.

Pigmentos de la tuna cardona como posibles colorantes alimentarios. Fruticultura Mexicana. 15 (1): 1-15, 18-32

Valdez G., J. y C. Flores V. 1967.

Aceptación y niveles de consumo de dos especies de nopal, medidas con borregos. Departamento de Zootecnia. Esc. Nal. - Agríc. Chapíngo México.

Velázquez C., R. 1962.

Aspectos ecológicos, distribución y abundancia de O. streptantha y O. leucotricha.

Viana, S.P. 1965.

El uso del nopal sin espinas en la alimentación del ganado. - Anales del 9° Congreso Internacional de Pasturas. 2:1461 Sao - Paulo, Brasil.

- Villarreal F., Rojas, P., Arellano, V. y J. Moreno. 1963.  
Estudio Químico sobre seis especies de nopales (Opuntia spp.)  
Ciencia Méx. 22 (3): 59-65
- Villarreal F., B. E. De Alva y G. Ramos 1964.  
Estudio químico sobre jugos de tunas enlatadas. Ciencia Méx.  
Vol. 23 (2): 75-82
- Vital B., M.G., 1974.  
Optimización de la producción de proteína microbiana a partir  
del jugo de tuna. I.P.N. Tesis, Escuela Nacional de Ciencias  
Biológicas, México, D. F.
- Walter, H. y E. Stadelmann, 1974.  
A new approach to the water relations of desert Plants. In "De  
sert Biology" U.S. Gupta Editor. Academic Press. Vol. 2.  
New York.
- Watson, D. J. 1956.  
Leaf Growth in Relation to Crop Yield. Proc. third Easter School  
in Agric. Sci., Univ. of Nottingham. Ed. by Milthorpe, F.L.  
London.
- Weaver, R. J. 1961.  
Growth of grapes in relation to gibberellin. North Abstr. N. 32,  
535.
- \_\_\_\_\_ 1976.  
Reguladores del crecimiento de las plantas en la agricultura. Ed.  
Trillas. Méx.
- Weniger, D. 1970.  
Cacti of the Southwest. Austin, Tx.
- Willdenow, C.L. 1777.  
Caroli a Linne Species Plantarum. 4th ed. Berlin.
- Woo, K.C. y C. B. Osmond. 1976.  
Glycine decarboxylation in mitochondria isolate from spinach lea-  
ves. Aust. J. Plant. Physiol. 3: 771-785.
- Zimmerman, M.H. 1971.  
Transport in the Xylem. In. "Trees, Structure and Function",  
pp. 169-220. Springer-Verlag, New York.