

00523
58

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
FACULTAD DE QUIMICA

TITULO DEL TEMA
ESTUDIO QUIMICO DE *OPUNTIA FICUS-INDICA*
(TRABAJO MONOGRAFICO DE ACTUALIZACIÓN)

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
Q U I M I C O

P R E S E N T A

JORGE ANTONIO VARGAS CANO

MEXICO, D.F. 11 DE FEBRERO,

AÑO 2003





Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



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.

JURADO ASIGNADO:

PRESIDENTE	Prof. JOAQUIN PEREZ RUELAS
VOCAL	Prof. YOLANDA CABALLERO ARROYO
SECRETARIO	Prof. ROSA LUZ CORNEJO ROJAS
1er SUP.	Prof. EDUARDO GUILLERMO DELGADO LAMAS
2do. SUP.	Prof. MARTHA YOLANDA GONZALEZ QUEZADA

Sitio donde se desarrollo el tema: biblioteca. Fac. Química / domicilio particular.



Dr. Yolanda Caballero Arroyo
Asesor del tema



Jorge Antonio Vargas Cano
Sustentante

AGRADECIMIENTOS

Deseo expresar mi más sincero agradecimiento:

A la Dra. Yolanda Caballero Arroyo por toda la ayuda brindado para la conclusión del presente trabajo y la amistad que me dispensa.

A la Química Rosa Luz Comejo Rojas y al Ing. Joaquín Pérez Ruelas por su tiempo para la revisión del presente trabajo y sus valiosos comentarios.

A mi madre Aída Luz Caño Puga y a mi esposa Leticia Carreño López por su cariño y comprensión.

A la memoria de mi padre Juan Pablo Vargas Alvarez por todas sus enseñanzas.

Con cariño, para: LEO y TAVO

CONTENIDO

I-INTRODUCCIÓN	2
II-OBJETIVOS	3
III-ANTECEDENTES HISTÓRICOS	4
IV-TAXONOMÍA	6
V-NOMBRES SINÓNIMAS COMUNES PARA OPUNTIA FICUS-INDICA	7
VI-CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS	8
VII-DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA	9
VIII-PRODUCCIÓN DEL NOPAL	11
IX-FITOQUÍMICA	14
X-USOS DEL NOPAL	52
XI-CONCLUSIONES	87
XII-BIBIOGRAFÍA.	88

I - INTRODUCCIÓN

El nopal, es una planta que por sus componentes químicos ha contribuido al desarrollo de nuestra cultura y continúa siendo un importante recurso que merece ser desarrollado. En un país como México donde el 50 % (51) del territorio son zonas áridas y una población mayoritariamente de gente pobre (56 % de la población, según reporte del INEGHI del 2002), el nopal puede y debe ser una alternativa que ayude a frenar el avance de las zonas desérticas, ayude al desarrollo de éstas zonas y adicionalmente forme parte del alimento de millones de mexicanos en todo el país, y no exclusivamente en las zonas productoras como actualmente sucede.

El nopal es una planta que crece bajo una gran diversidad de climas y bajo condiciones muy adversa como lo son las zonas desérticas y permite un aprovechamiento integral de sus "hojas" (cladodios), flores, frutos y semillas para la obtención de una gran diversidad de productos como: alimentos, medicamentos, cosméticos, colorantes, recubrimientos, (52,53,118,129)etc..

En el ámbito mundial existe un interés creciente en este tipo de plantas y se puede observar que en los cinco continentes existen instituciones que trabajan para aprovechar este recurso.

En países con amplias zonas desérticas se intentó hacer de los desiertos, vergeles, con grandes inversiones de recursos; hoy se dan cuenta de lo inviable desde el punto de vista económico de este proyecto, por lo que ahora, se pretende aprovechar los recursos que el mismo desierto produce (100).

II - OBJETIVOS

El presente trabajo monográfico de tesis, pretende reunir los aspectos más sobresalientes que hasta el presente se conocen de la planta *Opuntia ficus Indica* (nopal de castilla) que por su importancia tanto cultural como económica debe ser sujeta a un estudio mas profundo, que nos permita mantener y aprovechar en forma eficiente y racional este valioso recurso.

Se exponen algunas de las aplicaciones que en el pasado ha tenido el nopal dentro de nuestra cultura, y que con el correr del tiempo han quedado en desuso y en muchos casos olvidadas.

Se intenta que este trabajo sea un apoyo, que permita al interesado en algun aspecto particular del tema tener una visión global y le ayude en la consulta del tema en particular por medio de las referencias bibliográficas que se reseñan y en general que revalorice este importante recurso renovable.

Además se pretende explicar con base en su composición química conocida hasta hoy, sus aplicaciones actuales y sus posibilidades futuras de utilización.

III - ANTECEDENTES HISTÓRICOS

La *Opuntia ficus-indica* o nopal de castilla, ha sido cultivada en México desde tiempos prehispánicos. De acuerdo a estudios de coprolitos humanos que contienen restos de epidermis de esta especie, se ha calculado que hace 9,000 – 8,000 años se inició su domesticación en México (19).

El nombre del nopal proviene de la voz nahuatl **Nochtli ó Nopalli**, nombre con el cual lo designaban los aztecas, el cual a su vez generó la palabra **Nopalilli** o árbol de nopales (118).

Fray Bernardino de Sahagún lo describió en 1565 en su historia general de las cosas de la nueva España como el árbol Nopalli, " ES MONSTRUOSO ESTE ARBOL, EL TRONCO SE COMPONE DE LAS HOJAS Y LAS RAMAS SE HACEN DE LAS NUEVAS HOJAS... ”.

El nombre del fruto del nopal “ **tuna** ” es de origen caribeño (19) y mas exactamente es un vocablo Taíno que los españoles conocieron antes que el vocablo náhuatl, ya que con él también designaron la parte vegetativa de la planta. El primer nombre español asignado a la planta fue el de higo de indias.

La historia de nuestro país y el folklore de nuestros pueblos nos permiten conocer la importancia que adquirieron las cactáceas entre las tribus prehispánicas, según se observa en sus códices, monumentos, pinturas, cerámicas y por las numerosas voces con que las designaron y que aún persisten en nuestros días.

En la vida económica, social y religiosa de los nahuas, las cactáceas desempeñaron un papel relevante a tal grado que el escudo de tenochtitlán ostentaba airoosamente un nopal, símbolo que conserva el escudo nacional y el de la ciudad de México. En el libro “Imágenes de la gran capital” del Gobierno del D.F de 1985 se describe el origen de la palabra Tenochtitlan como proveniente de la siguiente etimología: **Te-tl**, piedra, **noch-tli**, **tuna ó nopal**, **Ti**, partícula eufónica, y **Tlan** , sufijo de abundancia: “tunal ó nopales entre pedregales”.

Estas plantas intervinieron en celebraciones religiosas y algunas de ellas fueron elevadas a categoría de dioses se usaron con frecuencia en la magia, en curaciones e influyeron de manera determinante en la fundación de poblaciones. Se les tuvo en alta estima como plantas de ornato por grandes señores como Netzahualcóyotl y Moctecuhzoma Xocoyotzin, quienes durante sus reinados crearon los hermosos jardines de Teztcutzingo, Tenochtitlán, Atlixco, Iztapalapa y el Peñón, que tanta admiración causaron a los conquistadores españoles.

En lo referente a los usos de los nopales en otras regiones de nuestro país se menciona que durante los siglos XVII y XVIII los padres Franciscanos establecieron sus misiones en Baja California Norte y zonas adyacentes donde introdujeron el cultivo de nopales que hasta entonces eran cultivados en el centro de México.

IV - TAXONOMÍA

Bravo Hollys H. 1978 (19) indica que las cactáceas son plantas xerófilas debido a que son plantas suculentas y resistentes a la sequía además de tener una morfología característica.

La clasificación de las cactáceas no es sencilla debido a la gran cantidad de formas de transición, formación de híbridos y el constante conocimiento de nuevas especies.

La taxonomía más utilizada para la clasificación de las cactáceas es el sistema Britton y Rose, el cual clasifica a las Opuntias en la forma siguiente:

Reino	<i>Vegetal</i>
Subreino	<i>Embryophyta</i>
División	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotyledonea</i>
Subclase	<i>Dialipétalas</i>
Orden	<i>Opuntiales</i>
Familia	<i>Cactáceas</i>
Tribu	<i>Opuntias</i>
Género	<i>Opuntia</i>

El género de la *Opuntia* está formado por dos subgéneros, uno representado por las *Opuntias* de forma cilíndrica, mejor conocidos como cactus y clasificados como *Opuntia cylindropuntia* y el otro subgénero de forma aplanada al cual pertenecen los verdaderos nopales cuyos frutos se conocen como tunas cuando tienen sabor dulce y xoconoztle cuando el fruto tiene sabor ácido y se les clasifica como *Opuntia platyopuntia*.

Existen dos formas para *Opuntia ficus-indica*, la forma **silvestre** (con espinas) y la forma **hortícola** (sin espinas), la cual también fue descrita como *Opuntia megacantha salm-dick*.

Sin embargo estudios recientes de ADN en la forma sin espinas y con espinas han demostrado su identidad, ya que la diferencia entre ambas reside en uno o pocos genes. También estudios cromosómicos han llegado a la misma conclusión, así como el hecho de presentarse regresiones en ambas formas, ya que algunas ramas de la forma sin espinas comienzan a desarrollarlas bajo condiciones de estrés. Por otro lado, al cultivar semillas de la forma sin espinas, se obtienen plantas con espinas, muy variables en sus caracteres (79).

V - NOMBRES SINÓNIMOS COMUNES PARA OPUNTIA FICUS-INDICA (85).

ESPAÑOL: nopal, higo de indias, cardón de México, chumbera, chumbo, chumbua, higo de pala, higo México, higuera de pala, nopal de Castilla, tuna de España, tuna española, tuna mansa, higo chimbo, tuna real, tuna cactus, penca.

PORTUGUES : figo da india, figo de pitoira, figueira da india, palmatoria sem espinhos, tabaida, palma forrageira.

INGLÉS : barbar fig, indian fig, prickly pear.

FRANCÉS : chardon d inde, figue de barbarie, figuier à raquettes, figuier d'inde, opunce raquette.

ALEMÁN : frucht des feigenkactus, indianische feige.

CHINO: hsien jen chang.

VI - CARACTERÍSTICAS MORFOLÓGICAS

Todas las especies de nopal (*Opuntia SPP*) han desarrollado a través de la evolución, características morfológicas adaptadas a la escasa disponibilidad de agua, a las variaciones extremas de temperatura y en general a las diversas condiciones de las zonas áridas y semiáridas del país, a pesar de que algunas de estas especies han colonizado ambientes con mayor provisión de agua.

Algunos de estos caracteres *Xemórficos* se relacionan directamente con la máxima eficiencia en la absorción y almacenamiento de aguas y otras parecen tener importancia indirectamente al evitar el excesivo calentamiento de la planta o con la defensa de las plantas de predadores (plagas).

La succulencia es la principal característica morfológica de los nopales y de la mayoría de las cactáceas(149). Puede considerarse como el sello de distinción de sus partes aéreas (tallo, flores y frutos) y resultado de la proliferación celular masiva de ciertos tejidos parenquimatosos, asociada a un aumento en el tamaño de las vacuolas y a una disminución de los espacios intercelulares.

Este fenómeno permite a los órganos de estas plantas acumular grandes cantidades de agua en forma más rápida durante los breves períodos de humedad y, por otra parte, las formas esféricas o succulentas representan los cuerpos más eficientes para evitar la evaporación.

La *Opuntia* sub-género, *Platyopuntia* se forma de: tallo, raíz, hoja, flor y fruto.

VII - DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

Bravo(1978) (19) al estudiar a las cactáceas, indican que son originarias del continente Americano, y que se les encuentra distribuidas desde el Canadá hasta la Argentina. La diferencia existente entre las cactáceas en América del norte y de América del sur respecto a su origen implica la existencia de dos áreas de desarrollo.

En América del norte se localizan 92 géneros de cactáceas en tanto que en América del sur se localizan 51 géneros. De las localizadas en América del norte, 61 géneros existen en México y 31 géneros en E.U.A, esta distribución ubica como origen de diseminación de las cactáceas a México(97).

En la actualidad el género *opuntia* se encuentra distribuido en gran parte del mundo, pues es posible encontrarlo en Europa, África, Asia, Medio Oriente, Australia, etc.

En la república Mexicana, el nopal se localiza prácticamente en la mayoría de las condiciones ecológicas, ocupando los estados de Coahuila, Nuevo León, Zacatecas, San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Chihuahua, Tamaulipas, Durango, Aguas Calientes, Puebla, Edo. de México, Altiplano mexicano, Oaxaca, Querétaro, etc.

En el caso particular de la *Opuntia ficus- indica* su principal producción se encuentra en el Altiplano mexicano, Puebla y Estado de México.

Entre los principales tipos de nopal y sus lugares de cultivo en México tenemos los siguientes:

Nopal cuijo (*Opuntia Lindheimeri Engelmann*): Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila, Tamaulipas y Nuevo León.

Nopal cegador (*Opuntia microdasys*): Desde el desierto de Chihuahua hasta el estado de Hidalgo.

Nopal crinado (*Opuntia Pilifera*): Estados de Puebla y Oaxaca.
(*Opuntia Decumbes*): Puebla, Guerrero y Oaxaca.

Nopal duraznillo (*Opuntia Leucotricha de candolle*): Altiplanicie de San L. Potosí, Zacatecas, Durango, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo.

Nopal manzo (*Opuntia Megacantha*): San L. Potosí, Aguascalientes, Guanajuato y Zacatecas.

Nopal tapón (*Opuntia Duranguensis*): Región central de México.

Nopal San Gabriel (*Opuntia Tomentosa*): Oaxaca y Puebla.

Nopal rastrero (*Opuntia Rastrera*): San L. Potosí, Zacatecas y zonas adyacentes de los Estados limítrofes.

Nopal de castilla (*Opuntia ficus-Indica*): Altiplano de México, Estado de México y Puebla.

Nopal forrajero (*Opuntia ficus-Indica*): Tizayuca y Pachuca Hidalgo.

Nopal serrano (*Opuntia Stenopetala*): Coahuila, Nuevo León, San L. P., Tamaulipas, Querétaro, Guanajuato e Hidalgo.

Nopal cascarrón (*Opuntia Hyptiacantha*): Toda la meseta central.

Nopal cardón (*Opuntia Streptacantha*): Tizayuca y Pachuca Hidalgo.

Nopal xoconostle (*Opuntia Imbricanta*): Tizayuca y Pachuca Hidalgo.

Nopal tuna blanca (*Opuntia Amycleae*): Tizayuca y Pachuca Hidalgo.

Nopal verdulero (*Opuntia Ondulata*): Tizayuca y Pachuca Hidalgo.

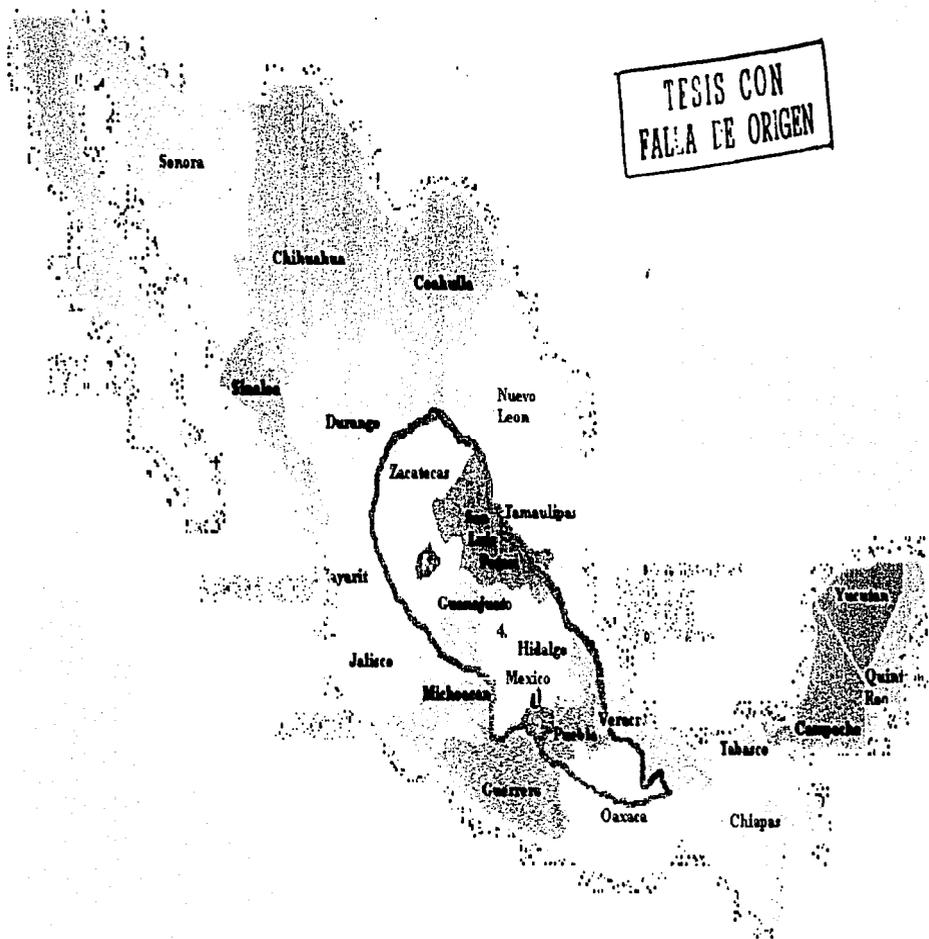
Muy probablemente el Nopal fue introducido a España en el primer o segundo viaje de Colón a América a principios del Siglo XVI donde por su proliferación en la zona de Castilla se le conoció como **tuna de Castilla**. De aquí se esparció a toda la cuenca del mediterráneo donde se naturalizó a tal punto que en algunos lugares se considera como una especie nativa, ya que el término con el cual la designan en algunos países como Israel es **sabra**, nombre que también usan para designar a los pobladores nativos.

Posteriormente al retirarse los moros de España, llevaron esta especie al África, llamándola **higo de cristianos**. Actualmente en Marruecos su nombre es **tapia** haciendo alusión a su utilidad como cerco.

Durante el siglo XVIII los navegantes lo distribuyeron ampliamente en gran parte del mundo, ya que la consumían en ensaladas por sus propiedades antiescorbúticas, así como por su utilidad como cerco de defensa para los ejércitos.

zona productora de nopal en México

TESIS CON
FALTA DE ORIGEN



VIII - PRODUCCIÓN DEL NOPAL

En México los métodos de cultivo empleados, son en muchos casos los mismos empleados por las culturas mesoamericanas, como es el que utiliza el método de terrazas(85).

La principal característica de estos cultivos es su buena adaptación a suelos pobres, con escasa cantidad de agua, pocos requerimientos tecnológicos, utilización de abonos orgánicos como el estiércol y su rápido crecimiento.

La mayor comunidad productora de nopal verdura (*Opuntia ficus-Indica*) es Villa Milpa Alta(52,64), en la cual se estima una superficie de producción de 6,000 ha. Su relieve es montañoso con alturas de los 2,245 – 3,700 msnm con un clima semifrío subhúmedo con lluvias en verano en el 74 % de la región y temperaturas promedio durante marzo a junio de 18° C y de 13°C para los meses de octubre a enero.

La unión agrícola regional de productores de nopal de Milpa Alta y el D.F. es la agrupación más importante de productores y agrupa a 200 de ellos.

Los métodos de cultivo utilizados son los tradicionales en un 95 % y únicamente un 5 % utiliza procedimientos semi-tecnificados (85). En ambos casos los nuevos terrenos de cultivo no son necesariamente arados y las plantas se ponen en forma perpendicular a la pendiente de la parcela para evitar la erosión del suelo. Las plantas se alían a una distancia de 10-30 cm una de otra y manteniendo una distancia entre líneas de 1.0- 1.2 mts para permitir el paso de los agricultores.

Las plantas seleccionadas para la siembra, son aquellas hojas maduras y frescas con buen tamaño y vigor, enterrándose hasta la parte media de la hoja. El número de plantas por metro cuadrado de terreno es de 6-12.

El nopal se adapta bien a diversas texturas y composición de suelos pero se desarrolla mejor en suelos calcáreos, arenosos, de profundidad media, con pH alcalinos y altitudes que varían entre los 800-2,500 mts. Su desarrollo requiere de temperaturas anuales preferentemente entre 18° C – 25°C, aunque es una planta que resiste bien la sequía, también prospera en zonas de precipitaciones moderadas.

Las principales labores del cultivo del nopal son:

- a) Eliminación de las malas hierbas. Efectuada en forma manual por medio de machete y/o hoz.
- b) Poda. Esta operación tiene como principal función la de promover el crecimiento de nuevas hojas tiernas. Efectuándose al termino de la temporada de seca que es cuando hay una mayor producción de hojas y los precios del producto se desploman. Se efectúa en forma manual con machete.
- c) Fertilización. Es una importante actividad que se efectúa normalmente con abono orgánico(estíercol), comparado con el escaso uso del abono inorgánico, siendo esta relación de uso de 266:1, 352:1 y 400:1 para pequeños, medianos y grandes cultivos. Esto se debe principalmente a los beneficios adicionales que según algunos investigadores otorgan al estiércol, el cual retiene el calor en el terreno durante los meses de invierno, aunado a que es una valiosa fuente de material orgánico y nitrógeno.
- d) Combate de Plagas (insectos y hongos). El principal problema en la productividad de los cultivos se debe a los insectos, siendo los más comunes: gusano volador (con un 19% de frecuencia), gusano rojo (16 %), chahuistle (14%), arañas (14%), mosquito rojo (12%), cochinilla (9%), piojo (6%), pinacates (6%), mariposas nocturnas (2%) y piojos de plantas (2%). Siendo los primeros cinco los más frecuentes y los restantes solo ocasionales. Las clases son: la cochinilla silvestre, el gusano cebrá, araña roja y el gusano telañero. El control de estas plagas se efectúa normalmente por el empleo de insecticidas comerciales como: Folidol, Sopracil y Fanela. Para el caso de la cochinilla el control se efectúa por el raspado de la superficie de las hojas afectadas.

Los estudios realizados por Barrientos (15) indican que la producción de nopal depende de la intensidad y tiempo de exposición a la luz solar, cantidad y tipo de fertilizante y finalmente de la frecuencia con que se realiza la poda de las plantaciones.

En las plantaciones del nopal dedicadas a la producción de verdura las plantas son de forma arborescente en dos planos con una altura no mayor a 1.5 mts., la que alcanza después de tres años de edad, estas plantas contienen artículos de 40-60 cm de longitud y carecen de espinas. Los nopalitos crecen principalmente en la periferia de los artículos y otros en la periferia de los

mismos: estos son cosechados al pesar aproximadamente 100-120 gr cada uno y/o medir 10-15 cm de largo.

La época de mayor producción se tiene en los meses de marzo, abril, mayo y junio, una hectárea produce semanalmente de 5 a 10 pacas con un peso que varía de 300-350 Kg. y dependiendo del tamaño de nopal puede contener de 2,000 a 3,000 pzas, el costo de estas pacas fluctúa entre los \$60.00 y \$70.00 pesos. Para los meses de octubre, noviembre y diciembre y enero, la producción disminuye a causa de la temperatura y por hectarea se obtienen semanalmente de 1 a 2 pacas, el precio de venta es de \$700.00 a \$1,000.00 pesos(37).



Planta de *Opuntia ficus indica*



Cladodios de *Opuntia ficus indica*



Flor y Fruto "tuna"



Tuna



Tunas en desarrollo

TESIS CON
FALLA LE ORIGEN

Flor Amarilla de *Opuntia ficus indica*



IX - FITOQUÍMICA

Los compuestos químicos que son elaborados por las plantas se conocen como **productos naturales** y son sustancias tan relativamente simples como los azúcares o bien sustancias tan complejas como las proteínas. Su importancia radica en el hecho que el hombre desde sus orígenes y hasta nuestros días se ha servido de ellos para obtener productos diversos como: alimentos, medicamentos, colorantes, fibras, gomas, aceites, ceras, saborizantes, insecticidas, herbicidas, polímeros, perfumes, etc.

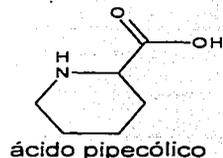
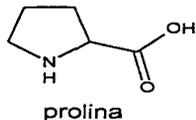
Entre la vasta y diversa cantidad de compuestos orgánicos elaborados por las plantas, existen sustancias que son encontradas en todas las plantas y que llevan a cabo procesos bioquímicos por las rutas catabólicas y anabólicas que tienen por resultado la asimilación, respiración, transporte y diferenciación, procesos que son esenciales y necesarios para el desarrollo y crecimiento de la planta y son conocidos como **metabolitos primarios**, entre estos encontramos: carbohidratos, lípidos, fitoesteroles, aminoácidos, ácidos orgánicos, enzimas, etc.

Sin embargo la gran mayoría de compuestos elaborados por las plantas se conocen como **metabolitos secundarios**, parecen ser producto de la interrelación de las plantas con su medio ambiente, siendo producidos para la protección de la planta contra herbívoros y microorganismos, para estas funciones las plantas producen sustancias que son tóxicas para los insectos y mamíferos o bien les confieren olores y/o sabores desagradables, teniendo algunas propiedades bactericidas y/o fungicidas. También tienen la función de atraer polinizadores y animales dispersores de semillas, para lo cual les imparten color y olor a las plantas que les sirven para atraer a los animales e insectos.

Como agentes alelopáticos (que influyen en la competencia con otras plantas) las plantas producen compuestos que inhiben el desarrollo de otras.

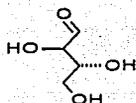
Estos metabolitos secundarios son sustancias que pueden ser tóxicas para la misma planta, por lo que son almacenadas en vesículas especiales o bien en vacuolas.

Pese a todo lo antes señalado, no es fácil hacer una diferenciación clara entre los **metabolitos primarios** y **metabolitos secundarios**, aun cuando estos provienen de los primeros, ni aun atendiendo a su estructura química, origen biosintético o bien a sus precursores moleculares. Por ejemplo el aminoácido esencial **prolina** es considerado un **metabolito primario** en tanto que su compuesto análogo **ácido piperólico** es considerado un alcaloide y por lo tanto un **metabolito secundario**(05).

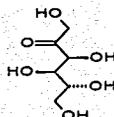


La Química de los Productos Naturales: Metabolitos primarios:

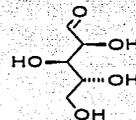
a) Carbohidratos. Compuestos caracterizados por contener exclusivamente carbono, oxígeno e hidrógeno y tener una fórmula general del tipo $C_n(H_2O)_n$, por lo cual, se les conoce también como hidratos de carbono. Pueden ser aldosas si contienen la función aldehído o cetosas si contienen la función cetona. Además por su número de carbonos pueden ser: triosas, pentosas, etc.



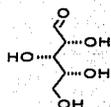
D-Eritrosa



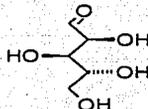
D-Fructosa



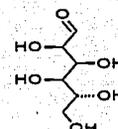
D-Arabinosa



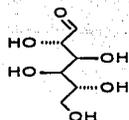
D-Xilosa



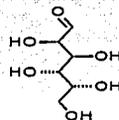
D-Arabinosa



D-Glucosa

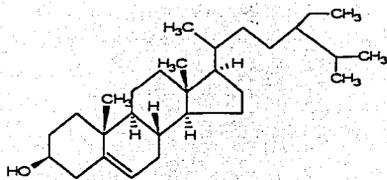


D-Manosa

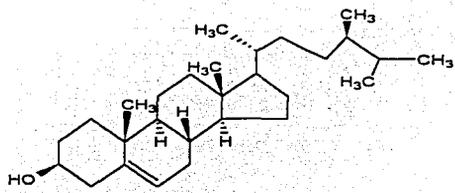


D-Galactosa

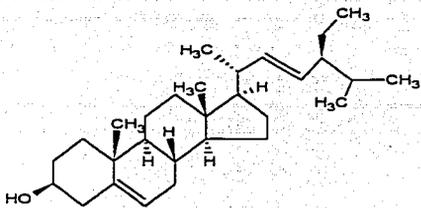
b) Lípidos. Son sustancias que siendo insolubles en agua, pueden ser extraídas con solventes de baja polaridad, tales como éter, cloroformo, disulfuro de carbono y etanol caliente. Estas sustancias comprenden muchos tipos, entre las que tenemos; glicéridos, céridos, etólidos, estéridos, fosfolípidos, cerebrósidos, sulfátidos y carotenoides. Como ejemplo de estéridos encontrados en semillas de *Opuntia ficus indica* (43) tenemos:



β -sitosterol

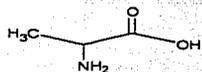


camfesterol

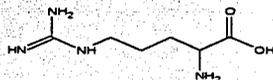


estigmasterol

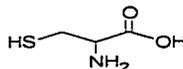
c) Proteínas y enzimas. Son polímeros naturales que consisten en largas cadenas de poliamidas de estructura compleja y que cumplen un gran número de funciones dentro de los seres vivos, y cuyas unidades estructurales son los aminoácidos. Los aminoácidos hasta ahora reportados en *Opuntia ficus-indica* (libres o de proteínas) son los siguientes:



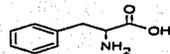
alanina



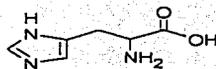
arginina



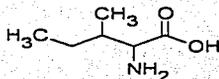
cisteína



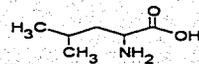
fenilalanina



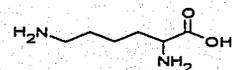
histidina



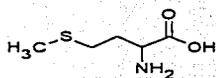
isoleucina



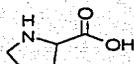
leucina



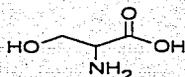
lisina



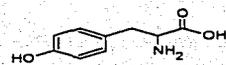
metionina



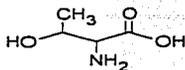
prolina



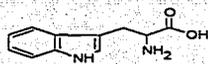
serina



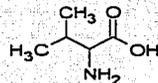
tirosina



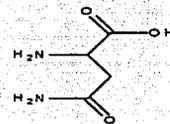
treonina



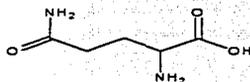
triptofano



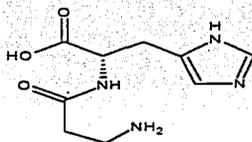
valina



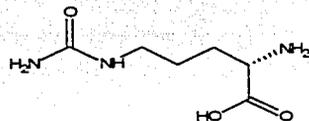
asparagina



glutamina



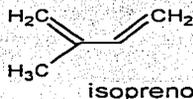
carosina



citrulina

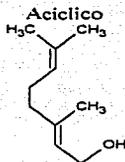
Metabolitos secundarios

1-Terpenos. Son quizás la clase de productos naturales de las plantas, con la mayor variedad de estructuras. Su nombre proviene del hecho que los primeros miembros de esta clase de compuestos se aislaron de la terpenita. Químicamente se consideran como productos de la condensación del isopreno.

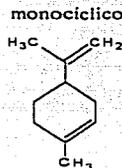


Se tienen varias clasificaciones para los terpenos, la siguiente es sobre la base del número de unidades isoprenicas que los forman:

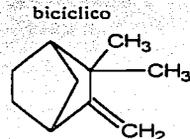
Monoterpenos. Se encuentran constituidos por un importante grupo de hidrocarburos, alcoholes y cetonas que son los componentes mayoritarios de los aceites esenciales obtenidos de hojas, raíces y corteza de varias plantas. Se clasifican en acíclicos, monocíclicos y bicíclicos.



geraniol

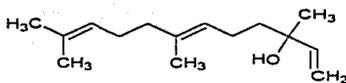


limoneno

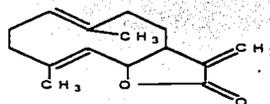


canfeno

Sesquiterpenos. Se consideran constituidos por tres moléculas de isopreno y frecuentemente se encuentran en forma líquida en los aceites esenciales. Entre los derivados oxigenados se han encontrado alcoholes, epóxidos, cetonas sesquiterpénicas y lactonas sesquiterpénicas.

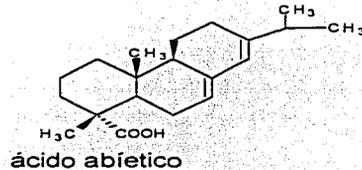
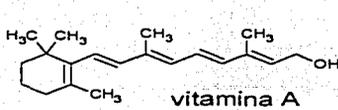


nerolidol

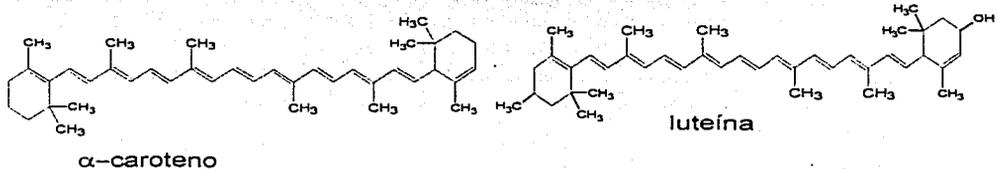


costunólido

Diterpenos. Están formados por la unión de cuatro unidades isoprenoides, es decir son esqueletos carbonados de veinte átomos de carbono. Entre ellos se han encontrado, hidrocarburos, alcoholes, óxidos, cetonas, lactonas, y ácidos carboxílicos. Su clasificación se efectúa de acuerdo con el número de ciclos que presenta el esqueleto carbonado; alicíclicos, bicíclicos, tricíclicos, tetracíclicos, pentacíclicos, macrocíclicos y misceláneos.

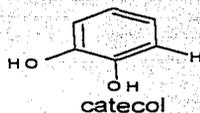


Triterpenos. Estos compuestos están muy difundidos en la naturaleza, principalmente en el reino vegetal, como glicósidos, ésteres o en forma libre, y están formados por la unión virtual de seis unidades de isopreno. Su clasificación se divide en acíclicos, tetracíclicos y pentacíclicos. Entre ellos se encuentran los carotenos que son una clase de pigmentos liposolubles.



Politerpenos. En este grupo se incluyen aquellos compuestos que tienen estructuras polisoprenicas cuyos esqueletos carbonados se derivan formalmente de la adición de unidades de isopreno, pero que tienen pesos moleculares mucho mayores que en los casos anteriores. Ejemplos de ellos son la goma natural o hule, la gutapercha y la balata.

2-Compuestos fenólicos. Las plantas tienen una casi ilimitada posibilidad para sintetizar sustancias aromáticas, muchas de las cuales son fenoles o sus derivados sustituidos con oxígeno. Estos compuestos se caracterizan por poseer uno o más grupos hidroxilo unidos a un anillo aromático.

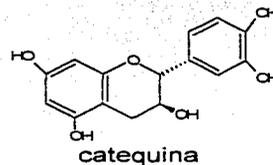
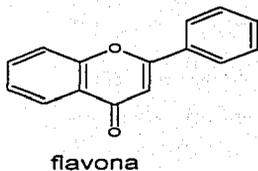


En muchos casos estas sustancias sirven como mecanismo de defensa para las plantas contra la predación por microorganismos, insectos y herbívoros. Algunos como quinonas y taninos son responsables de los pigmentos de las plantas.

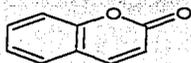
Fenoles simples y ácidos fenólicos. Algunos de los fitoquímicos simples bioactivos, consisten de un simple anillo fenólico sustituido, el catecol, el ácido cafeico y el cinámico son representativos de un amplio grupo de compuestos derivados del fenilpropano.



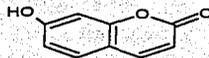
Flavonas, flavonoides y flavanoles. Las flavonas son estructuras fenólicas que contienen un grupo carbonilo. La adición de un 3-hidroxilo produce un flavonol. Los flavonoides son también sustancias fenólicas hidroxiladas pero con C_6-C_3 unidas a un anillo aromático. Se sabe que las plantas las producen como respuesta a infecciones microbiológicas.



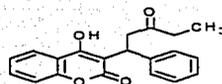
Cumarinas. Son sustancias fenólicas producto de la fusión de un anillo de benceno y α -pirona. Son responsables del olor característico del heno, son importantes por sus propiedades antitrombóticas, antiinflamatorias y vasodilatadoras. La walfarina es una cumarina también bien conocida por su aplicación como raticida y como antiviral.



cumarina

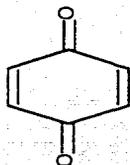


7-hidroxicumarina

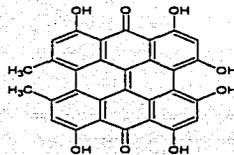


walfarina

Quinonas. Las quinonas son anillos aromáticos con dos grupos cetona como sustituyentes. Se encuentran frecuentemente en la naturaleza y se caracterizan por su alta reactividad y son responsables del oscurecimiento de las frutas y vegetales cuando son cortadas.

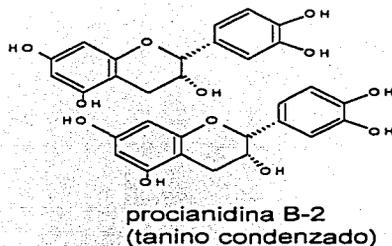
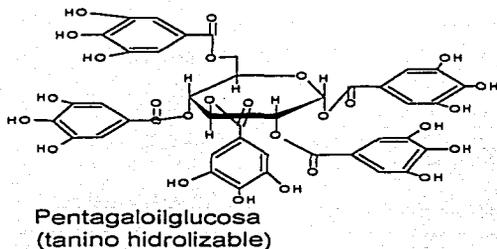


quinona



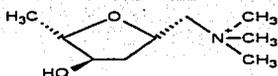
hipericina

Taninos: Es el nombre descriptivo para el grupo de sustancias fenólicas poliméricas capaces de curtir la piel o que precipitan la gretina de una solución, propiedad conocida como astringencia. Su peso molecular esta entre 500 y 3,000, y se encuentran en la mayor parte de las plantas. Se dividen en dos grupos; taninos hidrolizables y taninos condensados. Los taninos hidrolizables estan basados en el ácido gálico, usualmente como poliésteres de la D-glucosa, sin embargo los más usuales y numerosos son los taninos condensados, tambien llamados proantocianidinas y que son derivados de monomeros de flavonoides. Alternativamente los taninos pueden ser formados por la polimerización de unidades de quinona.

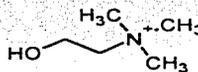


3-Alcaloides. Son un grupo de bases que contienen nitrógeno, la mayoría de ellos son drogas. Únicamente unos pocos (como la cafeína) son derivados de purinas o pirimidinas, la gran mayoría son producidos por aminoácidos. Se han adoptado diversas clasificaciones para el estudio de los alcaloides, según se atiende a las familias botánicas a las que pertenecen, a su acción fisiológica o a su estructura molecular.

Alcaloides derivados de aminas alifáticas. Como ejemplos se tienen la putrecina, cadaverina, la muscarina y la colina.

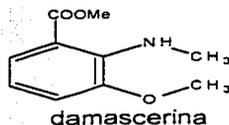


muscarina

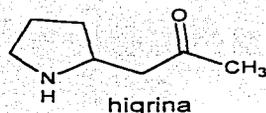


colina

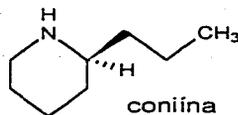
Alcaloides derivados de aminas aromáticas. El más sencillo de estos es la damascenina que es un derivado del o-aminobenzoico.



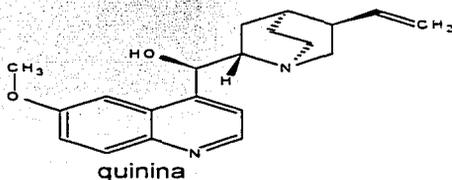
Alcaloides derivados del pirrol. Como ejemplo se tiene la higrina, que es un alcaloide secundario de las hojas de coca.



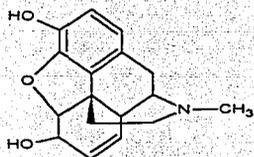
Alcaloides derivados de la piridina. Como ejemplo tenemos laconiina o cicutina.



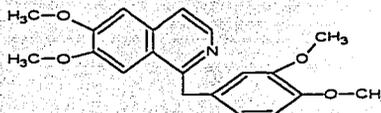
Alcaloides derivados de la quinolina. En la quinina se pueden apreciar los núcleos de quinolina y de la quinuclidina, el primero con un metoxilo y el segundo con un vinilo, unidos ambos por un grupo metino que posee un grupo de alcohol secundario.



Alcaloides derivados del fenantreno y de la isoquinolina. Entre los derivados del primero figuran la morfina y tebaína. Del segundo grupo se tienen la narcotina, papaverina, hidrastina, la berberina, emetina, etc.

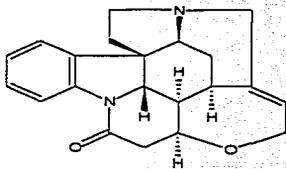


Morfina

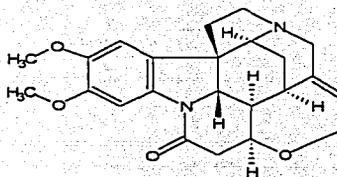


papaverina

Alcaloides derivados del indol. La estricnina, la brucina y la curarina, son alcaloides que se encuentran en plantas del género *Strychnos*.

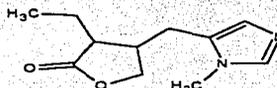


estricnina



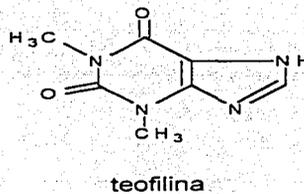
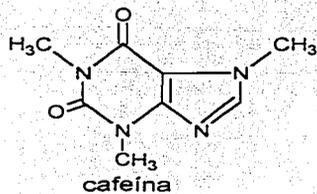
brucina

Alcaloides derivados del imidazol o glicoxalina. En este grupo se encuentra la pilocarpina.

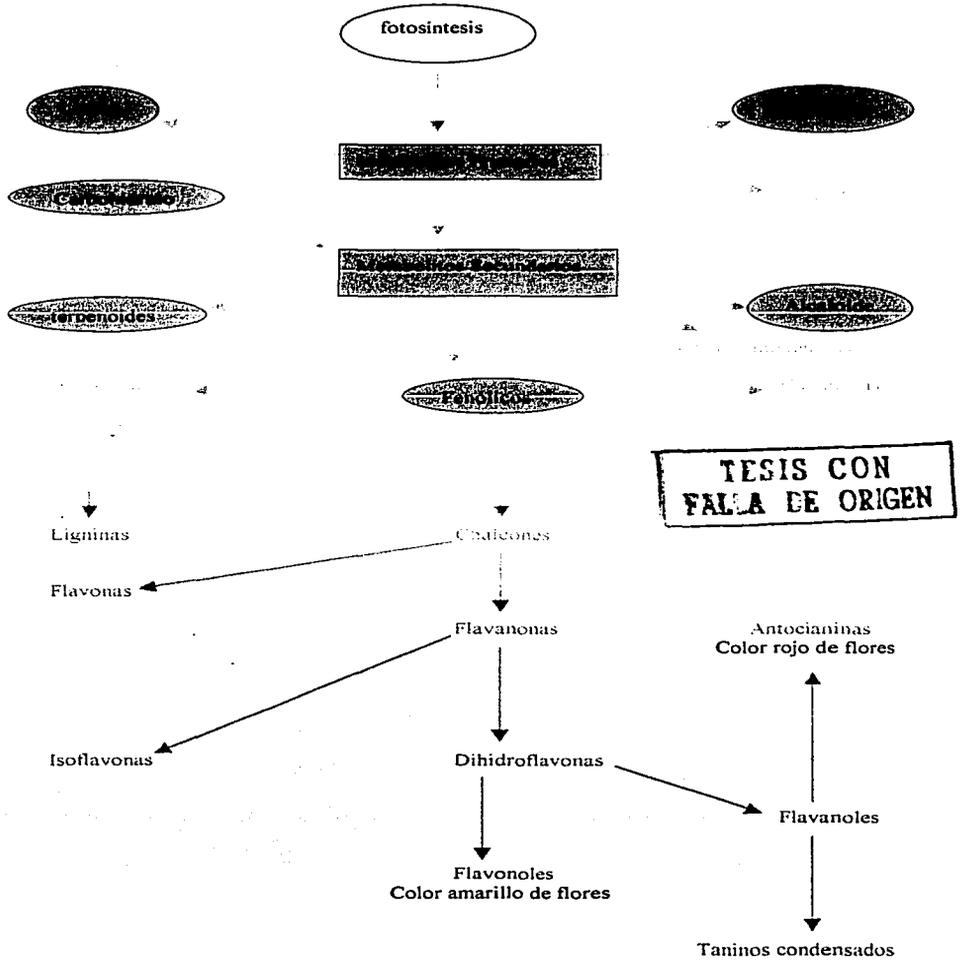


pilocarpina

Alcaloides derivados de la purina. Los representantes más importantes de este grupo son la cafeína, teofilina y teobromina.



Interrelación entre metabolitos primarios y secundarios en plantas.



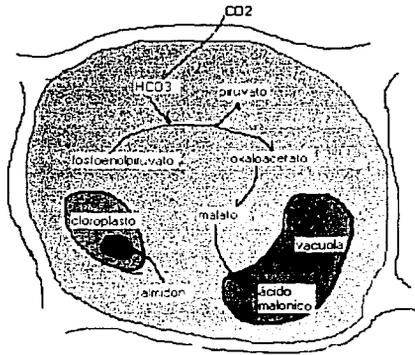
La *Opuntia ficus-indica* como todos los productos de origen natural, produce una gran cantidad de metabolitos primarios y secundarios. Un gran número de investigadores tanto nacionales como extranjeros, han puesto su atención en el estudio de las *opuntias* desde principios del siglo pasado. Variados han sido los aspectos tratados en trabajos de tesis elaborados en México sobre la *Opuntia ficus-indica*, como pueden ser: médicos, alimenticio, económicos, industrialización, agrícola, biológico, etc. Sin embargo desde el punto de vista fitoquímico pocos han sido publicados.

En las siguientes páginas se presentan los estudios fitoquímicos realizados con el nopal y se da una breve descripción de los experimentos efectuados para aislar e identificar algunos metabolitos citados a continuación. El proceso de fotosíntesis de las cactáceas es diferente al de las demás plantas y su fitoquímica lo es también, ya que las cactáceas producen pocos **metabolitos primarios** y producen principalmente **metabolitos secundarios**(149).

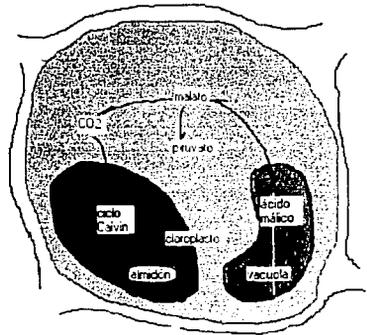
Las cactáceas y otras plantas suculentas utilizan un método de fijación de CO₂ conocido como metabolismo ácido de craseolaseas (CAM) dentro de sus células del parénquima. Todas las demás plantas fotosintéticas efectúan la fotosíntesis por intercambio directo del CO₂ con el medio ambiente a través de sus estomas (pequeñas aperturas sobre la superficie de las hojas que les permiten el intercambio gaseoso y de agua con el medio ambiente) que se abren durante el día.

Debido al medio seco y caluroso en el cual las cactáceas viven, las plantas del tipo CAM son obligadas a mantener cerrados sus estomas durante el día para evitar la evaporación excesiva, por lo cual no realizan intercambios de agua ni CO₂ durante el día. El mecanismo por el cual efectúan su fotosíntesis consiste en abrir sus estomas durante la noche para fijar el CO₂ en sus células y después, dependen de una reacción química para convertir y almacenar el CO₂ que será utilizado durante el día. La capacidad para fijar el CO₂ durante la noche es debido a la actividad de la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa (PEP). Esta enzima convierte el CO₂ retenido en un ácido orgánico (tal como el ácido málico) y lo almacena en las vacuolas de la célula hasta la mañana siguiente. Con la energía calórica del día, el equilibrio dentro de las células de la planta es desplazado y el ácido orgánico es descarboxilado completamente hasta CO₂. Esta es la razón por la cual las plantas tipo CAM son de sabor ácido durante la noche y dulces durante el día.

Después de este proceso termoperiódico, el CO_2 es transferido a la pentosa, ribosa 1,5- bisfosfato, iniciándose el ciclo de Calvin. Aquí el proceso de fotosíntesis se inicia dentro de la misma célula que genera el CO_2 , haciéndolo un muy eficiente sistema de crecimiento y desarrollo. Las noches calurosas, sin embargo, causan que el ácido orgánico sea convertido en CO_2 , y como la fotosíntesis no puede efectuarse sin luz, este proceso ocasiona que la planta no se desarrolle y es la explicación del porqué muchas cactáceas son de lento crecimiento.



Captación de CO_2 durante la noche.



Fotosíntesis durante el día

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN

CARBOHIDRATOS

Debido a que estos compuestos son los más abundantes en *Opuntia ficus-indica*, una atención particular ha merecido el estudio de estos componentes. Sobre todo por que los miembros de la familia de las cactáceas, al igual que otras plantas suculentas, producen un mucilago con gran similitud a los polisacáridos del tipo pectina, los cuales son bastante apreciados en la industria de los alimentos, principalmente por sus propiedades reológicas y por las posibilidades que tienen de sustituir a otros productos de alto valor como la goma guar.

Existen diferencias entre el mucilago y la pectina, ya que las soluciones acuosas de pectina tienen la propiedad de formar geles con sacarosa o potasa y poseen grupos metoxilo en su molécula.

Los primeros estudios sobre la composición del mucilago datan de 1902 y fueron realizados por Harley. Posteriormente en 1916-1918 se efectuó el estudio de los azúcares contenidos en el nopal por Spoehr, en 1921 Juritz publica las posibilidades de uso que tiene el nopal y su mucilago.

En México los primeros reportes sobre el nopal datan de 1939 por Delgado(33), seguidos por los efectuados en 1943 por Giral y Suárez (65) sobre su aporte en vitamina C y Gravioto en 1945(28) con un estudio bromatológico.

En 1949 Fernandez y Ollivier(45) efectúa el estudio químico de varias clases de nopal encontrando como principales componentes carbohidratos: una parte de estos corresponden a la fibra cruda y el resto principalmente son polisacáridos de tipo pentosano(arabanos, xilanos) y a veces galactanos y algo de almidón, con pequeñas cantidades de disacáridos (sacarosa) y de monosacáridos (arabinosa y glucosa). En 1951 se publica otro estudio similar sobre la goma del nopal por Ortuno Hernandez(110).

En 1961 Villareal (110) publica sus estudios bromatológicos sobre seis especies de nopal y en 1969 Becerra (16) reporta sus estudios bromatológicos sobre *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia undulata*, identificó y cuantificó los azúcares en las dos especies, obteniendo para *Opuntia ficus-indica* un 3.14%(base húmeda) de sacarosa y 1.02 % de glucosa.

En 1980 la Universidad de Guanajuato (Evaluación económica del proyecto para industrializar el nopal) realizó el estudio bromatológico de varias especies de nopal, reportando entre sus resultados por primera vez porcentajes de pectina.

En el extranjero los estudios más importantes se han encaminado a elucidar la estructura, composición química y su función fisiológica del mucilago (86,161). Particular relevancia en el estudio fisiológico del nopal, la ha tenido el investigador norteamericano Park Nobel, quien cuenta con el mayor número de publicaciones en este campo.

En 1970 Amin(06), encontró en el mucilago de *Opuntia ficus-indica* M, un polisacárido neutro que consistía de un 37.5 % arabinosa, 35.7 % galactosa, 15.5 % de xilosa y 11.5 % de ramnosa. Los estudios de metilación completa con dimetil sulfato e hidroxido de sodio, y después con yoduro de metilo y óxido de plata en N,N, dimetilformamida, dieron un producto con $[\alpha]_D^{16} - 133^\circ$ (c 0.1, cloroformo), el cual por hidrólisis y cromatografía en papel, mostró dos principales componentes, 2,3,5-tri-O-metil-arabinosa (indicando que la una unidad arabinofuranosil se encuentra como el grupo terminal no reductor) y un 2,3,6-tri-O-metilgalactosa [indicando un enlace galactopiranosilo(1 → 4)], y dos menores componentes que se identificaron como 2,4-di-O-metilgalactosa (indicando una estructura ramificada y 3,4-di-O-metilramnosa [indicando un enlace ramnopiranosilo(1 → 2)]. El ensayo del grupo terminal por oxidación con periodato mostró que la molécula de mucilago está compuesta por ~55 residuos de azúcar.

En el estudio del mucilago de *Opuntia ficus-indica* cv "Burbank's Spineless" efectuado por Berit(116), utilizando cromatografía de intercambio iónico, se aisló una fracción neutra y dos fracciones ácidas. Cada fracción fue separada en dos partes por filtración en gel. La fracción neutra contenía ácido galacturónico, arabinosa, ramnosa, galactosa y xilosa en diferentes proporciones. La composición de las cuatro fracciones ácidas indica un polisacárido del tipo pectina. Si bien al igual que en el trabajo de Amin se encontró que el grupo terminal no reductor fue arabinofuranosa, las relaciones de los azúcares fueron diferentes y se señala el hecho de la presencia del ácido urónico.

En otro estudio efectuado por Karawya en 1980 (78) se trató de estudiar por separado el mucilago y la pectina, hecho de relevancia, ya que en estudios anteriores no se reporta un método definido para este objetivo en plantas que presentan los dos componentes. Por el método propuesto los autores aseguran que se puede obtener cada componente en forma casi pura. El mucilago se extrae con agua fría acidulada, mientras que la pectina fue aislada del líquido residual por el tratamiento sucesivo siguiente: agua caliente a 90°C (2 horas), solución de oxalato de amonio (1 hora) y agua acidulada (2 horas). En cada caso el polisacárido fue precipitado empleando etanol.

La composición química de los hidrolizados del mucilago y la pectina, fue analizada en forma cualitativa por cromatografía en capa fina (TLC) y en forma cuantitativa por cromatografía en fase líquido-gas (GLC). Los resultados son resumidos en las siguientes tablas:

Porcentaje de los diferentes azúcares en mucilago y pectina:

	A. Urónico	Arabinosa	Xilosa	Galactosa	Glucosa
<i>Mucilago:</i>					
CEM	9.6 %	32.1	11	13.4	33.5
HEM	13.5 %	14.9	12.1	22.5	36.9
<i>Pectina:</i>					
WEP					
AmEP	72.1%	5.5	4.3	6.4	11.7
AcEP					

CEM= Extracto en frío del mucilago

HEM= Extracto en caliente del mucilago

WEP=Extracción acuosa de pectina

AmEP=Extracción con oxalato de amonio de pectina

AcEP=Extracción en ácido de pectina.

Diferencias entre el mucilago y pectina:

	Mucilago			Pectina				
	%	%metoxilo	%urónico	%	%metoxilo	%urónico	%acetilo	
CEM	9	0.3	7.7	WEP	20	1.5	11.6	0.008
				AmEP	16	0.3	3.8	0.01
HEM	4	0.3	3.8	AcEP	10	0.9	7.7	0.003

Estos resultados son similares, desde el punto de vista cualitativo, a los obtenidos en otro estudio por Khalifa en su análisis de la pectina, sin embargo este estudio tiene la ventaja de que cuantifica el porcentaje de los grupos metoxilo y acetilo, determinando que el grupo acetilo se encuentra en cantidades muy pequeñas.

Por otra parte se pudo determinar que la *Opuntia ficus-indica* contiene una cantidad alta de grupos metoxilo 7.71% en su pectina, así como de ácido urónico 77.2% (ácido galactourónico y glucourónico).

Las trazas de grupos metoxilos en el mucílago se considera que pueden provenir de la disolución de cantidades mínimas de pectina durante el proceso de extracción.

Otro análisis del mucílago efectuado en Egipto por El-Moghazy (42) en 1982 muestra diferencias con los trabajos anteriores, ya que reporta haber encontrado: D-glucosa, D-galactosa, L-arabinosa, D-xilosa, L-ramnosa y ácidos D-galactourónico y D-glucourónico.

Por otra parte y con la finalidad de clarificar los resultados en ocasiones contradictorios de los estudios arriba citados, Trachtenberg y Mayer(159) efectuaron un estudio histoquímico de microscopía electrónica y luminosa sobre muestras de tejido congelado, que demuestran que el mucílago se localiza únicamente en células especializadas y que en su estado final no contienen proteínas, pero si una gran cantidad de polisacaridos ácidos. Del análisis se concluyó que el mucílago se encuentra como sus sales de calcio y magnesio.

Debido a que los extractos etanólicos y acuosos son frecuentemente contaminados con proteínas citoplasmáticas de pared celular(162), los extractos originales fueron tratados con TCA, esto permite la precipitación de las proteínas contaminantes y da una fracción pura de mucílago. Su análisis elemental mostró que está compuesto de: carbono 42.57 %, hidrógeno 6.31 %, oxígeno 51.2 %, calcio 0.002, magnesio 0.013 %.

Del análisis elemental se deduce una fórmula molecular del tipo $(CH_2 O)_n$ unida a calcio y magnesio, y como era de esperarse no se encontró nitrógeno ni azufre, lo cual indica la ausencia de proteínas y aminoácidos.

La determinación del coeficiente de difusión y sedimentación por medio de centrifugación analítica mostró un pico agudo, indicando una preparación pura.

El peso molecular fue determinado por ultracentrifugación, el mucílago se movió como un pico agudo. Las características físicas encontradas fueron: S_{20}^w , 21.3 S y D_{20}^w , $0.31 \cdot 10^{-7}$ cm²/seg. El peso molecular fue calculado como $4.3 \cdot 10^6$ asumiendo un volumen específico de 0.6. El peso molecular no cambia en presencia de iones Na⁺ y Mg²⁺ o con cambios en la naturaleza del buffer, lo cual indica que no se forman enlaces intramoleculares en la presencia de iones magnesio.

La cromatografía en capa fina del mucílago hidrolizado en forma ácida, revela únicamente los cuatro azúcares neutros: arabinosa, galactosa, ramnosa y

xilosa. Ácidos urónicos no fueron detectados, probablemente debido a su descarboxilización durante la hidrólisis. Los azúcares neutros encontrados fueron determinados por cromatografía de gases, encontrándose en la siguiente relación: arabinosa 24.6 %, galactosa 46.1 %, ramnosa 13.1 % y xilosa 22.2%.

El contenido de ácido urónico se determinó por tres métodos; El método del carbazol, el cual dio un contenido de 19.5 % de ácido urónico, el método del m-hidroxidifenilo con 12.7 % y titulación directa con 46 nmol de carboxilo/mg de azúcar ó 10.7 %.

El mucilago purificado tuvo un pK de 4.8 que fue determinado por titulación. El método del carbazol es sabido que sobre estima el ácido urónico, debido a que también da color con las hexosas y pentosas.

Por otra parte, plantas de *Opuntia ficus-indica* que fueron alimentadas con [³H] myo-inositol, que es un conocido precursor específico para pectinas, fueron sus mucilagos posteriormente: aislados, purificados, hidrolizados y analizados por cromatografía en capa fina (TLC). Las manchas de las TLC fueron removidas y contadas con un contador de centelleo líquido. El resultado muestra que 67.3% de la radioactividad fue encontrada en la arabinosa, 6.7% en la galactosa, 5.4% en ramnosa y 20.4 % en xilosa. Esto indica que la mayor parte del ácido urónico se encuentra presente como ácido galactourónico, ya que este produce arabinosa por descarboxilación.

En resumen la *Opuntia ficus-indica* posee un polisacárido de alto peso molecular, el cual no se encuentra asociado con proteínas y sus propiedades no indican claramente su función fisiológica en la planta(161), ya que su capacidad para retener agua con una humedad relativa del 100% fue menor a la esperada, 75.5% (162). También se ha determinado que el mucilago es específicamente y exclusivamente producido en el aparato de Golgi(160) y que el precursor más importante parece ser la xilosa, la razón de lo cual, no está establecida aún.

Como ejemplo de la determinación y aislamiento de otros componentes de interés en *Opuntia ficus-indica* (en cladodios, flores o fruto) mencionaremos los siguientes:

Azúcares del fruto

En el estudio efectuado por Shalaby (146) se determinó que los azúcares contenidos en los frutos de *Opuntia ficus-indica* son: sacarosa, glucosa fructosa y ramnosa. El estudio cromatográfico de los azúcares combinados reveló la presencia de: galactosa, xilosa, arabinosa y ramnosa. En este mismo estudio se reporta que en el jugo del fruto resultaron positivas las pruebas preliminares para esteroides, flavonoides, glucosidos y/o carbohidratos y azúcares reductores.

En un estudio posterior efectuado (42) el método de Jeremyn y Isherwood fue aplicado para separar los azúcares de la fruta. Los residuos obtenidos fueron divididos en dos porciones. La primera fue disuelta en isopropanol (10%). La segunda fue hidrolizada con ácido sulfúrico 1N, neutralizada, filtrada, secada y disuelta en isopropanol (10%). Ambas soluciones se utilizaron para cromatografía; para realizarla se emplearon:

- a) Papel cromatográfico: hojas de papel Whatman #3 en N-butanol: ácido acético glacial: Agua (12-3-5).
- b) TLC: Bidimensional: sílica gel y (I) cloroformo: metanol: agua(64-36-8), (II)acetato de etilo: metanol: ácido acético: agua (60-15-15-10).
- c) Unidimensional celulosa, acetato de etilo: piridina:agua: N-butanol: ácido acético glacial (25-20-20-50-10).

Los cromatogramas fueron rociados con reactivo de fitalato ácido de anilina. Los cromatogramas revelaron la presencia de D-glucosa, D-galactosa, L-arabinosa, fructosa, ácido D-glucourónico y ácido D galactourónico antes de la hidrólisis y D-xilosa, L-ramnosa y L-rircosa (L-rhyrcose) despues de la hidrólisis.

ALCALOIDES DE FENETILAMINA

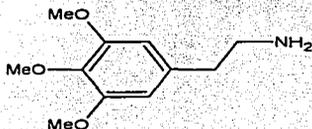
20 Kg de hojas(cladodios) cortadas en pequeños cubos(42) fueron extraídas con etanol al 90% a temperatura ambiente. El extracto fue concentrado bajo vacío.

El licor madre fue desgrasado con éter de petróleo, alcalinizado con amoniaco(pH=8) y extraído con cloroformo. El extracto fue agitado con una solución al 50% de hidróxido de potasio para separar la parte fenólica, que fue neutralizada y nuevamente extraída con cloroformo. Ambas soluciones de cloroformo fueron analizadas por TLC sobre silica gel GF254 mezclada con 0.1 N hidróxido de sodio y desarrollada con cloroformo:metanol (9:1) ó silica gel neutra GF254 y desarrollada con benceno: eter de petróleo: acetona: amoniaco(35:5:335:1).

Los cromatogramas secos fueron rociados con reactivo de Ehrlich (1g p-dimetilamino-benzaldehido disuelto en una mezcla de etanol ácido clorhídrico (95:5) la fracción no fenólica se encontró que contenía una mancha mayor y otras tres más tenues. La fracción fenólica mostró la presencia de dos manchas bien definidas y otras cuatro muy tenues. Ambas fracciones fueron cromatografiadas sobre silica gel y eluidas con cloroformo y metanol, el cual se fue incrementando su porcentaje.

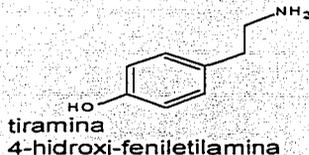
El componente mayor no fenólico fue eluido con cloroformo(alcaloide A) y los otros componentes fenólicos fueron eluidos con 30% y 50% de metanol en cloroformo (Alcaloides B y C) respectivamente. Posteriormente se obtuvieron compuestos cristalinos y sus clorhidratos fueron preparados.

Alcaloide A HCl: Identificado como Mescalina HCl, p.f. 184°C.Cocromatografía, m.m.p. y sobreposición de I.R. con auténtica muestra, verificaron su identidad.

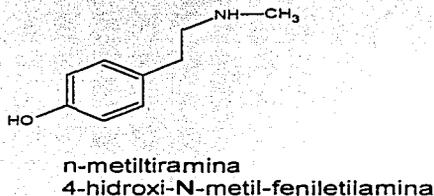


mescalina
(3,4,5,-trimetoxi-feniletilamina)

Alcaloide B HCl: Se identificó como clorhidrato de tiramina, p.f. 268-9°C, Cocromatografía, m.m.p. y sobreposición de I.R., verificaron su identidad.



Alcaloide C HCl: Se identificó como clorhidrato de N-metiltiramina, p.f. 234-5°C, Cocromatografía, m.m.p. y sobreposición de I.R., verificaron su identidad.



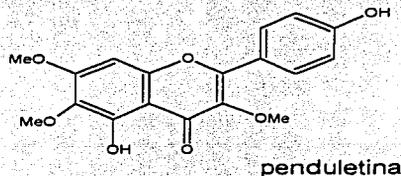
FLAVONOIDES

200 g de pétalos de flores secas fueron extraídas con etanol al 70% y el extracto fue concentrado bajo presión reducida. El licor acuoso madre fue extraído con éter etílico seguido de acetato de etilo. El extracto etéreo fue cromatografiado sobre una columna de sílica gel y eluido con éter dietílico y cloroformo al cual se le fue adicionando metanol.

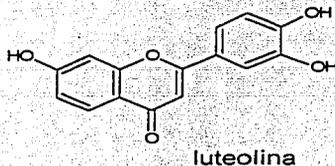
La fracción eluida con éter se encontró que contenía el flavonoide A. Dos compuestos flavonoides (B y C) fueron eluidos con Cloroformo: Metanol (7:3) y separados por TLC celulosa, N-butanol: ácido acético: agua (4:1:2). Un cuarto flavonoide fue eluido con cloroformo: metanol (1-1). Los compuestos

del extracto de acetato de etilo fueron separados por TLC, celulosa, 10 % de ácido acético. Una banda con un R_f de 0.75 y otra con 0.16 fueron raspadas y eluidas con acetona: etanol (1:9) siendo los flavonoides E y F respectivamente. Un tercer flavonoide con un R_f de 0.45 fue obtenido en una menor cantidad para permitir efectuar algún estudio.

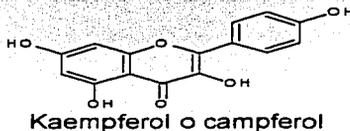
Flavonoide A: Identificado como penduletina, p.f. 215°C (m.m.p., UV $\lambda_{\text{Max}}^{\text{MeOH}}$ (nm): 340, 270;+NaOMe,+45.



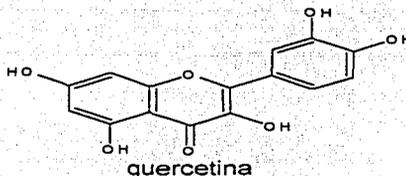
Flavonoide B: Identificado como luteolina, p.f. 334-5°C (m.m.p., y cocromatografía) UV $\lambda_{\text{Max}}^{\text{MeOH}}$ (nm): 345, 292(sh) 265;+NaOMe,+50.



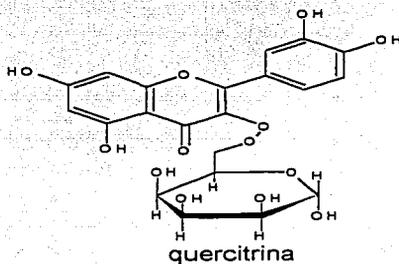
Flavonoide C: Identificado como campferol, p.f. 277-80°C (m.m.p., y cocromatografía) UV $\lambda_{\text{Max}}^{\text{MeOH}}$ (nm): 365, 295(sh) 278;+NaOMe,+55.



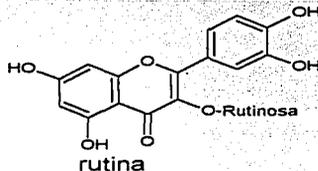
Flavonoide D: Identificado como quercetina, p.f. 370°C (m.m.p., y cocromatografía) UV $\lambda_{\text{Max}}^{\text{MeOH}}$ (nm): 370,303(sh), 270(sh), 265;+NaOMe, 330,244(dec).



Flavonoide E: Identificado como quercitrina, p.f. 189-90°C UV $\lambda_{\text{Max}}^{\text{MeOH}}$ (nm): 349,300, 265(sh), 255;+NaOMe, 45, +24 NaOAc/H₃BO₃, +20;XAlCl₃, 70; +AlCl₃ HCl + 50. La hidrólisis ácida produce quercetin y rhamnosa. (m.m.p., y cocromatografía) confirman su identidad.

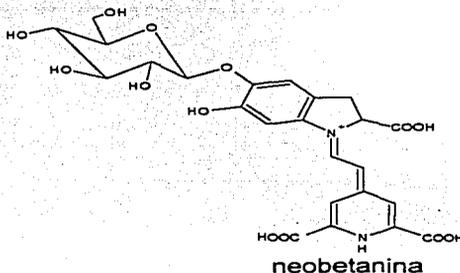
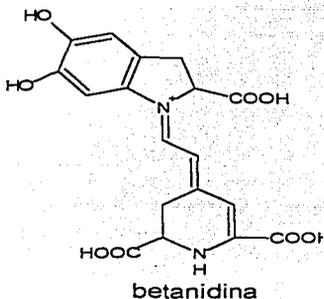


Flavonoide F: Identificado como rutina, p.f. 188-9°C UV $\lambda_{\text{Max}}^{\text{MeOH}}$ (nm): 360,300(sh +NaOMe, +50;+NaOAc 45, +33 NaOAc/H3BO3, +27; +AlCl3, 70; +AlCl3, + 73; +AlCl3/HCl, +42. La hidrólisis ácida controlada produce en los primeros 20 minutos glucosa y quercitrina y posteriormente quercetina y rhamnosa. (m.m.p., y cocromatografía) confirman su identidad.



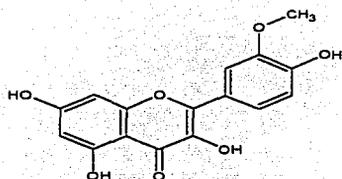
PIGMENTOS DE LOS FRUTOS

Las plantas que pertenecen al orden de carryophyllales "*Centrospermales*" elaboran pigmentos nitrogenados de color amarillo o rojo-violeta que facilmente son diferenciables de los compuestos flavonoides. Los primeros estudios se efectuaron sobre los pigmentos rojo-violeta conocidos como betacianinas por su facilidad de aislarlos y a su mayor resistencia a los reactivos químicos, se piensa que las betacianinas posiblemente deriven de la betanidina o de su diastereoisomero isobetanidina. El aglicón de la betanina llamado betanidina tiene la siguiente estructura:

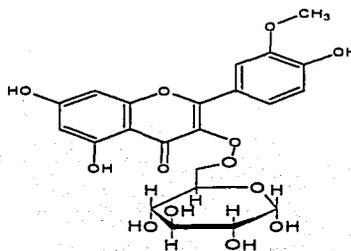


Los pigmentos amarillos primero fueron conocidos como flavocianinas y luego se les ha llamado betaxantinas(121), su estudio ha sido mas difícil debido a que son muy sencibles a los rectivos químicos y facilmente se descomponen.

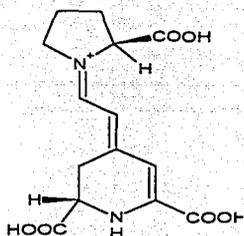
Como ejemplo se tiene la isoramnetina, la cual se ha determinado que se encuentra unida a un azúcar en la posición 3(10). Otros compuesto del tipo betaxantina son la indicaxantina y la opuntiaxantina, tambien encontradas en *Opuntia ficus-indica* (55,123).



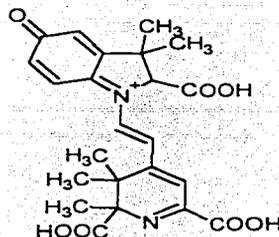
Isoramnetina
(betaxantina)



isoramnetina
como glucosido



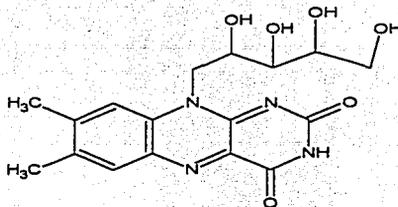
indicaxantina



opuntiaxantina

FLAVINAS

Son compuestos muy comunes en los organismos vivos, la riboflavina y otros dos de sus derivados son los más comunes. Su función fisiológica específica es desconocida pero se considera que puede estar involucrada como receptor de luz azul y ultravioleta-A. La riboflavina es un colorante amarillo estrechamente relacionado con la vitamina B2 y es usada como colorante para alimentos.



riboflavina

ACIDOS ORGANICOS

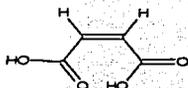
50 g de los frutos sin cascara y sin semillas fueron extraídos con etanol al 90%. El extracto fue concentrado para su investigación cromatográfica:

- Cromatografía en papel se realizó con: hojas de papel Whatman #1 y (I) N-butanol: ácido fórmico: agua (4:1:5), (II) N-propanol: amoníaco 1 M(3:2).
- TLC: silica gel (III) se empleó como adsorbente y como eluyente N-butanol: etanol 96%, solución acuosa de hidróxido de amonio al 1 % (16:1:3), (IV) benceno: metanol: ácido acético (79:14:7).

El papel y la placa fueron rociados con reactivo de azul de bromotimol (0.04 mg en 100 ml de 0.01 M NaOH). Para la detección directa del ácido ascórbico se empleó nitrato de plata amoniacal y para los ácidos tricarbóxicos fue utilizado anhídrido acético-piridina.

A través de co-cromatogramas de los sistemas arriba mencionados con muestras auténticas de muestras de ácidos orgánicos, los siguientes ácidos fueron identificados como manchas amarillas con fondo azul: maleico, malónico, málico, succínico, tartárico, oxálico y ascórbico (Con valores de Rf para el sistema (II) de : 0.45, 0.63, 0.41, 0.51, 0.36, 0.23 y 0.58.

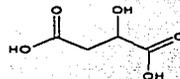
ácido maleico



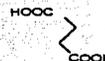
ácido malónico



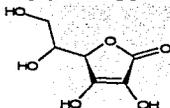
ácido málico



ácido succínico



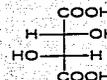
ácido ascórbico



ácido oxálico



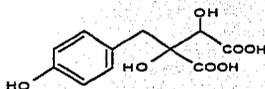
ácido tartárico



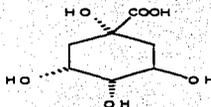
Estimación del ácido ascórbico. El método aplicado esta basado sobre una estimación colorimétrica de un complejo formado sobre el papel cromatográfico. El complejo es obtenido al rociar el cromatograma con 2,2-bipiridil seguido por cloruro férrico. El contenido de ácido ascórbico se calculó de una curva estandar y se encontró que por cada 100 g de fruta se obtuvieron 94 mg de ácido ascórbico.

Entre otros ácidos reportados para *Opuntia ficus-indica* tenemos:

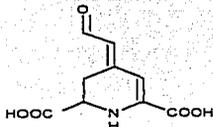
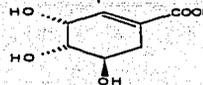
Ácido piscídico



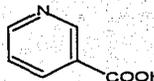
ácido quínico



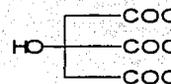
ácido siquímico



ácido betalámico



niacina
Ácido nicotínico



ácido cítrico

Además de los compuestos ya señalados se han reportado otros que a continuación enlistamos, señalando la parte de la planta de donde se aisló, su actividad reportada, la cantidad en partes por millón detectada (cuando se tiene el dato) y las referencias donde se mencionan:

Los números que aparecen en la actividad reportada, corresponden al número asignado a la propiedad que aparece en el cuadro al final de listado de compuestos.

* Se debe entender por "hojas": los cladodios, artículos, raquetas o paletas del cactus.

COMPUESTO O ELEMENTO (Actividades reportadas)	HOJAS*	FLORES	FRUTOS	SÉMILLAS	REFERENCIAS
ACIDO α -AMINO BUTIRICO			1.1		153
ACIDO ASCORBICO (26,8,1,15,16,27,4,21,18,17 y otras muchas)			31-1,690		71, 93,25,42,111,142,148
ACIDO ASPARTICO Neuroexcitante y antimorfinico	8,315			15,900	156,158
ACIDO BETALAMICO	+				153
ACIDO CITRICO (8,16,12,5,19 v otras)			475-4,560		146,171,142,105,168,158
ACIDO D- GALACTURONICO	+				78,116,42
ACIDO D-GLUCURONICO No se reporta actividad					78,42
ACIDO DEHIDROASCORBICO No se reporta actividad			30		40
ACIDO ESTEARICO (23)				3,130 10,555	43,171,119
ACIDO GLUTAMICO (14 v otras)	16,000			37,500	153,156,158
ACIDO LINOLEICO (15,14,6,23 v otras)				39,640 133,590	171,119,101
ACIDO MALEICO			180-1700		42,158
ACIDO MALICO (8,5,19,antiséptico v otras)					171,105,42,158
ACIDO MALONICO (irritante)			+		105,42,158

COMPUESTO O ELEMENTO (Actividades reportadas)	HOJAS*	FLORES	FRUTOS	SEMILLAS	REFERENCIAS
ACIDO OLEICO (15,4,23 v otros no favorables)				4,750 16,015	43,171,119,101,
ACIDO OXALICO (anticeptico,irritante, pesticida)			+		146,171,42
ACIDO PALMITICO (23 v otras)				6,480 21,840	43,171,119,101
ACIDO PISCIDICO No se reporta actividad	+				94
ACIDO QUINICO			150-1,400		171
ACIDO SHIKIMICO (26,6,12,5,6 v otros)			25-220		40
ACIDO SUCCINICO (6, colorante e irritante)			+		105,42,171
ACIDO TARTARICO (12, secuestrante,irritante,acidific ante)			+		146,105,42
ACIDO URONICO No se reporta actividad	+				42,78
AGUA	952,000		814,000 86,400	53,000 136,000	131,93,171,169,111
ALANTINA (12 v 6)	7,180		82-96	8,480	134,153,156,158
Alfa-CRIPTOXANTINA			0.042		75
L-ARABINOSA No se reporta actividad	+				146, 78,42
ARGININA (1,12, 17 v otras)	4,955		21-37	27,100	153
ASPARAGINA	+		35-44		153,156,158
AZUCARES			56,000 560,000		131,171,142,42,
BETA-CAROTENO 6,12,16,4,5 v otras muchas	0.3		0.08-0.09		171,142,25,168,75
BETA-SITOSTEROL 8,15,17,14,5,21,6 v otras muchas		400	4,400		08,43,31
BETANINA Pigmento			200-300		122,49,55
CALCIO (Antiosteoporosis y otras)	560		180 3,065		146,131,93,171,142,168,111, 101
CAMFESTEROL				780	43
CARBOHIDRATOS	118,600		56,000 892,000	482,000 558,000	131,93,171,169,41
CARNOSINA	+		4-6.4		153
CAROTENO (PROVITAMINA A)			6		148,157
CENIZAS	235,000		3,000 27,000	31,700 241,000	131,93,171,142,169,168

COMPUESTO O ELEMENTO (Actividades reportadas)	HOJAS*	FLORES	FRUTOS	SEMILLAS	REFERENCIAS
CIS-2-HEXEN-1-OL (Z)-2-HEXEN-1-OL			+		11
CISTEINA (12,5,4,6,18 v otras)			+	5,740	156,158
CITRULINA	+		6-29		153
CLORUROS	+		+		146,131
COBRE (1,15,23 v otras)			6	3,4	148,101
CELULOSA	+		13,000	466,000	131,34,41
DIETILETER A. PISCIDICO No se reporta actividad		+			40
D-GALACTOSA Endulzante	+				146, 78,116,42
D-GLUCOSA (Antihepatotóxico v otras)			50 - 480		146, 171, 142, 78, 42,16
D-XILOSA	+		+	+	78,116,42
ESTIGMASTEROL (15,21,6,23 v otras)				300	43
(E,Z)-2,6-NONEDIEN-1-OL			+		11
FENILALANINA (Antidepresivo,27 v otras)	4,250		22-24	8,255	134,167,153,158
FIBRA (1,2,4,5,6,19,23, v otras)	89,400		11,000 59,000	111,000 524,000	93,171,142,169,168,111, 148
FOSFORO (Antiosteoporosis v otras)	243		320 1,985	1,605	146,131,142,111,148,101
FRUCTOSA (18,1,19 v otras)			4,500 44,100		146,171,142
GLICINA (14,4,6, antiácido, antigástrico y otras importantes)	4,745		8,6-16,2	14,200	153,156,158
GLUTAMINA	+		175-574		153
GRASA	24,800		4,000 29,400	54,000 182,000	131,93,43,171,142,169,168, 148
HIERRO Antianémico v antimenorréico			0,6 -65	100	71,146,93,171,142,111,148,101
HISTIDINA Antimigrania v otras	2,555		32-53	4,550	134,167,153,156,158
INDICAXANTINA Pigmento			200 -300		124,125, 49,55
ISOBETANINA Pigmento			+		122,55
ISOLEUCINA 13 v antiencéfalopático	4,140		22-39	6,775	167,153

COMPUESTO O ELEMENTO	HOJAS	FLORES	FRUTOS	SEMILLAS	REFERENCIAS
ISORAMNETINA-GLUCOSIDO No se reporta actividad		+			09,10
KAEMPFEROL(CAMFEROL) (8,6,15,16,12,5,21,17 y otras muchas)		+			42
L-ARABINOSA					146
LEUCINA (13 v Anticefalopático)			20-21	12,800	167,153
LINOLEOILDIOLEINA No se reporta actividad				+	119
LISINA (13. antialcaloide. antiherpes)	6,005		16.5-18.3	6,275	134,167,153
L-RAMNOSA No se reporta actividad					146
LUTEINA (12,5,6. v otras)	0.107				75
LUTEOLINA 8,15,16,12,5,21,17v otras muchas		+			42
MAGNESIO (1,15,20,23 v otras muchas)	1,420		280	790	146,131,171,142,148,101
MANGANESO			1.7-2.9		71
MESCALINA (3,4,5-Trimetoxi-PEA) Neurotóxico. alucinogeno. etc	400	+			42
2-METILBUTANOATO			+		11
METILESTER DE A. PISCIDICO No se reporta actividad		+			40
METIONINA (12,27,13 v otras)	1,890		32-77	4,830	134,167,153
MONOETILETER A. PISCIDICO No se reporta actividad		+			40
NEOBETANINA No se reporta actividad	+		+		02,154
NIACINA (10,27,6,24,25, y otros)	4.6		3 - 27		93,171,111
NICOTINAMIDA(VITAMINA B3) (6 v depresivo)			4		148
OPUNTIAXANTINA No se reporta actividad			+		120
OXALATO DE CALCIO (19 v otras no favorables)			+		49
PALMITOILDILINOLEIN No se reporta actividas				+	119
PECTINA 8,1,7,16,2,5,9,4,6,23,24,11,otras	+		+		142,78,41
PENDULETIN (Antipolio.21)		+			42

COMPUESTO O ELEMENTO	HÓJAS	FLORES	FRUTOS	SEMILLAS	REFERENCIAS
POTASIO (Antiaritmico, antidepresivo y otras)	2,600		700 6,615	1,720	146,131,93,171,142,148,101
PROLINA No se reporta actividad	3,995		883-1,769	10,500	153
PROTEINA	110,300		11,000 73,500	121,000 175,300	131,93,171,142,169,111,41
QUERCETINA (26,8,10,1,15,16,12,14,5,4,21,6,2 0,23, y otras muchas)		+			42
QUERCITRINA 8,15,16,12,5,4,21,6,17,24 y otras)		+			42
RHAMNOSA No se reporta actividad	+				146,116
RIBOFLAVINA (VITAMINA B2) (6, antimuerania y otras)	0.6		0.2 - 2.2		93,171,111
RUTINA (8,6,10,28,15,12,5,4,21,23 y otros)		+			42
SERINA (e)	3,830		130-217	7,665	134,153,156,158
SITOSTEROL				350	43
SODIO (Hipertensivo)	90		10	714	146,131,93,171,142,148,101,
SUCROSE(SACAROSA) (12,23 y otras importantes)			+		146,16
SULFATOS	+		+		146,131
TAURINA	+		323-572		153
TIAMINA(VITAMINA B1) (26,18,27 y otras importantes)	0.1		0.1 - 1.3		93,171,111,148
TIRAMINA (Neurotoxico,pesticida,hipertensivo)					42
TIROSINA (27,4,e)	3,220			6,590	42
TOCOFEROL (26,27,10,15,12,5,6,23,24)	2.5				
TRANS-2-HEXEN-1-OL (E)-2-HEXEN-1-OL			+		11
TRANS-3-HEXEN-1-OL (E)-3-HEXEN-1-OL			+		11
TRANS-2-NONEN-1-OL (E)-2-NONEN-1-OL			+		11
TREONINA (12,4,13)	3,845		11.6-15.1	7,330	134,167,153,156,158

COMPUESTO O ELEMENTO (Actividades reportadas)	HOJAS*	FLORES	FRUTOS	SEMILLAS	REFERENCIAS
TRIPTOFANO (26,13,27,22,13,24,20)	+		9-17.5	1,665	134,167,153,156,158,
VALINA (13)	5,485		33-50	10,500	134,167,153,156,158
XILOSA (1)	+				146
ZINC (1,2,14,22,4,21,20 v otras)			0.3-04	15	71,171,101

Actividad atribuida por tipo de compuesto(40):

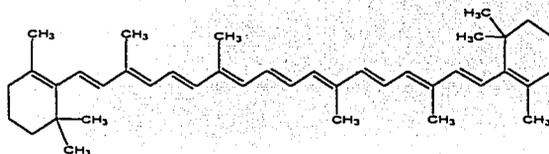
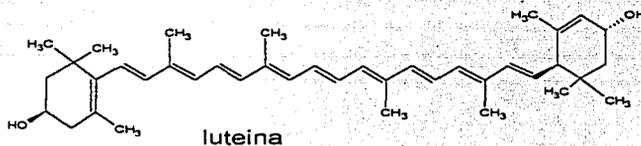
1-Antidiabético
2-Antiobesidad
3-Antihiperglusémico
4-Antiúlceras
5-Antitumoral
6-Anticancer
7-Antidiarreico
8-Antibacterial
9-Antitusivo
10-Antidermático
11-Peristáltico
12-Antioxidante
13-Aminoácido esencial
14-Antiprostático
15-Antiinflamatorio
16-Antimutagénico
17-Diurético
18-Antialcohol
19-Laxante
20-Insulinogénico
21-Antiviral
22-Antireumático
23-Hipocolesterolémico
24-Hipoglicémico
25-Hipolipidémico

Otros aspectos de interes:

El análisis de ácido fórbico (105) en *Opuntia ficus-indica* resulto negativo. En cuanto al contenido de proteína en un estudio comparativo con 6 tipos diferentes de nopal cultivados en el país, se encontró que *Opuntia ficus-indica* fue la especie con mayor contenido de proteínas con un 0.25 % B.S. y 8.20 % B.S de grasas, Univ. Guanajuato (1980) estos resultados contrastan con los reportados por Teles (156) el cual reporta los siguientes valores: El contenido de proteína del nopal en base seca fue del 11.03% y en base húmeda fue del 4.82%. En cuanto al valor biológico de la proteína del nopal con respecto a la proteína del huevo fue del 72.60 % (156). En cuanto al contenido energético de carbohidratos y grasas (50) el nopal proporciona 3,103.1 Kcalorias/Kg B.S., en tanto que el fruto tiene un aporte de 44 Kcalorias/100 g, lo cual es un aporte energético moderado(2% del aporte energético diario), sin embargo contribuye a reforzar el aporte de vitaminas y minerales de la alimentación diaria (148).

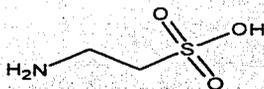
Se determino que el contenido de pentosas es de 0.98 % W/W en el fruto, en tanto que el contenido de hexosas fue de 8.85 % W/W (42).

Los principales carotenoides presentes en el nopal fueron: β -caroteno, luteina y α -criptoxantina (75)



β -caroteno

De particular relevancia es el hecho de haber encontrado en *Opuntia ficus-indica* cantidades apreciables de taurina(151) la cual se había considerado que únicamente se encontraba en algas, hongos y el endosperma de algunas plantas superiores. Por otra parte, también se encontró que es una buena fuente de prolina. La carnosina también se reporta, al igual que la taurina como un componente inusual de la mayoría de las plantas y en particular de los frutos.



taurina

En cuanto al aporte diario necesario en la alimentación humana (148,155) se refiere que 100 gr de fruta contribuye al:

- 27 % de vitamina C
- 24 % de cobre.
- 7- 8 % de magnesio
- 6-11 % de hierro
- 6 % de calcio

Según Gurrieri (71) el contenido de azúcares en la tuna (principalmente glucosa y fructosa) son muy altos (11-12%), al igual que el contenido de ácido ascórbico(31-38 mg/100gr). Entre los metales de transición se tiene un alto contenido de manganeso II (1.7-2.9 ppm) y una buena cantidad de hierro III (0.6-1.2 ppm) y zinc II con (0.3-0.4 ppm)

X - USOS DEL NOPAL

Como hemos mencionado existe una relación milenaria entre el nopal y los habitantes de nuestro país, entre otras cosas es parte fundamental de nuestra alimentación, lo encontramos en muchos aspectos de la vida del México prehispánico y aun en nuestros días, continúa siendo de gran importancia para nuestro pueblo.

Por otra parte en la actualidad el nopal ha despertado el interés de investigadores de otras naciones que han visto en esta planta una gran cantidad de ventajas en su cultivo y aprovechamiento, sobre todo en países con zonas áridas. Citemos como ejemplo el caso de Israel, en donde al igual que otras cactáceas del mundo, la *opuntia ficus-indica* está siendo promovida tanto en su desarrollo como en su estudio. El enfoque actual que los ingenieros agrónomos plantean para el desarrollo de las zonas áridas es otro, diferente al que por décadas prevaleció, en vez de tratar de obtener cultivos de otras regiones en los desiertos, están buscando aprovechar los recursos que en las zonas áridas se producen naturalmente y en forma rentable.

EL NOPAL COMO PRODUCTO PARA EL CONSUMO HUMANO

No es de extrañar que siendo el nopal originario de nuestro país, el lugar donde se ha consumido durante milenios y en la actualidad el primer productor y consumidor en el mundo, se tenga también la mayor diversidad de formas de ser preparado y consumido.

A continuación enumeramos una lista de formas en las cuales se prepara el nopal y la tuna para consumo humano en México, las cuales pueden ser consultadas en el Recetario del Nopal de Milpa Alta, D.F. y Colima donde se recopilan 112 recetas, otra fuente de información culinaria para el nopal está en el número 48 de la colección Cocina Indígena y Popular, de la Dirección General de Culturas Populares del Conaculta:

SOPAS: sopa de nopalitos tolteca, sopa de nopalitos juliana, sopa de nopalitos con camarón, spaghetti de nopalitos.

ENSALADAS: ensalada de nopalitos a la mexicana, ensalada de nopalitos, ensalada de nopales compuestos, ensalada mixta de nopalitos.

ANTOJITOS: taquitos de nopales, tamales de nopalitos, quesadillas de nopalitos

GUISADOS: chilaxtle, budín de nopalitos, nopalitos rellenos, nopalitos al pastor, nopalitos con longaniza, nopalitos navegantes, nopalitos con garbanzos, nopalitos con chile, nopalitos a la pastorcita, nopalitos en escabeche, nopalitos con huevo, nopalitos con huevo y charales, nopales asados, nopalitos a la mexicana, nopalitos con romeritos, nopalitos navegantes, nopalitos con cerdo, nopalitos envueltos, nopalitos con picadillo, nopalitos con chile poblano, nopales en escabeche, nopales a la pilarica, nopalitos en mole, nopalitos con cerdo, nopalitos con fritura de sesos y nopalitos con frijoles.

POSTRES: nopalitos cristalizados, nopalitos en dulce, mermelada de tuna, miel de tuna, melcocha de tuna, queso de tuna.

AGUAS: agua fresca de nopal, jugo de tuna.

BEBIDAS ALCOHOLICAS: colonche. (del jugo de tuna). Ver producción de alcohol.

USOS MEDICINALES

Durante muchos años el nopal ha sido utilizado en nuestro país como una planta medicinal para diferentes aplicaciones, solo por mencionar algunas citemos las siguientes:

MEDICINA TRADICIONAL

- Las hojas asadas son abiertas y aplicadas en casos de: reumatismo, síntomas asmáticos, problemas del hígado y tumores.
- Una cataplasma es hecha de las hojas frescas y de la pulpa de la tuna, y se aplica sobre la piel para problemas de: quemaduras por sol y fuego, también se aplica para raspaduras, hemorroides, picaduras y mordidas de insectos y serpientes y en casos de lesiones menores.
- Las infusiones son utilizadas para tratar la inflamación de ojos, rabia, granos, disentería y diarrea.
- El mucílago es utilizado para bajar la fiebre y eliminar dolores de pecho de las madres, así como para manos y labios partidos.
- Un cocimiento del nopal es utilizado para los dolores de estómago y el cocimiento de la raíz se ha utilizado para el tratamiento de la gonorrea, hernia, hígado irritado, úlcera estomacal y erisipela.
- Las espinas han sido usadas para la limpieza de infecciones y las semillas para detener el flujo.

La aplicación más importante en la actualidad y difundida en México ha sido para el tratamiento de la diabetes mellitus.

ESTUDIOS CLINICOS

Algunas de las aplicaciones arriba señadas han sido respaldadas por ensayos clínicos efectuados tanto en nuestro país como en el extranjero(147), siendo la más importantes por su incidencia en México la referente al control de la diabetes mellitus del tipo II, ya que esta enfermedad es actualmente la tercera causa de muerte en el país en individuos en edad productiva, se estima que existen 5 millones de personas afectadas por esta enfermedad, lo cual, significa grandes costos en salud pública. Es por esta razón y por el hecho que los recursos destinados al sector de salud pública se han visto reducidos en los últimos años, que instituciones como el IMSS, han realizado estudios clínicos con el nopal, para ofrecer a los pacientes tratamientos alternativos de bajo costo.

Si bien la mayoría de los estudios reportados hasta hoy en la literatura médica, citan al nopal cardón (*opunia streptacantha*) como el utilizado para estas pruebas, los mismos resultados o bien muy similares se obtienen con el nopal de Castilla (*opuntia ficus-indica*), ya que ambas especies son consumidas indistintamente como verdura en el país y existen pruebas que lo demuestran (92, 61,81).

La UNAM a contribuido en forma importante al estudio del nopal en el control de la diabetes mellitus y otras aplicaciones interesantes desde el punto de vista médico por medio de trabajos de tesis (81,92,95,106,108, 132,150,166,173) que posteriormenta han servido como base para la publicación de algunos de los artículos que se reseñan en seguida.

El efecto hipoglucémico del nopal no fue afectado a lo largo del año con los cambios de estaciones, por lo cual se recomienda su uso en cualquier época del año sin disminución de su efectividad (90).

El empleo del nopal simultáneamente con clorpropamida en un paciente mostró que se mejoró marcadamente la sintomatología general del paciente, así como los niveles de glucosa e insulina en sangre(91).

El empleo del nopal en individuos sanos a los cuales se les practicó una hiperglucemia inducida, demostró que el nopal también en ellos tuvo una acción hipoglucémica (56). Los mismos efectos fueron obtenidos en conejos a los cuales se les práctico una pancreatocmía para producirles una diabetes inducida y con individuos sanos a los cuales se les practicó una hiperglucemia inducida, en ambos casos se observó un efecto hipoglucémico al suministrarles el nopal por vía oral(73)(74).

Para la obtención del efecto hipoglucémico del nopal sobre pacientes con diabetes mellitus del tipo II, fue necesario el asado de las hojas, ya que su consumo crudo no indicó tener este efecto (23,60, 132). En cuanto al tiempo del efecto hipoglucémico se obtuvo que a las dos horas siguientes de la ingesta éste se presentó marcadamente, obteniendo el máximo efecto entre las tres y cuatro horas, y este se mantuvo sin cambios hasta después de seis hora (57). Por otra parte, una correlación directa entre el consumo del nopal y su efecto hipoglucémico se estableció, obteniéndose el máximo con una ingesta de 500g.(59), el consumo posterior de una cantidad similar de nopal después de dos horas, ya no tuvo un efecto adicional (30) (58) (68). La reducción en los niveles de glucosa en pacientes diabéticos fue de un 41-46% del valor inicial observado.

El empleo del nopal deshidratado no mostró tener un efecto hipoglucémico agudo o rápido, sin embargo si demostró que mantuvo su efecto hipoglucémico(61).

En cuanto a la actividad demostrada por los productos comerciales encapsulados, el estudio reveló que estos productos tuvieron discreto beneficio en pacientes con diabetes, en cuanto a su uso en individuos sanos, no reveló una reducción en los niveles de glucosa, pero si una reducción en los niveles de triglicéridos y de colesterol(61), sin embargo la dosificación necesaria de 30 cápsulas por día los hace imprácticos para ser recomendados en el tratamiento (63)(166).

Por otra parte también se ha verificado por medio de pruebas la reducción del nivel de lípidos(29) y de colesterol por la ingesta del nopal.

En pruebas efectuadas en puercos de Guinea machos los niveles de colesterol en plasma fueron significativamente disminuidos por la inclusión de pectina de nopal en su dieta. Se redujeron en un 33% los niveles de LDL y se incremento la densidad del LDL, por otra parte los niveles de colesterol hepático libre y esterificado también fue reducido en un 40 y 85 % respectivamente, en tanto que los niveles hepáticos microsomal de la 3-hydroxi-3-metilglutaril coenzima A reductasa no fueron diferentes(48). Estos datos sugieren que el nopal puede actuar por un mecanismo que altera la homeóstasis hepática del colesterol y no por diferencias en la absorción del colesterol(46)(47).

Mas recientemente, en pruebas efectuadas con ratas alimentadas con nopal deshidratado (*Opuntia ficus indica*) tanto cocido como al natural a dos diferentes concentraciones (6 y 12%) durante un mes, se concluyó que las ratas alimentadas con la dieta del 12% tuvieron una menor ganancia de peso comparadas con las ratas alimentadas con la dieta de control o con las del 6%. El análisis del nopal cocido y al natural, mostró que algunos nutrientes fueron afectados ligeramente. El consumo de nopal no afecto los niveles de glucosa, colesterol total ni HDL. Sin embargo las ratas alimentadas con la dieta del 12 % tuvieron una reducción en los niveles de colesterol LDL, de esto se concluye que el nopal al natural tiene un beneficio potencial para individuos con hipercolesterolemia (23).

En 1993 Mulas M. cita a la *opuntia ficus-indica* por sus propiedades anti-piréticas, anti-inflamatorias y analgésicas(98).

Los extractos etanólicos de los frutos y hojas del nopal (113,114) tambien demostraron tener propiedades anti-inflamatorias, analgésicas y de protección de la mucosa gástrica de ratas a las cuales se les indujeron lesiones gastricas por HCl-EtOH.

Se ha demostrado también clinicamente que las flores de la *opuntia ficus indica* tienen propiedades diuréticas(140) y ayudan al tratamiento de los síntomas causados por los inicios de la hiperplastia prostática, sin causar los efectos colaterales asociados con los fármacos convencionales. Existen varios medicamentos en el mercado mundial que utilizan este principio, siendo uno de ellos el **Protacal** producido por Herbamed Ltd. de Israel.

En años recientes la compañía Perfec Equation Inc., del sur de California ha adquirido los derechos para manufacturar y vender el producto **HPF hangover prevention Formula (tm)**, como su nombre lo indica es una pastilla diseñada para prevenir los efectos producidos por el abuso en el consumo del alcohol. La patente señala que el principio activo del producto proviene de un extracto de las cascarras del fruto de *Opuntia ficus-indica* y contiene adicionalmente vitamina B. El precio del producto es de \$24.95USD/frasco con 2 pastillas.

Otro producto que la misma empresa tiene en el mercado con la misma base es el **Tex-OE™** el cual esta indicado principalmente para atletas y personas que se encuentran sujetas a grandes esfuerzos fisicos o estrés. La función del producto es acelerar la producción de HSPs (Heat shock proteis) las cuales tienen como función reparar las células de tejidos del organismo que hayan sufrido algun tipo de agresión, reduciendo el tiempo de respuesta de 120 min a 15 min y manteniendo su efecto por 2-3 días. Lo anterior lo explican en función del tipo de substancias(metabolitos secundarios) que las plantas del desierto tienen que producir para protegerse de las condiciones hostiles en las cuales subsisten.

Su producto se encuentra formulado de la siguiente manera: Extracto estandarizado de cascarras de *Opuntia ficus-indica* 800 IU, manitol, gelatina, fosfato tricálcico, sílica y estearato de magnesio.El precio de este producto es de \$24.95 USD/frasco de 10 capsulas.

De acuerdo a esta empresa numerosas pruebas clínicas han probado que el extracto del fruto de *Opuntia ficus-Indica* tiene la capacidad de proteger al cuerpo humano de agresiones físicas estresantes como la causada por la intoxicación alcohólica.

APLICACIONES COSMETICAS

Como se ha mencionado antes las hojas del nopal han sido utilizadas para tratamientos dermatológicos, por lo cual no es extraño que se haya utilizado también para la preparación de diversos productos cosméticos como son: shampoos, cremas, lociones, pomadas, etc.

En 1956 Brambilla (17) reporta que las hojas y frutos de *Opuntia ficus-indica* poseen propiedades eudermales y acción descongestiva, emoliente e hidratante.

Van Wessen en 1966 obtiene los derechos de la patente U.S. 3,227,616 para la elaboración de cosméticos en emulsión de extractos de cactus y describe un procedimiento para obtener un extracto seco de *Opuntia vulgaris* y la preparación de una emulsión agua en aceite, en la cual se utiliza un 2 % del extracto seco.

Más recientemente Sánchez M.L. 1998 (138) corrobora las propiedades humectantes del nopal en *opuntia rastrera*, lo cual, si consideramos que las cactáceas poseen un mucilago similar del tipo poligalacturonoide (54) nos confirma esta propiedad en *opuntia ficus-indica*. Si bien para esta aplicación ha sido más utilizada la sávida, se considera que el nopal puede ser utilizado en sustitución de aquella o conjuntamente, para preparaciones cosméticas.

Los principios activos a los cuales se le atribuyen sus propiedades cosméticas son:

Al mucilago y azúcares sus propiedades humectantes, hidratantes y emolientes.

Los ácidos le confieren propiedades antioxidantes, antisépticas, bactericidas, antiinflamatorias, etc.

Los extractos de tuna por su composición química (ricos en ácidos orgánicos y aminoácidos) también podrían ser utilizados para la preparación de shampoos y productos para aplicación capilar. En Curazao y Puerto Rico la pulpa de la tuna es utilizada como shampoo para el pelo y en el agua de enjuague como un fijador para el pelo.

PRODUCTOS PARA EL CONSUMO ANIMAL

Utilización del nopal como forraje.

Diversos estudios han sido realizados tanto en México como en el extranjero para esta aplicación particular del nopal, ya que es un forraje potencial durante las épocas críticas del año en regiones con escasa precipitación pluvial, en estos lugares el nopal se administra al ganado previa eliminación de las espinas mediante un tratamiento por quemado(51). Entre los países donde se utiliza la *Opuntia ficus-indica* como forraje tenemos: Brasil, Túnez, Sudáfrica, Chile, Sicilia, E.U., Argentina, etc.

Los estudios realizados en México (15,67) indican que las propiedades nutritivas del nopal son muy variables, dependiendo del género, especie y variedades de que se trate, además de influir la precipitación pluvial, edad y posición de los artículos en la planta.

Por otra parte los estudios de digestibilidad de los nutrientes del nopal indican que es buena y varía de acuerdo a la época del año(50). El consumo elevado del nopal por los bovinos y los ovinos les causa diarrea, timpanismo y heridas en la boca, pero es valioso como fuente de agua, permitiendo a los animales de especies menores soportar por meses la sequía y a los animales mayores hacerlo por 2 a 3 semanas.

En la Universidad de Chile, Azocar(13) concluyó de su estudio sobre *Opuntia ficus-indica* que es posible remplazar hasta un 30% de la alfalfa por el nopal, sin afectar el peso de los animales y sin reducir la producción de leche. Por otra parte la inclusión en la dieta de las cabras durante el periodo de lactancia se encontró que induce una mayor producción de leche.

El problema principal de esta utilización es que muchos campesinos del país disponen de este recurso en épocas de sequía pero sin restaurar el recurso, lo cual conlleva su agotamiento.

PRODUCCION DE ALCOHOL

Debido a que los principales componentes solubles de la tuna son principalmente; glucosa, fructosa y pequeñas cantidades de sacarosa(142), estos azúcares pueden ser fermentados para la producción de alcohol.

Tradicionalmente en Zacatecas se elabora una bebida llamada colonche por fermentación de los azúcares del jugo de tuna (107). Este producto se consume como tal, o bien, se agrega al aguamiel durante el proceso de fermentación para mejorar la calidad del pulque y aumentar el periodo de conservación del mismo.

El colonche es una bebida alcohólica que se produce y consume solamente en tiempos de cosecha pues es el jugo de tuna roja fermentada, de manera que contenga aproximadamente de 4-6 % de alcohol y del 7-9% de azúcares.

Tradicionalmente se han utilizado tunas rojas para su elaboración, principalmente la tuna cardona (*O. Striptacantha*) por su apreciado sabor, aunque también se puede utilizar la *Opuntia ficus indica* que además de ser roja, es más grande y con mayor contenido de azúcares.

Actualmente pocas personas son las que conocen el proceso de elaboración de este producto y lo conservan como una tradición, por otra parte, dependiendo de la región se tienen recetas diferentes, que en algunas ocasiones pueden diferir considerablemente(36).

Como una operación general de su elaboración se cita la siguiente:

- 1-Selección de la tuna: se puede utilizar la cardona y/o la *Opuntia ficus indica*.
- 2-Pelar las tunas: normalmente en forma manual con cuchillo.
- 3-Obtención del jugo: tradicionalmente se efectúa en forma manual desbaratando el fruto ó bien por medio de la agitación con una pala de madera.
- 4-Colado del jugo, eliminado de semillas y fibra: el jugo se cuele en un cedazo.
- 5-Hervir el jugo y dejar enfriar: hervir el jugo a fuego lento hasta que se reduzca su volumen a la mitad
- 6-Dejar reposar en un recipiente de barro en un lugar cálido para tener una fermentación espontánea.

El proceso de fermentación en campo se puede considerar como una fermentación mixta donde intervienen tanto levaduras como bacterias diversas, algunas nocivas, que provocan con frecuencia olores y sabores poco agradables.

En cuanto al tiempo de inicio del consumo del producto es variable, pues hay quienes lo inician al día siguiente del inicio de la fermentación, a los dos días, mientras esta dulce, antes de las dos semanas o bien antes de tres semanas o un mes, pues se descompone produciendo un mal olor y sabor.

Las características organolépticas del colonche son las siguientes: presenta un color rojo con tonos azulosos, que recuerdan el rosa mexicano, un poco turbio, el aroma es neto y fresco. Huele a tuna. Al "ataque" es una bebida suave, ligera, que se desarrolla bien en boca, afrutada y se percibe un poco viscosa. En la obtención de bebidas alcohólicas utilizando la tuna no se recomienda el uso de la cascara, ya que si bien cuenta con azúcares, también contiene pectinas que al ser fermentadas favorecen la aparición de metanol(17).

Se han publicado diversos estudios para la obtención de alcohol a partir de tunas, siendo el primero realizado por *Opuntia ficus-indica* el efectuado por Cabra en 1954(20).

Algunos ejemplos de este proceso son los siguientes(44): se utilizó un filtrado de pulpa de la tuna cardona, al que se le agregó como fuente de nitrógeno sulfato de amonio al 2 % y metabisulfito de potasio en concentración de 150 ppm para inhibir la flora nativa; posteriormente se ajustó el pH, procediendo a la pasteurización a 60° C durante 20 minutos. El microorganismo utilizado fue *Saccharomyces cereviceae van champagne*. La propagación de este, se efectuó en el mismo mosto y para fines de fermentación se inoculó en proporción del 70% del volumen total, incubándose durante 48 horas. Después de la incubación se filtró el mosto y se destiló obteniéndose 37 mililitros de destilado con punto de ebullición menor a 93°C, siendo equivalente a un rendimiento del 5.24 % en volumen.

Las características organolépticas del aguardiente fueron las siguientes:

Color transparente, ligeramente amarillento.

Olor al alcohol y aroma característico

Sabor ligeramente amargo.

El jugo simple y sulfitado(100 ppm SO₂) de tuna alfajayucan (*O. Amyclaea*) (12) fue inoculado con *Saccharomyces cereviceae van ellipsoideus*. La acidez del jugo se ajustó con 4.9 g de ácido cítrico por litro y posteriormente se inocula a razón de 1 g de levadura seca activa por kilogramo de mosto. En estas condiciones y a una temperatura de 20°C la fermentación se mantuvo durante 5 días, después de los cuales el mosto se destiló hasta temperaturas de 90°C. Posteriormente se realiza una destilación fraccionada, separando las

fracciones por cada 2°C de incremento en la temperatura, denominándose cabezas a los destilados entre 74-76°C y colas a los encontrados entre 84-90°C.

El rendimiento para los jugos fue el siguiente:

Jugo natural	3.6%
Jugo sulfitado	3.4%

Otro estudio realizado con *saccharomyces cerevisiae* fue efectuado por Albert en 1983(03) en el cual reporta una buena producción de alcohol, mayor al 6%. Mas recientemente investigadores de la Universidad de Keimyung en Corea (137), efectuaron estudios para la optimización de las condiciones para la fermentación alcohólica del jugo de la tuna de *Opuntia ficus-indica*. Entre los parámetros investigados estuvieron: el efecto del calor, pH, temperatura de fermentación y la concentración de los azúcares. El jugo fue tratado con 150 ppm de SO₂, la acidez fue ajustada con 0.7 % de ácido tartárico y los sólidos solubles fueron ajustados a 20-28 °Brix con azúcar blanca(jarabe con 12.8°Brix, 0.67% acidez). Durante el proceso de fermentación la bebida alcohólica fue analizada para determinar su color, acidez titulable, sólidos solubles y su contenido de alcohol por medio de ensayos enzimáticos.

El proceso se efectuó a 30°C y se monitoreó durante 7 días, observándose que el jugo de la tuna solo, no fue fermentado después de 7 días, manteniendo constantes sus sólidos solubles.

Finalmente se concluyó que una relación de 25 % al 50 % del jugo de tuna a un 75% -50% del jarabe eran las mejores para el proceso de fermentación y con un inóculo de 1x10⁶ células. El menor contenido de sólidos solubles 6° Brix se obtuvo para una mezcla de azúcares con 22° Brix.

En el sur de Italia el fruto de la *Opuntia ficus-indica* es usado frecuentemente fermentado y destilado para producir un licor que no tiene un alto contenido de azúcar, únicamente un 4.2 % ó bien como un licor hecho por infusión del fruto en alcohol, es una especialidad del sur de Italia, de Cerdeña, donde es conocido como *figu morisca* al cual también le adicionan limón.

Aquí damos una receta del *Liquore di fico d'india* también del sur de Italia:

Liquore di fico d'india

10 Tunas peladas
500 ml de alcohol del 95% bv
500 ml de agua
400 g de azúcar

Pele las tunas y póngalas en el alcohol por 10 días hasta que adquiera el color de la fruta, de naranja oscuro a color rojo. Quite la fruta y adicione el azúcar disuelto en el agua. Deje reposar por 20 días antes de consumir.

PRODUCCIÓN DE ACEITE

La semilla de la tuna ha sido reportada como una posible fuente de aceite(14,16,24,43,131,141).

Las semillas constituyen alrededor del 15 % de la tuna y observaciones histoquímicas de un corte longitudinal de las semillas teñidas con sudan negro B, indican que la grasa se encuentra en mayor proporción en la parte externa del endospermo y carece de ella, en la parte interna del endospermo y el tegumento.

El procedimiento de extracción del aceite de la semilla de la tuna se describe de la siguiente manera(24):

- La semilla seca, se pesa y se muele, para obtener una pasta que es enviada al silo y posteriormente al extractor.
- En el extractor se agrega un solvente con lo que se obtiene una mezcla de aceite y solvente denominado micela, y la llamada pasta residual.
- La micela se envía a un tanque de peso, de donde se bombea al destilador en el que se separa el aceite crudo y el solvente que se recupera durante el proceso.
- El aceite crudo se manda a un tanque recolector, para su posterior envasado en tambores de producto terminado.
- El solvente recuperado se recircula durante el proceso.
- La pasta residual se lleva a los molinos y se envasa en bolsas de papel de 25 Kg, enviándose finalmente al almacén de producto terminado. Esta pasta puede ser utilizada como forraje.

El aceite que se obtiene es apto para el consumo humano y posee características similares al aceite de cártamo y soya, además de tener un aroma similar al de la grasa de cerdo, por lo cual no tendría ningún problema para tener aceptación en el mercado nacional.

De acuerdo al análisis efectuado por Barbagallo (14) en fechas recientes, encontró que la composición de la variedad blanca(muscareda), amarilla (sulfarina) y roja (sanguigna), presentaron diferencias en la composición del aceite de sus semillas, siendo la blanca y la roja las más indicadas para la producción de aceite, ya que el aceite de la variedad amarilla contenía menos ácido oleico y linoleico y más ácido linoléico, palmítico y mirístico.

Entre los esteroides encontrados figuran el sitosterol, camfesterol y estigmasterol(43).

PRODUCCION DE RECUBRIMIENTOS.

Morteros.

Durante cientos de años en México se ha utilizado el mucílago del nopal para la preparación de morteros y para la protección de las construcciones que se han edificado. Estos morteros son tradicionalmente preparados con mucílago del nopal y cal, ya que mejoran su protección contra la penetración del agua y el agrietamiento.

El mucílago del nopal es adicionado como un adhesivo orgánico que previene que el mortero seque demasiado rápido, y ayuda a retener el agua necesaria para un buen fijado y un adecuado transporte del CO₂ atmosférico, que combinado con la cal, formará carbonato de calcio.

En la actualidad los restauradores de monumentos históricos están utilizando esta antigua tecnología, debido a que el cemento utilizado para este propósito, tiene efectos adversos por su alta dureza y su incompatibilidad con los adobes, aunado al hecho que restringe la transpiración e incrementa los riesgos por humedad (22).

Los morteros modernos normalmente están compuestos de cal, álcali, sal de cobre, arena y materiales puzolánicos. Estos morteros tienen alta resistencia mecánica, incrementan sus propiedades impermeables y poseen propiedades anti-hongos(22), en Europa existe un interés creciente en el desarrollo de formulaciones de morteros de cal.

Hasta el momento no existe una explicación científica que explique el uso del nopal en los morteros de cal, pese a los trabajos realizados con este fin.

Pinturas.

En el año de 1947 Pio D. jaconis (32) obtuvo una patente en Italia donde reclama la antigua tecnología desarrollada en México. En ella especifica el procedimiento para la extracción del mucílago de la *opuntia ficus-indica*, ya sea por cocción, maceración o presión de la planta y su posterior mezclado con cal y colorante para la elaboración de pinturas.

Como bien sabemos el mucílago del nopal esta compuesto de fibra insoluble y un polisacárido soluble en agua con una composición química similar a la de las pectinas, y en general contiene proporciones variables de L-arabinosa, D-

galactosa, L-rhamnosa y D-xilosa como unidades neutras mayoritarias y algo de ácido D-galacturónico.

Dependiendo del tipo de nopal será la cantidad de mucilago encontrado, siendo para el caso de *opuntia ficus-indica* de 1.9 % en base seca y de 3.3 % para la *opuntia robusta*.

Recientemente la revista del consumidor (127) publicó una fórmula para la preparación de pintura de nopal, la cual a continuación reseñamos:

Ingredientes

- 6 litros de agua
- 5 nopales grandes cortados en trozos
- 2 ½ Kg de Cal
- 2 tasas de sal de mesa
- colorante para cemento del color deseado. La cantidad dependerá de la intensidad del color deseado.

Procedimiento

1-Ponga los nopales en una olla y agregue 2 litros de agua; déjelos reposar durante toda la noche para que suelten perfectamente la baba.

2-Al día siguiente, mezcle en la cubeta la cal, la sal y el agua restante, moviendo constantemente con un palo de madera. Utilice un colador para agregar la baba del nopal e incorpore muy bien.

3-Agregue el colorante poco a poco hasta obtener el tono deseado. Si quiere preparar pintura blanca no es necesario el colorante y puede adicionarse blanco de España para mejorar la consistencia.

En el mercado nacional existen pinturas de bajo costo denominadas de cola vegetal, en las cuales se emplean principalmente almidones de maíz, sin embargo no existe ninguna en forma comercial que utilice el mucilago del nopal.

PRODUCCIÓN DE EXPLOSIVOS

En abril de 1970 se otorgó la patente U.S. 3,507,718 (99) en la cual se menciona el uso de la pulpa seca del nopal como el material fibroso para la elaboración de un explosivo de alta potencia y bajo costo.

De acuerdo a esta invención, un estupendo explosivo puede ser obtenido por la saturación de un material fibroso con la solución acuosa de una sal de un material fuertemente oxidante, y haciendo esto de tal manera que el material fibroso al ser inmerso en la solución oxidante, retenga burbujas de aire finamente divididas atrapadas en el, de tal forma que estas sean uniformes. El material fibroso es mezclado con una solución concentrada de una sal de nitrato de amonio y/o nitrito de sodio.

Estas burbujas de gas que están en contacto, tanto con el combustible carbonoso como con la sal oxidante, son sitios efectivos para iniciar y propagar la detonación.

La composición de las mezclas evaluadas fueron las siguientes:

	(A)	(B)
Solución		
Nitrato de Amonio	4.2	31.5
Nitrato de sodio	15	13.5
Agua	15	15
Goma	0.2	0.17
Etilen glicol	0.4	0.34
Pre-mezcla		
Azufre	3	3
Aluminio grado pintura	0.4	0.4
Preckly pear	13	13
Bórax	0.05	0.05
Oxidante suplementario		
Nitrato de amonio seco	10.95	23.0

Descripción del procedimiento:

42 partes en peso del nitrato de amonio y 15 partes de nitrato de sodio se disolvieron en 15 partes de agua. A esta solución se adicionó la goma guar dispersa en el etilén glicol. La goma guar es utilizada como un espesante y el glicol fué utilizado como combustible, como extender y como un buen agente dispersante. La solución resultante fue un jarabe con una alta viscosidad.

La pre-mezcla fue preparada mezclando el azufre, el aluminio, el material fibroso y el bórax.

Esta pre-mezcla sólida, fue agitada con la solución y finalmente el nitrato de amonio seco fue adicionado.

En particular el empleo de material fibroso del nopal tuvo las siguientes ventajas:

- Mostró que es un excelente espesante.
- Las gomas que contiene el cactus funcionaron para este propósito también como las de la goma guar.
- El empleo del nopal reemplaza el uso de gilsonita y el almidón y/o la goma guar que es usualmente necesaria en la mezcla sensibilizante de aluminio-gilsonita.

Otros materiales fibrosos fueron evaluados, entre ellos: pulpa de remolacha, pulpa de madera, alfalfa seca etc., en el caso de estos materiales, el uso de goma guar y gilsonita fue necesario para obtener buenos resultados.

PRODUCCIÓN DE ADITIVO PARA MOTORES OTTO Ó INHIBIDOR DE CORROSION

Esta invención (143) esta basada en el hecho que se observó sobre unas láminas de acero al carbón a alta temperatura, sobre las cuales accidentalmente cayó el extracto proveniente de los cladodios de nopal (*Opuntia ficus-indica*) sobre su superficie, y luego de varias semanas de exposición al medio ambiente, no mostraron la formación de óxido sobre las áreas afectadas y permanecieron resbalosas al tacto (lubricadas).

Considerando que en el futuro será mayor el costo y menor la disponibilidad de los hidrocarburos, ya sean sintéticos o derivados del petróleo, esto sugiere la necesidad de reducir el consumo de dichos hidrocarburos, incrementar la eficiencia de los motores y también la reducción de los niveles de contaminación. Algunos intentos han sido efectuados adicionando agua y/o alcoholes a los combustibles usados en los motores con ciclo Otto, para reducir su consumo y mejorar su eficiencia. En efecto, estos nuevos combustibles han demostrado ser ventajosos en muchos casos, sin embargo la remoción del lubricante del motor en la sección de pistones y el sistema de válvulas producen su oxidación y han impedido su uso en gran escala.

Esta invención se propone eliminar el problema de la oxidación en los motores en los cuales el combustible es la gasolina, el gas LP o el metano. Tratándolos con un aditivo base agua y/o el alcohol, lo cual requiere un menor costo en el aditivo para el motor y permite una excelente lubricación, y adicionalmente contribuye a reducir el consumo de combustible, incrementa la potencia desarrollada por el motor, así como reduce los niveles de contaminantes. Permite la inmediata ignición del motor en frío, promueve un mejor desempeño del motor a bajas revoluciones y también lo hace mas silencioso.

El aditivo de esta invención consiste esencialmente en una mezcla de agua, alcoholes de bajo peso molecular y un líquido extraído de los artículos de la *Opuntia ficus indica*, que provee una película protectora sobre las piezas del motor, manteniéndolas lubricadas, brillantes, y libres de oxidación.

El aditivo para motores a gasolina consiste en:

Extracto líquido	8-10 ml
Agua	700- 850 ml
Alcohol etílico	80-30 ml
Alcohol metílico	120-70 ml
Alcohol butílico	80-30 ml

El aditivo para motores de gas LP o metano es el siguiente:

Extracto líquido	10-15 ml
Agua	700-800 ml
Alcohol etílico	60-40 ml
Alcohol metílico	120-100 ml
Alcohol butílico	80-40 ml

El extracto líquido fue obtenido de los cladodios de la *opuntia ficus indica* por remover el perímetro de las hojas, cortar las hojas en pequeñas piezas, molerlas y adicionar agua destilada en una cantidad igual al peso del material sólido y después decantar y filtrar el líquido obtenido.

Debido a que la adición de agua, reduce la inflamabilidad del combustible, se adicionó el metanol para restaurar la inflamabilidad y el butanol para compensar la riqueza de carbono en el combustible. Sin embargo los alcoholes no fueron miscibles con el extracto por lo que fue necesario la adición del etanol para su completa compatibilidad.

El consumo del aditivo en motores con pequeño desplazamiento es de 3-4 ml/Km, y en motores de desplazamiento largo es hasta de 8 ml/Km. El aditivo es mezclado con el combustible dentro del carburador del automóvil por medio de unas boquillas pulverizadoras, las cuales dependerán de las especificaciones del motor y la inyección dependerá del mismo sistema de inyección de combustible.

PRODUCCIÓN DE PECTINAS

En 1977 Escamilla (44) purificó pectina de la cáscara de tuna cardona (*Opuntia Streptacantha*, la cual como hemos indicado es una variedad de *Opuntia Ficus-Indica* de color rojo), la que se encuentran en la cáscara intercelular denominada lamela, obteniendo un rendimiento bajo y con fuerza de gelificación escasa, estos resultados sugieren una limitada posibilidad para su aplicación en la industria de alimentos.

El procedimiento de obtención de las pectinas de la cáscara de tuna fue el siguiente:

A la cáscara de la tuna se le agregó un volumen igual de agua y se homogenizó. Se adicionó sulfito de sodio y ácido clorhídrico para obtener 20 % de ácido sulfuroso y se calentó por 5 minutos, se filtró para separar los sólidos insolubles y se adicionó alcohol del 96°, hasta alcanzar el 66% en volumen y se deja reposa por 15 minutos, al cabo de este tiempo se filtra con papel filtro de poro abierto; el precipitado se secó con temperatura no mayor a 35° C y se recristalizó con el sistema agua-etanol para su purificación, obteniéndose 0.508 gramos de pectina por cada 100 gramos de cáscara, cantidad que puede ser considerada como similar a la reportada para la manzana(0.53 % b.h.).

En un estudio mas reciente efectuado en Italia, Forni E. (54) encontró en las muestras que analizó, un contenido de 0.12% b.h. de pectina, con un contenido del 64 % de ácido galacturónico, un bajo grado de metoxilación(10%), un alto grado de acetilo(10%) y un contenido de azúcar neutra galacturonica del 51%.

PRODUCCION DE ALIMENTOS INDUSTRIALIZADOS

Hasta la fecha en México se han realizado una buena cantidad de proyectos para la industrialización del nopal(16,21,27,35,82,87,115,165) y la tuna(24,44,111,129), sin embargo en la práctica son pocas las empresas que comercializan estos productos en el mercado nacional, este tipo de productos es destinado principalmente para la exportación, aunque los volúmenes de exportación son aun pequeños(52,53,64).

Tambien se han realizado trabajos destinados a facilitar el proceso de industrialización del nopal por medio del diseño de equipos(117,128,139).

Las hojas del nopal poseen un alto contenido de humedad, que las hace muy suculentas, pero muy susceptibles al ataque microbiológico, y esto las hace

muy difíciles de preservar cuando se manejan en forma de verdura fresca(70,172). Otro factor importante en su manejo y aceptación son las gomas y mucilago que conforman la savia de la hoja que causa problemas para su preservación, procesamiento, estabilidad y aceptación del producto por los consumidores. Adicionalmente a los carbohidratos (azúcares y celulosa) los nopales también contienen proteínas, vitaminas, pectinas, saponinas, ácidos orgánicos y minerales (principalmente calcio, hierro y zinc).

Con la transformación industrial pueden conservarse por largos periodos de tiempo, lo cual permite su venta en mercados extranjeros y su venta puede efectuarse en los meses del año en que escasea y permite tener un precio regulado. Otro importante beneficio de la industrialización es que permite ofrecer una variedad de productos como: nopales en salmuera, nopales en escabeche, jaleas, ensaladas, dulces(cristalizados) y congelados, lo cual también permite la diversificación de mercados, mayor aceptación de los consumidores, mayor valor agregado del producto y generación de fuentes de trabajo(26).

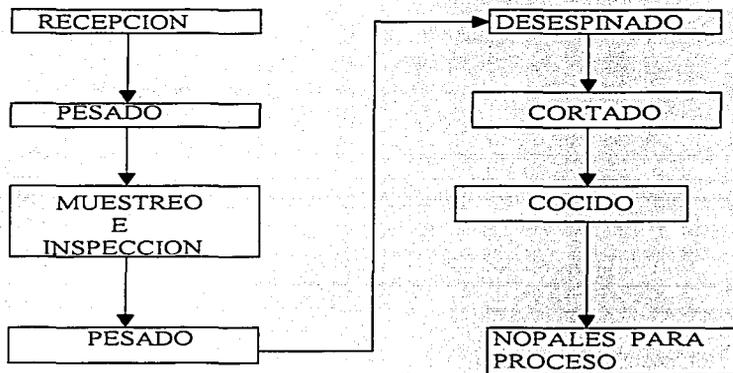
Algunas de las empresas que industrializan el nopal son las marcas:

Marca	Presentación
Frugo	Salmuera y en Escabeche
Envasadora Pueblito La Gloria	Salmuera
Ann O'brien	Salmuera
Dona María	Escabeche
Coronado	Salmuera y Escabeche
La Costeña	Escabeche
Clemente jaques	Salmuera
Lupita	Escabeche
Delicius	Escabeche y mMermelada
San Joaquín	escabeche
Milpa Alta	Escabeche

Algunos productos y subproductos que se pueden obtener(129,136):

Nopales	Tuna	Flores	Semillas
Salmueras	Jugos y néctares	Medicamentos	Aceite
Curtido en Vinagre	Mermeladas, Jaleas, etc	Colorantes	Forraje
Dulces	Fruta deshidratadas	Dulces	
Mermeladas	Alcoholes y vinos		
Jugos	Fruta enlatadas		
	Colorantes		
	Fruta Congelada		

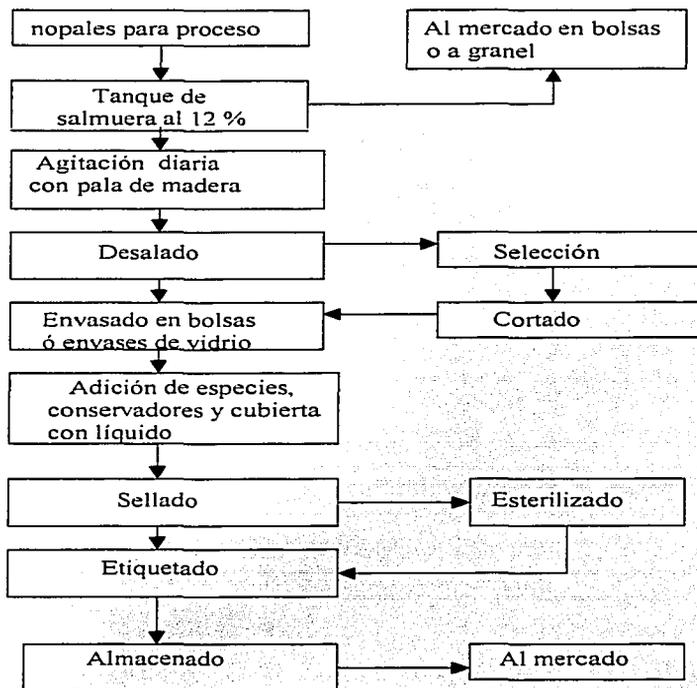
Para la elaboración de los productos a base de los cladodios, el primer proceso consiste en su acondicionamiento, el cual se resume de la siguiente manera:



Este proceso de acondicionamiento consiste básicamente en el cocido y lavado. El propósito del cocido es la desactivación de enzimas, destrucción de microorganismos, suavizado del tejido y en la eliminación parcial del mucílago. Los principales factores a considerar en este proceso son el tiempo y temperatura de la cocción, así como la adición de ciertos compuestos que ayudan a mejorar los resultados. Estos factores pueden ser ajustados dependiendo del tipo y variedad de las materias primas. El lavado con agua

fría, es necesario para producir un shock térmico que elimine las pectinas y mucilago y también ayuda en la fijación del color verde del producto.

Procedimiento para la elaboración de nopales en salmuera



En el tanque de salmuera al 12%, se debe tener una proporción de 1.7 lts de salmuera por kilogramo de nopales. En este estado los nopales pueden permanecer de 10 días a un mes dependiendo de la demanda. La solución salina debe mantenerse a una concentración mínima del 10 %. La agitación debe efectuarse diariamente con una pala de madera. El producto debe estar bien cubierto para evitar contaminaciones y decoloración por la luz.

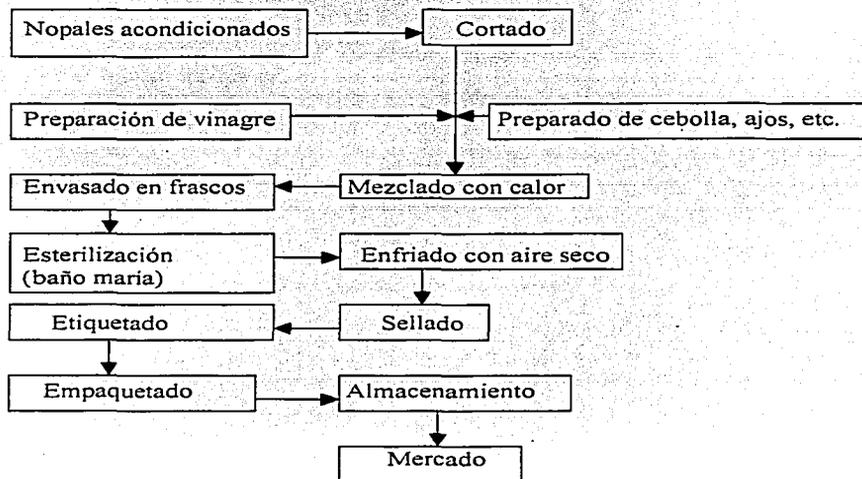
Cuando el proceso de salado ha finalizado, el producto se lleva al cuarto de proceso donde es desalado por lavado. Luego es seleccionado, cortado en pequeños cuadrados y envasado en bolsas o embotellado con algo de especias y cubierto con un 2 % de salmuera. Las bolsas se sellan y los frascos se tapan y esterilizan. Luego se dejan secar al aire antes del etiquetado.

Finalmente son empacados en cajas de cartón para su comercialización.

Dependiendo del proceso y su control, en una planta piloto se obtuvo un rendimiento del 57% sobre la base del peso de los nopales con espinas.

Proceso para los nopales en escabeche.

Se parte de los nopales acondicionados, los cuales son cortados en forma manual o mecánica. Al mismo tiempo, la mezcla de vinagreta es preparada: Una mezcla al 1.87 – 2 % de ácido acético con especias, hierbas de olor y aceite de oliva. El vinagre es calentado hasta ebullición y las especias son adicionadas directamente o por medio de una bolsa de tela. Esta mezcla es hervida por 5 minutos para permitir que el vinagre absorba los aromas. Separadamente, cebolla, dientes de ajo, hojas de laurel y zanahorias cortadas son freídas ligeramente con aceite vegetal.



El vinagre, los nopales y las verduras son mezclados. Esta mezcla es después envasada en frascos, que son después esterilizados en baño maría. (Los frascos llenos y tapados son hervidos en agua). Los frascos esterilizados son enfriados, sellados y etiquetados. Finalmente son empaquetados en cajas y almacenados para un periodo de cuarentena, y enviados al mercado.

Procesamiento de la tuna

Los frutos de *Opuntia ficus Indica* pueden presentar una coloración que va de verdosa hasta variedades con pulpas de color amarilla, anaranjadas, rojas y púrpuras(77,145). Sus frutos son bayas carnosas, que poseen una pulpa jugosa con un aroma y sabor agradables. El principal problema para la aceptación de este fruto por los consumidores como fruta fresca es el tamaño y gran cantidad de semillas que presenta. Es por esta razón que un grupo de investigadores de la Facultad de Ciencia Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile trabajan desde hace años en las posibilidades de su industrialización con un consiguiente valor agregado.

En México existen numerosos estudios para la industrialización de la tuna (24,44,11,168), los cuales se han enfocado principalmente a la elaboración de dulces(07,126,127,133), mermeladas(01,163), jaleas y néctares(136,168).

La tuna esta compuesta de cascara, pulpa y semillas(168). Dependiendo de la especie la relación de estos componentes varía, pero en forma general se tiene:

CASCARA	40-50 %
PULPA	40-50 %
SEMILLAS	5 - 10 %

Los principales factores que influyen en el deterioro de la tuna son la deshidratación y la putrefacción, ya que la tuna tiene una gran susceptibilidad al ataque de hongos(72) especialmente por *Penicillium spp.*(144). Estos factores limitan su comercialización durante periodos de tiempo largos. Para solucionar estos problemas se han utilizado diferentes tipos de barreras, como son las envolturas de polietileno y cubiertas de cera y quitina(83).

Los frutos tratados con película de polietileno no presentaron una disminución con respecto a los testigos en el porcentaje de pudrición, observando únicamente una menor pérdida de peso.

Los mejores resultados para evitar la putrefacción se obtuvieron con los frutos recubiertos, sin embargo la quitina no pudo evitar la deshidratación del fruto, siendo la cera la que dio los mejores resultados.

Se han estudiado temperaturas de 0°C y 3°C para la conservación del fruto, no encontrándose daños por la refrigeración por un periodo de 40 días, únicamente un porcentaje de putrefacción se observó a 3°C.

El procesamiento de la fruta representa un gran desafío tecnológico, ya que ciertas características como: Alto pH 5.8 – 6.4 y una baja acidez 0.05 – 0.08% ácido cítrico, unido con su alto contenido de sólidos solubles 11.0 – 17.0 % principalmente glucosa y fructuosa, lo hacen muy susceptible al desarrollo microbiológico. Entre otras cosas el alto contenido de mucílago en el fruto, le confieren al jugo una alta viscosidad y una consistencia no muy agradable desde el punto de vista sensorial(71,145).

Los frutos verdes tienen como principal problema la poca estabilidad térmica de la clorofila, la cual se ve agrabada por cambios del pH; en el caso de los frutos rojos el problema es menor, ya que este color es dado por pigmentos del grupo de las betaninas que presentan una gran estabilidad térmica y a los cambios de pH(entre 4-6).

El aroma y sabor de los frutos independientemente de su color, son muy similares, siendo los compuestos que mayor contribuyen a su aroma los alcoholes, aldehidos y pequeñas cantidades de lactonas, ésteres, éteres, y otros compuestos que sumaron 55 los compuestos identificados(38,84). Su aroma fresco suave y placentero, es cambiado cuando el jugo es sometido a tratamientos térmicos por un aroma “herbáceo” no muy placentero. Las pruebas efectuadas en jugos pasteurizados a 98-100°C por 15-20 segundos, sin modificar su pH no han producido una apropiada estabilidad microbiológica.

El empleo de algunos preservativos como el kilol y sorbato de potasio no han resuelto el problema ya que se ha presentado principalmente fermentación láctica. La esterilización del jugo empacado fue exitosa desde el punto de vista microbiológico pero las características sensoriales del producto fueron fuertemente afectadas.

La posibilidad de obtención de concentrados de jugo por vacío y baja temperatura 49-45°C, utilizando un preservativo apropiado, resulto en un jugo de 64-67° Brix con buena estabilidad microbiológica pero con problemas en su aroma, olor “herbaseo”.

La aplicación de bajas dosis de irradiación para la conservación del jugo, produjo un deterioro en sus propiedades sensoriales.

Para la solución al problema de la alta viscosidad del jugo por el mucílago, el empleo de enzimas demostró su efectividad, principalmente la enzima

pectinolítica Pectinex AR de la compañía Novo Co., siendo su actividad superior cuando el pH fue mayor a 4.5.

Pese a los resultados poco satisfactorios señalados anteriormente en la preparación de jugos, Gurrieri S. en Italia (71) reporta haber obtenidos resultados muy satisfactorios en la preparación de jugos utilizando ácido fosfórico y/o ácido tartárico, ya que resultaron ampliamente aceptados en sus características después de dos meses de almacenamiento, y comparable con otros jugos como el de durazno o de pera.

La obtención de productos gelificados por la adición de azúcar y agentes gelantes como la carragenina y preservantes como benzoato de sodio o parabenos y sorbato de potasio con un corto tratamiento térmico para evitar su cambio de color, resulto en productos con buena aceptación. También la acidificación de la pulpa para mejorar la relación azúcar-ácido afecto el color y disminuyo su aceptabilidad, sin embargo la estabilidad microbiológica que produjo, fue superior a la obtenida con el pH normal de la pulpa.

Otra alternativa de conservación a sido el congelamiento en rodajas del fruto, usando un proceso IQF a -40°C ; un buen producto congelado se obtuvo con buen color y apariencia, pero durante el descongelamiento la fruta presento perdida de textura y un alto goteo. Actualmente, pruebas son efectuadas conjuntamente con la CIAD(Hermosillo, México). El uso de diversos crioprotectores y acelerantes de congelamiento con CO_2 o N_2 para mejorar la calidad del producto descongelado, están siendo probados.

Los jugos de la tuna también pueden ser utilizados para obtener líquidos edulcorantes con alto contenido de glucosa y fructuosa (135), con usos similares a aquellos obtenidos del jarabe de maíz de alta fructuosa y otros edulcorantes muy usados hoy día en alimentos y bebidas industriales.

Otro interesante producto que puede elaborarse con la pulpa de la tuna es el que resulta de su deshidratación con pulpa de membrillo para incrementar su acidez; Este producto puede ser deshidratado utilizando la energía solar, lo cual reduce su costo de producción. El producto resultante es alto en calorías y muy apreciado para la dieta de los niños(136).

Actualmente en los E.U. se encuentran en el mercado jugos, néctares, mieles, jaleas y mermeladas hechos de la tuna (principalmente de la roja) con una excelente presentación, similar a la de los vinos.

PRODUCCION DE FLOCULANTES

El uso de polielectrólitos naturales para la clarificación de aguas se conoce desde la antigüedad, sin embargo después de la crisis petrolera de 1970 – 1980 la sustitución de electrolitos sintéticos por polielectrólitos naturales se ha incrementado notablemente y varias fuentes han sido investigadas. El Floccotan un extracto de quebracho (*Schinopsis lorentzii*) y sus modificados químicos ha sido bastante usado para la clarificación de agua y el tratamiento de aguas residuales en Sudamérica.

La *Opuntia ficus-indica* es una fuente de un polielectrolito natural viscoso que porta una carga superficial negativa(54). El proceso de floculación inducido por un polielectrolito aniónico como el extraído de *Opuntia ficus-indica* es facilitado por la presencia de una concentración baja de un ion metálico (Al^{3+}) capaz de unirse con el grupo funcional del polielectrolito. El ión metálico positivo sirve para formar un puente de unión entre el polielectrólito aniónico y la carga negativa del grupo funcional sobre la superficie de la partícula coloidal. Debido a su carácter hidrofílico, varios puentes de hidrógeno son formados entre el polielectrolito y las moléculas de agua. Esta asociación tiende a ocupar gran cantidad de área superficial, causando una muy alta viscosidad.

La preparación del polielectrolito fue efectuada de la siguiente forma: las hojas fueron cortadas en pequeñas piezas de (10X30 mm), y aproximadamente 132 g del cactus fue tratado con 750 ml de agua del grifo se agitaron por 30 minutos en un matraz de 2 lts. La completa extracción del polielectrolito natural viscoso fue efectuada por maceración. El material extraído se mantuvo a 4°C hasta el momento de su uso. Un equipo de prueba de jarras (Milan-JT101) con 6x1000 ml matraces fue empleado para los estudios de floculación y coagulación.

El rango de pH para una mejor floculación y sedimentación fue observado entre 6.0 y 7.0 para aguas residuales de pulpa y papel y un afluyente de tenería.

De acuerdo a los experimentos, las condiciones óptimas para floculación y coagulación fueron: 30 segundos de agitación fuerte, después de la adición del sulfato de aluminio y el polielectrolito natural, seguido de 15 minutos de agitación lenta, y después 30 minutos para la completa sedimentación. Los rangos de concentración óptimos fueron: 250-300 mg/L de Al_2SO_4 y 0.6 – 0.8 mg/L del polielectrolito natural. El DBO (85-90 %), DQO (70- 75 %) y la remoción del color del 80- 85 %.

En México investigadores del IPN (ESIQIE)(109) han trabajado en la aplicación del polielectrolito de *Opuntia ficus-indica* como floculante primario para la clarificación de suspensiones coloidales de partículas minerales, utilizando como suspensión coloidal ideal, una preparada con caolín y utilizando como base de comparación de eficiencia de clarificación sulfato de aluminio, la cual es una sal comercial muy empleada para tal fin.

Los resultados conocidos de esta investigación sugieren que la savia puede emplearse bajo ciertas condiciones de concentración del coloide, pH y concentración de los sólidos de la savia, para la clarificación de este tipo de suspensiones. Lo anterior sobre todo cuando se quiere mantener un pH neutro o alcalino.

En Nicaragua(04) también se ha considera el uso de polielectrolitos naturales como floculantes primarios para la clarificación de agua, utilizando dos productos: tunafloc procedente de la *Opuntia ficus-indica* y el cochifloc procedente de la *Opuntia cochenillifera*. Los rendimientos que se reportan del polielectrolito son: 1.8 % B.H y 15.2% B.S para el tunafloc y 1.5 % B.H y 17.0% B.S. para el cochifloc. En este caso el material a utilizar serian las hojas del cactus que resultan de la poda de los plantíos, y los restos de la extracción una vez secos, se considera su uso como forraje, en tanto que en Brasil se plantea emplear los residuos de la extracción para la producción de proteínas para la alimentación humana por el proceso de fermentación de substratos sólidos(96).

Adicionalmente mencionaremos que en Brasil (39) tambien se han realizado pruebas para el tratamiento de efluentes de fábricas de papel, en el cual se reportan resultados satisfactorio, ya que se redujeron los tiempos de floculación, se obtuvo un mayor tamaño de floc y se facilitó la filtración de los lodos. La eficiencia fue de un 85-90% en eliminación de compuestos aromáticos, reducción de un 70-85% del DQO y un 91-97 % en el color.

PRODUCCION DE COLORANTES.

Durante los últimos años, el número de colorantes para alimentos ha sido drásticamente reducido como resultado de los estudios toxicólogos efectuados en la Comunidad Económica Europea para homologar su legislación. Los resultados negativos obtenidos para esta aplicación con los colorantes sintéticos, unido a la percepción de los consumidores de que los colorantes naturales son mas seguros, ha hecho que su demanda se incremente.

Sin embargo los colorantes naturales tienen como principales inconvenientes los siguientes: son mas caros, bajos sus rendimientos de producción, inestabilidad del color al pH, luz, calor y congelación. Además que contienen otros sólidos disueltos que provienen del material del cual se les extrajo, como pueden ser: sales, ácidos orgánicos, compuestos fenólicos y azúcares.

Con el nombre de grana cochinilla se describe un colorante muy importante y relacionado con el nopal, el cual se obtiene de las hembras preñadas y secas de la especie tropical americana *Dactylopius*, especialmente *D. Coccus Costa* (102). Este insecto es el principal huésped de las partes aéreas del nopal, principalmente del *Opuntia ficus-indica* (nopal de Castilla).

El uso de la cochinilla o zacatillo como colorante textil y para pinturas en México y Perú data de hace aproximadamente 3,000 años. Los colonizadores españoles rápidamente reconocieron el gran potencial económico que representaba este cultivo y fue introducido a Europa a principios del siglo dieciséis.

Para el siglo diecinueve, el insecto y el cactus habían sido ampliamente introducidos por España y sus colonias así como por muchas partes de Europa. Una gran producción mundial se logró a mediados del siglo diecinueve siendo México, Guatemala, Java y las Islas Canarias las principales fuentes exportadoras con una producción de 3,000 toneladas en 1875 (104).

El desarrollo de los colorantes sintéticos a finales del siglo diecinueve resultó en una progresiva reducción de la demanda de la cochinilla en la industria textil.

El cultivo de la grana cochinilla es mas adecuado en el nopal de Castilla (*Opuntia ficus-indica*) y en el nopal de San Gabriel (*Opuntia Tomentosa*) (103). Los nopales para este propósito deben plantarse en surcos con 1.20 mts de separación y 36 cm de distancia entre planta y planta. La grana se propaga cuando el nopal tiene 1.20 mts de altura, depositándose 150 hembras que ovipositan durante 15 días, después de los cuales se retiran las hembras y es a lo que se denomina grana negra.

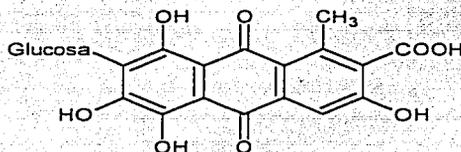
Las larvas después de 90-110 días alcanzan la madures bajo condiciones favorables del clima, se aparean y las hembras quedan listas para ovipositar nuevamente. Se separan solo las hembras para seguir su propagación, y el resto se seca al sol y se denomina grana blanca. Hasta cuatro cosechas pueden ser obtenidas en un año.

En Perú la grana secada al sol se conoce como "cochinilla plateada" y la cochinilla que es tratada primeramente en aguas caliente por una breve inmersión, y secada al sol posteriormente, da una grana de mayor calidad conocida como "cochinilla negra "

Entre 80,000 y 100,000 insectos son necesarios para producir 1 Kg de cochinilla. Reportes de cultivos en Perú señalan producciones de 120 – 240 Kg/ha/año.

La limpieza y clasificación del insecto son efectuadas para elevar su calida y tener un producto de exportación, lo cual implica la remoción de materiales extraños por el cernido y cribado en forma manual y el resecado del material si es necesario hasta un contenido de humedad del 12 %.

El principal pigmento en la cochinilla es una proteína unida a un glucosido de la antraquinona, el ácido cármico. Es muy soluble en agua y su color cambia de acuerdo al pH. Un color anaranjado se obtiene en un medio ácido y una transformación de violeta a roja ocurre con el incremento del pH de 5 a 7. El ácido cármico tiene una buena estabilidad al calor, la luz y el oxígeno.



ácido cármico

El tratamiento del ácido cármico con una sal de aluminio produce una laca soluble de aluminio, conocida como carmín, la cual puede ser precipitada por la adición de una sal de calcio. El carmín exhibe una buena resistencia al calor, la luz y al oxígeno y tiene un color de azul a rojo en solución alcalina.

Al disminuir el pH, se reduce el color azul, y por debajo de un pH de 3 el carmín es insoluble. La precipitación del carmín con sales de estaño, produce un vívido color escarlata que ha sido muy importante para el teñido

textil(104); sin embargo el principal uso del ácido cármico y del carmín ahora no es en el área textil. El carmín es principalmente un importante colorante para cosméticos, especialmente aquellos que se utilizan cerca de los ojos. El ácido cármico y particularmente su laca de aluminio son permitidos y ampliamente utilizados en la industria de los alimentos en Norte América y el oeste de Europa. Extensos exámenes toxicológicos se han realizado en la comunidad económica Europea que registran a la cochinilla y sus derivados como E 120 "Rojo natural" sin embargo los países Europeos individualmente tienen sus propias regulaciones sobre los rangos de aplicación y niveles de dosificación para alimentos y bebidas.

El ácido cármico es usualmente expendido como una solución acuosa con un contenido de pigmento menor al 5 %, lo cual debido a su bajo poder colorante limita sus aplicaciones. El colorante también está disponible en forma de spray.

El carmín es el principal producto colorante empleado para cosméticos, alimentos y aplicaciones farmacéuticas. Su manejo es comúnmente en forma de polvo con un contenido de ácido cármico del 40 % al 60 %. Soluciones acuosas alcalinas (y sus derivados en forma de spray) también están disponibles con un contenido de ácido cármico del 2 % al 7 %; soluciones de hidróxido de potasio tienen un mayor desplazamiento que las tradicionales de amoníaco. El carmín compete con las betaninas(remolacha roja) y antocianinas como colorante para alimentos y su principal limitación es su insolubilidad a pH bajos. Sus aplicaciones típicas son en bebidas suaves y bebidas alcohólicas, productos para panificación, confituras y conservas y los niveles de dosificación son en el rango de 0.1 a 0.5 %

Los principales usos de la cochinilla y sus derivados están principalmente en el área cosmética y de alimentos con Europa del este (principalmente Francia y el Reino Unido), USA, Japón y Argentina como principal mercado en dicho orden descendente. La demanda estimada en 1995 se calculó en 300 toneladas de cochinilla por año. Perú (la región de Ayacucho con 35,000 ha de producción) a sido el exportador dominante por varias décadas, con un 90 % del mercado de exportación, el otro exportador significativo actual es las Islas Canarias con una exportación que fluctúa entre las 10 y 30 toneladas anuales. Antes de 1980 las exportaciones de Perú eran principalmente de cochinilla, en años posteriores la industria de extracción se desarrolló en Perú y ahora el 50% de sus exportaciones anuales son como carmín y una pequeña cantidad como ácido cármico.

Debido a que el ácido cármico tiene buena solubilidad en agua, la cochinilla ha sido tradicionalmente extraída con agua o soluciones alcohólicas a 90 –100 °C por procesos de batch o continuos. El ácido cármico se vende en extractos de concentraciones que van del 2 % al 5 %(máximo) de pigmento. El uso de enzimas proteolíticas ha sido reportado para mejorar los rendimientos del proceso de extracción.

El carmín para la industria de cosméticos y alimentos es preparado del ácido cármico con sales de aluminio y hidróxido de aluminio como sustrato. La adición de etanol al complejo produce un carmín soluble el cual tratado con una sal de calcio se precipita. Entre 4 y 5 Kg de cochinilla son requeridos para producir 1 Kg de laca de carmín. En la forma sólida, el ácido cármico tiene un mínimo del 50 % pero raramente excede del 60 %. El tratamiento del carmín con amoniaco acuoso, produce la tradicional forma soluble roja del colorante. La producción del colorante escarlata, involucra un proceso similar, pero el aluminio se sustituye por el estaño.

PRODUCCIÓN DE BIOMASA

La degradación del medio ambiente (tala de bosques, agotamiento de recursos agrícolas y marítimos) y la necesidad creciente de energía para satisfacer las necesidades de las grandes ciudades e industrias, hace cada día más necesaria la búsqueda de recursos naturales renovables, que permitan de una manera económica, sustentable, ecológica, viable y sin degradar el medio ambiente cubrir estas demandas energéticas.

Dado que la *Opuntia ficus-indica* representa una importante fuente de captación de energía solar por medio de su biomasa, diversos estudios se han efectuado para el aprovechamiento de esta capacidad, aunado al hecho que es una de las especies con mejor adaptación a condiciones ecológicas marginales, por lo cual, resulta interesante la utilización de los desechos del cultivo para la producción de la cochinilla, como alimento succulento para animales, y para la obtención de energía y humus.

La solución a la crisis alimenticia ha sido orientada hacia la intensificación de la producción agropecuaria y de la industria de alimentos. Frente a estos problemas es conveniente considerar a la lombricultura como una vía de solución. Las lombrices aceleran la degradación de los desechos orgánicos, hasta convertirlos en productos no contaminantes y menos voluminosos. La biomasa es una forma de energía solar almacenada y sintetizada mediante la fotosíntesis, y por lo tanto es factible convertirla en combustible sólido, líquido o gaseoso.

La bioenergía es la obtención de energía mediante procesos biológicos, junto con la energía eólica y solar son alternativas no contaminantes para suplir las necesidades de la agroindustria. Entre ellas la tecnología que utiliza biogas es la más desarrollada, la cual está basada en los procesos naturales de degradación, realizados por las bacterias anaerobias a través de un proceso de digestión que permite la generación de un gas rico en metano. En diversos estudios realizados en la Universidad de Chile, Universidad Católica de Chile, Universidad Austral de Chile y Universidad Federico Santa María, así como en el exterior, se vislumbra la utilización de biogas como una alternativa factible, técnica y económicamente (170).

En países como China (donde existen 750,000 unidades) e India su utilización es extensa. A manera de referencia citaremos que si, 1 metro cúbico de agua se utiliza en la plantación de nopal, y se realiza todo este proceso hasta la obtención de biogas y generación de electricidad en turbinas de ciclo combinado, producirá 250 veces más energía eléctrica que la misma cantidad de agua utilizada en una central hidroeléctrica (con una caída de 50 metros de altura), a un costo de instalación de \$1,000 USD/Kw incluyendo las

plantaciones de nopal y un costo de menos de \$0.01 USD/Kw, en tanto que en una central hidroeléctrica el costo de instalación es de \$2,000 USD/Kw y el costo es de cerca de \$0.02- \$0.03 USD/Kw.

El proceso puede resumirse de la siguiente manera:

- 1-El proceso se inicia con la recolección de las pencas(cladodios) cortadas, y junto con el guano de animales y pencas en estado de putrefacción, son utilizadas para la alimentación de lombrices y la generación de biogas en digestores.
- 2-Las lombrices utilizadas (*Eisenia foetida*) generan humus, el cual es utilizado como abono en las mismas plantaciones y a partir de su carne se obtiene un concentrado proteico(harina de lombriz).
- 3-En los sistemas de digestión se obtiene el biogas, sedimentos y agua.
- 4-El sedimento y el agua se utilizan en la lombricultura para mantener la humedad de las camas de lombrices así como en su alimentación con los elementos nutricionales disueltos en los lodos.
- 5-Mediante equipos electrógenos acondicionados para su funcionamiento con el biogas, es posible entregar la energía para el funcionamiento de bombas, secadores, oficinas e instalaciones.

En otro estudio para la generación de biogas y biofertilizante(164), se utilizó estiércol y las pencas del nopal que resultaron de la poda de las plantas. En dicho estudio se concluyó que la velocidad del proceso de degradación dependió de la actividad de los microorganismos responsables de la digestión, la cual esta dada por la calidad de la materia orgánica, la temperatura, la concentración del fermento y especialmente del pH del medio. También se evaluó la influencia de la edad de las pencas y el tamaño de partícula en el proceso de metanogénesis fermentativa. Las pencas evaluadas fueron de un mes y un año de edad, la mitad de las pencas fue molida y la otra mitad fue únicamente cortada en piezas de 6 cm de diámetro. Mezclas homogéneas de pencas, estiércol y agua con sólidos totales del 4 % fueron preparadas. La proporción de las pencas en las mezclas vario de 0 – 100%.

La incubación se efectuó en biodigestores estacionarios de 1 lt manteniéndolos a 30°C durante un mes. Mediciones del pH, sólidos totales y sólidos volátiles fueron realizadas al inicio y al final del proceso.

Los resultados obtenidos fueron:

La composición del biogas obtenido de la fermentación dependió estrechamente del pH del material usado. Con pH menores a 5.5. la calidad del combustible obtenido disminuyo sensiblemente debido a que se redujo la

cantidad de metano obtenido. Bajo este pH la proporción de bacterias acidogénicas se incrementó y las metanogénicas se redujeron, con lo cual, el porcentaje de CO₂ aumento y el porcentaje de metano disminuyo. A un pH mayor de 6 o básico, la cantidad de metano fue mayor que el CO₂, alcanzando hasta un 60 % para el valor óptimo de generación.

El tamaño de las pencas no tuvo ningún efecto, sin embargo la edad de las pencas si tuvo un efecto sobre el valor del pH alcanzado, siendo las pencas jóvenes las que dieron un menor pH, de 4.0. La mezcla mas adecuada fue la de 75 % de pencas de un año y un 25 % de estiércol.

Por otra parte las tierras tratadas con los biofertilizantes obtenidos en el proceso, fueron más eficientes que el estiércol solo, ya que el crecimiento de los cactus tratados con ellos, fue mayor.

Una fuente de alimentación de elevado contenido proteico, es aquella aportada por la proteína unicelular(biomasa), la que se obtiene por crecimiento de microorganismos en caldos nutritivos, utilizando como fuente de carbono y energía, carbohidratos y como fuente de nitrógeno sales inorgánicas.

Con estos antecedentes Mukhopadhyay en 1978 utilizó el jugo de tuna para la obtención de biomasa utilizando *Candida utilis* como inóculo.

La composición óptima encontrada del medio de cultivo fue la siguiente:

sulfato de amonio	6.0 gr/l
azúcares de jugo de tuna	25.0 gr/l
sulfato de magnesio heptahidratado	0.2 gr/l
fosfato monobásico de potasio	0.4 gr/l
cloruro de calcio dihidratado	0.05 gr/l

Las condiciones de crecimiento fueron: temperatura 30°C, pH de 3.6 y sin agitación.

El jugo de tuna no debe contener componentes de las semillas, ya que poseen inhibidores para el crecimiento de la levadura. El rendimiento fue de 12 gr/l.

XI - CONCLUSIONES

Algunas de las aplicaciones etnobotánicas descritas en este trabajo se encuentran respaldadas por estudios clínicos. Por la relación con los problemas de salud que actualmente aquejan a la población mexicana el nopal tiene un amplio uso como:

- 1-Hipoglucemiante
- 2-Reductor del colesterol y los lípidos
- 3-Analgésico y antipirético
- 4-Anti-inflamatorio y descongestivo
- 5-Eudermal, humectante y emoliente

Los compuestos químicos aislados e identificados son de características variadas, los más importantes son: arginina, camferol, ácido ascórbico, ácido glutámico, fenilalanina, fructosa, niacina, etc.

Los compuestos mencionados pueden explicar los usos medicinales que tradicionalmente se han dado a la planta.

También se puede observar, que pese a las diversas aplicaciones industriales y las posibilidades de comercialización de sus productos en el mercado nacional y extranjero, existen pocas empresas mexicanas que industrialicen este recurso y sus derivados.

Continúa siendo un reto para la industria y el gobierno difundir el consumo y aplicación de estos productos, tratando de proteger por medio de patentes las aplicaciones que actualmente se conocen en México, evitando la explotación que de estos conocimientos se han hecho en el extranjero, como es el caso de la patente italiana para recubrimientos mencionada en este trabajo.

Al promover su cultivo se protegerían los suelos de la erosión y se tendría un potencial productivo para las grandes zonas desérticas del país, con el consecuente desarrollo económico que puede significar para los habitantes de estas regiones.

Finalmente diremos que la *opuntia ficus-indica* es una importante alternativa para el desarrollo de las zonas áridas y que se debe promover el estudio y desarrollo de otras cactáceas con posibilidades de aprovechamiento comercial por sus frutos o como plantas de ornato, aprovechando la gran diversidad de plantas de este género con que cuenta México.

XII - BIBLIOGRAFIA

# Ref	Autores	Documento
01	Agredano M.C.	Elaboración de una mermelada de tuna (<i>Opuntia ficus-indica</i>) Tesis: UNAM 1995
02	Alard Doris; et al	Neobetanin: Isolation and identification from Beta vulgaris. Phytochemistry 1985, 24 (10) 2383-5
03	Albert A.; Lopez de Medrano Villar de Saavedra Ma. Jose	Biomass as a productive source of alcohol. First experiments with products from marginal zone and food industry- by products. Monogra. INIA 1983, 47 (simo. alcohol energ.), 123-124. Levante Spain.
04	Almendarez Nabyarina	Comprobación de la efectividad del polimero natural. El nuevo diario(Managua Nic). 20 Agosto 2000.
05	American society of plant biologists (ASPB)	Biochemistry & Molecular Biology of plants. American society of plant biologists (ASPB)2001 Chap.24 (natural products)
06	Amin, El-sayed; Awad, Olfat M.; El-sayed, M.M.	Mucilage of <i>Opuntia ficus-indica</i> Carbohyd. Res. 1970, 15(1) 159-61
07	Anda Aguilar, Oscar de	Anteproyecto de microindustria para la elaboración de panecillos tipo brownie a partir de nopal. Tesis: UNAM 2001
08	Arcoleo Antonio, and et al	β -sitosterol from flowers of <i>Opuntia ficus-indica</i> (cactaceae) Atti. Accad. Sci., Lettere Arti Palermo , Pt I, 25,323-32 (1964-65) (Pub. 1966)
09	Arcoleo Antonio; Ruccia Michele; Cusmano S.	Flavonoids pigments from <i>Opuntia I. Isorhamnetin</i> from flowers of <i>Opuntia ficus-indica</i> . Ann. Chim.(Rome)(1961) 51, 751-8
10	Arcoleo Antonio; Ruccia Michele; Bellino Aurora	Flavonoid pigments from family opuntiae II. The structure of a flavonoid glucoside from <i>Opuntia ficus-indica</i> . Atti Accad. Sci., Lettere Arti Palermo, Pt. I 22,115-18 (1961-62)
11	Arena E.;Campisi S.; Fallico B.; Lanza M.C. and Maccarone E.	Aroma value of volatile compounds of prickly pear (<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill Cactaceae) Ital. Journal of Food Science Vol.XIII (2001) Nr.3 Sept. 3:311
12	Arizmendi, E.V.; Garcés A.M.L. y Alcaraz M.O.	Ensayo para la fabricación de Aguardiente de Tuna blanca (<i>Opuntia sp</i>) CONAFRUT-SARH 1980.
13	Azócar C. Patricio Univ. Chile, Depto. Produc. Animal y Centro de Z. Áridas., Coquimbo, Chile.	Prickly pear (<i>Opuntia ficus-indica</i>) utilization as a feed for ruminants. International Symposium proceedings: Cactus pear and nopalitos processing and uses. Chile
14	Barbagallo Riccardo N; Spagna Giovanni	Determination of fatty acids in oil from seed of <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill. Ind. Aliment.(Pinerolo Ital.) 1999 38(383) 815-17
15	Barrientos Perez Facundo	Varietades del Nopal (<i>Opuntia sp.</i>) y su utilización en México. Depto. De Fruticultura UACH.

16	Becerra Ríos, Hector J.	Estudio teórico experimental sobre el aprovechamiento del nopal Tesis: UNAM 1969
17	Brambilla G.	Skin action of cactaceos planta juice I. <i>Opuntia ficus-indica</i> . Riv. Ital. Essenze, profumi, piante offic. Oli-vegetali saponi. 38 , 552-4(1956)
18	Braveman B. Joseph	Introduction to the Biochemistry of foods. Ed. ELSEVIER 1976
19	Bravo Hollys Helia	Las Cactáceas de México. Ed. Universitaria 1978
20	Cabra Fernandez Aurelio	Industrial utilization of <i>Opuntia ficus-indica</i> . 10 th Congr. Intern. Ind. Agr. y aliment. Madrid 1954, 1078-88
21	Campos Vargas, Agustin	Proyecto para la creación de una empresa enlatadora de nopal. Tesis: UNAM 1994
22	Cardenas A.; Arguelles W.M.; Goycoolea F.M.	On the possible role of <i>Opuntia ficus-indica</i> mucilage in lime mortar performance in the protection of historical buildings. P.O. Box 1735, Hermosillo, Sonora C.P. 83000
23	Cardenas Medellín M.L.; Serna Saldivar S.O.; Velasco de la G. J.	Effect of raw and cooked nopal(<i>Opuntia ficus-indica</i>) ingestion on growth and profile of total cholesterol, lipoproteins, and blood glucose in rats. Arch. Latinoam. Nutr. (1998 Dic.) 48 (4): 316-23
24	Cigala Sánchez Saul	Industrialización integral de la tuna cardona Tesis: ESIQIE IPN 1979
25	Cocuzza C.	Contents of carotene and ascorbic acid in <i>Opuntia ficus-indica</i> Farmaco Sci. e Tec. 1 , 339-42(1946)
26	Corrales García Joel Depto. Ing. Agroind., Univ. Chapingo, Edo. Méx.	Industrialization of prickly pear pads (nopalitos). International Symposium proceedings: Cactus pear and nopalitos processing and uses.
27	Covarrubias Barcenás César.	Proyecto de inversión para la instalación de una planta procesadora de nopal en Milpa Alta. Tesis: UNAM 1996
28	Cravioto R. Et AL.	Composition of typical Mexican Food J. Nutrition 29 , 317-29; 1945.
29	Chavez Jasso Mayra J.	Evaluación clínico-biológica de dos fuentes de fibra: glucomannan y nopal, en los niveles séricos de lípidos en pacientes diabéticos. Tesis : 1999 UNAM
30	Chavez Negrete A.	Hypoglycemic action of different doses of nopal (<i>Opuntia Streptacantha</i> Lem.) in patients whit type II diabetes mellitus. Arch. Invest. Med. (mex) (1989 Abril-Jun.) 20 (2) : 197-201
31	Dawidar A.A.; Favez M.B.E.	Identification of β -Sitosterol in <i>Opuntia ficus-indica</i> . J. Chem. United Arab. Rep., 4 , 145-7 (1961)
32	De Jaconis Pio	Processo per la preparazione di colla adatta per pitture, intonaci e simili. Pat. Ital. 423,158 (1947)
33	Delgado G.L.	Forrajes mexicanos, análisis químicos y valor alimenticio. Sec. Agric. y Fom., Ins. Biotec. y Sanidad animal.

		Méx. 1939
34	Deplano F.	Sardinian raw materials for the manufacture of cellulose. Chem. Zentr. 1933, II, 157. Rend. Seminario facolta Sci. Univ. Cagliari 2, 15-23 (1932).
35	Diaz Alvarez Manuel	Proyecto para la instalación de una planta enlatadora de unos productos alimenticios a base de nopal. Tesis: UNAM 1975
36	Diaz Cervantes Manuel I. U.A. de Cienc. Quím., UAZ.	La elaboración del colonche. Estudio preliminar. 5as Jornadas de Invest. Univ. Autónoma de Zac. 25-29 Junio 2001.
37	Diaz Vargas Jaime M.; Crespo Chiapa R. CECyT "Diodoro Antúnez E." IPN.	Producción de grana (<i>Dactylopius coccus costa</i>) bajo condiciones semicontroladas en la región de milpa alta.
38	Di Cesare, L.F.; Nani R.	Analysis of volatile constituents of prickly pear Juice (<i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>Fructa sanguinea</i>). Fluess. Obst. 1992, 59 (1), 6-8
39	Dos Reis Edson M.; Nozaki, Jorge	Biological treatment of paper industry effluents with flocculation and coagulation using aluminum and natural polyelectrolites. Braz. Arch. Biol. Technol. 2000, 43(1) 125-31
40	Duke James A.	Phytochemical and Ethnobotanical database. Agricultural Reserch Service USA.
41	El-Kossori R.L.; Villaume C.; El-Boustani E. Sauvaire Y.; Mejean L.	Composition of pulp, skin and seeds of prickly pear fruit (<i>Opuntia ficus-indica</i>) Plant Food Hum Nutr. 1998; 52 (3) : 263-70
42	El-Moghazy, A.M.; El-Sayyad, S.M; et al	A phytochemical study of <i>Opuntia ficus-indica</i> (L) Mill cultivated in Egypt. Egypt. J. Pharm. Sci. 1982 (Pub. 1984). 23(1-4), 247-54
43	Endo, Setsuko; Ikeda, Masako; Mitsunashi Tatsuo	Composition of seed oil from <i>Opuntia ficus-indica</i> . Difference between ripe and immature seeds. Tokyo Gakugei Daigaku kyo, 1985, 37, 17-20
44	Escamilla Hurtado	Proyecto para la industrialización de la tuna. Tesis: UNAM 1977
45	Fernandez Landeros y Ollivivier M.C.	Estudio químico del nopal. Tesis: UNAM (ENCO) 1949.
46	Fernandez M.L.; Lin E.C.; Trejo A.; McNamara D.J.	Prickly pear (<i>Opuntia SP</i>) pectin reverses low density lipoprotein receptor suppression induced by a hypercholesterolemic diet in Guinea pigs. J. Nutr. (1992 Dec) 122 (12) :2330-40
47	Fernandez M.L.; Lin E.C.; Trejo A.; McNamara D.J.	Prickly pear (<i>Opuntia SP</i>) pectin alters hepatic cholesterol metabolism without affecting cholesterol absorption in Guinea pigs fed a hypercholesterolemic diet. J. Nutr. (1994 Jun) 124 (6) :817-24
48	Fernandez M.L.; Trejo A.; McNamara D.J.	Pectin isolated from prickly pear (<i>Opuntia SP</i>) modifies low density lipoprotein metabolism in cholesterol-fed Guinea pigs. J. Nutr. (1990 Nov) 120 (11) : 1283-90
49	Fernandez-Lopez J.A. and Almela L.	Application of high-performance liquid chromatography to the characterization of the betalain pigments in prickly pear fruits. Journal of chromatography A 2001, 913: 1-2:415-420
50	Flores Valdez C.A.	El nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i> var. <i>Copena F1</i>)

		como forraje. Nueva Epoca # 7-8: 77-83 UACH.
51	Flores Valdez Caudío A.; Aranda Osorio G.	Opuntia-base ruminant feeding systems in México. The nopal program. CIESTAAM. Univ. Of Chapingo, Méx.
52	Flores Valdez, Claudio; Luna Esquivel Juan M.; Ramirez Moreno Pedro P.	Mercado Mundial del nopalito. Centro de Inv. Economicas, sociales y tecnológicas de la Agroindustria y de la Agric. Mundial (CIESTAAM). Univ. Auton. De Chapingo, Méx. Dic. 1995
53	Flores Valdez, Claudio; Luna Esquivel Juan M.; Ramirez Moreno Pedro P.	Mercado Mundial de la tuna. Centro de Inv. Economicas, sociales y tecnológicas de la Agroindustria y de la Agric. Mundial (CIESTAAM). Univ. Auton. De Chapingo, Méx. Dic. 1995
54	Forni, Elisabetta; Polesello, Andrea	A preliminary characterization of some pectins from quince fruit (<i>Cydonia Oblonga</i> Mill) and prickly pear (<i>Opuntia ficus-indica</i>) peel. Carbohydr. Polym. 1994, 23(4), 231-4
55	Forni, Elisabetta; Polesello, Andrea; Montefiori Dario; Maestrelli Andrea	High performance liquid chromatographic analysis of the pigments of blood-red prickly pear (<i>Opuntia ficus-indica</i>). J. Chromatogr. 1992, 593(1-2), 177-183
56	Frati Munari A.C.; Licona Quesada R.; Araiza Andraca C.R.; Lopez Ledesma R.; Chavez Negrete A	Acción de <i>Opuntia Streptacantha</i> en individuos sanos con hiperglucemia inducida. Arch. Invest. Med. (Méx) (1990 Abril-Jun.) 21 (2): 99-102
57	Frati Munari A.C.; Rios Gil U.; Islas Andrade S.; Ariza Andraca R.; Lopez Ledesma R.	Duración de la acción hipoglucemiante de <i>Opuntia Streptacantha</i> Lem. Arch. Invest. Med. (Méx) (1989 Oct.- Dic.) 20 (4) : 297-300
58	Frati Munari A.C.; Xilotl Diaz N.; Altamirano P.; Ariza Andraca R.; Lopez Ledesma R.	The effect of two sequential doses of <i>Opuntia Streptacantha</i> upon glycemia. Arch. Invest. Med. (Méx.) (1991 Jun-Dic.) 22 (3-4) : 333-6
59	Frati Munari A.C., et al.	Acción hipoglucemiante de diferentes dosis de nopal (<i>O. Streptacantha</i>). Arch. Invest. Med. (Méx.) 1998 Abr. Jun) 20(2): 197-201
60	Frati Munari A.C.; Altamirano Bustamante E.; Rodriguez Barcenás N.; Ariza Andraca R.; Lopez Ledesma R.	Acción hipoglucemiante de <i>Opuntia streptacantha</i> Lemaire: Investigación con extractos crudos. Arch. Invest. Med. (Méx) (1989 Oct.-Dic.) 20 (4) : 321-5
61	Frati Munari A.C.; De leon C.; Banales Ham M.B.; Ariza Andraca R.; Lopez Ledesma R.; Lozoya X.	Influencia de un extracto deshidratado de nopal (<i>Opuntia ficus indica</i> Mill) en la glucemia. Arch. Invest. Med. (Méx.) (1989 Jul-Sep.) 20 (3): 211-6
63	Frati Munari A.C.; Vera Lastra O.; Ariza Andraca R.	Evaluation of nopal capsules in diabetes mellitus. Gac. Med. Méx. (1992 Jul.-Agos.) 128 (4) : 431-6
64	García Rodríguez Joaquín	La comercialización del nopal en el mercado interno y externo. Tesis: UNAM 1996
65	Giral F. y Suarez C.	Vitamina C contenida en lugumbres y otros vegetales mexicanos. Ciencia 4, 66-9; 1943.
66	Golubov Jordan; Mandujano María C.; Soberón J.	La posible invasión de <i>Cactoblastis cactorum</i> Berg

		a México. Cactáceas y suculentas Mexicanas, Tomo XLVI año 46 No. 4 Oct.-Dic. 2001
67	Gonzalez castañeda, Fernando.	Evaluación del nopal como sustituto parcial de alfalfa en la alimentación de vacas lecheras en producción. Tesis: UNAM 1994
68	Gordillo Reyes Blanca	Efecto de dosis gigantes de nopal <i>Opuntia Steptacantha</i> Lem. sobre la glucosa e insulina serica en pacientes con diabetes. Tesis: 1987 UNAM
69	Guevara Arauza Juan C.	Estudio de los efectos de las atmosferas modificadas durante el almacenamiento del nopal. Tesis: UNAM 2000
70	Guevara Arauza Juan C.	Estudio para evaluar las condiciones del proceso y almacenamiento del nopal. Tesis: UNAM 1998
71	Gurrieri Sergio; Miceli Laura; Lanza C.Maria; Tomaselli Filippo; et al.	Chemical characterization of sicilian prickly pear(<i>Opuntia ficus-indica</i>) and perspectives for the storage of its juice. Journal of agricultural and food chemistry 2000, 48:1 5424-5431
72	Horst Berger S. Centro Estud. Postcosecha CEPOC. Fac. Cs. Agrar. Forest. Univ. Chile.	Controlled atmosphere and use of containers for cactus pear for export. International Symposium proceedings: Cactus pear and nopalitos processing and uses. Chile
73	Ibañez Camacho R.; Meckes Lozoya M.; Mellado Campos V.	The hypoglycemic effect of <i>Opuntia Streptacantha</i> sin different animal experimental models. J. Ethnopharmacology (1983 Mar) 7(2): 175-81
74	Ibañez Camacho R.; Roman Ramos R.	Hypoglycemic effect of <i>Opuntia cactus</i> . Arch. Invest. Med. (mex)(1979) 10 (4): 223-30
75	Jaramillo Flores M.E.; Gonzalez Cruz L; et al	Effect of different heat treatments on the retention of carotenoids in nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>) Dept. Grad. Inv. Alim., ENCB-IPN Méx.
76	Johnston J.H.	The Australian prickly pear problem. Rept. Australian Assoc. Adv. Sci. 1924 6, 347-401.
77	Joubert Elizabeth	Processing of the fruits of five prickly pear cultivars grown in South Africa. Int. J. Food Sci. Technol 1993, 28(4), 377-387
78	Karawya M.S.; Wassel G.M.; Baghdadi H.H.; Ammar, N.M.	Mucilages and pectins of <i>Opuntia</i> , Tamarindus and Cydonia. Planta Medica 1980(suppl.) 68-75
79	Kiesling Roberto	Origen, domesticación y distribución de <i>Opuntia ficus-indica</i> . Instituto de Botánica Darwinion C.C.22(1642) San Isidro Argentina.
80	Lee, Y-C; Hwang K.H.; Han D.H.; Kim S.D.	Composition of <i>Opuntia ficus-indica</i> Kor. J. Food Sci., 1987 29:847
81	León Chapa, Glodoveo de	Efecto de capsulas de nopal (<i>Opuntia ficus-indica</i>), sobre los niveles de glucemiantes en pacientes con diabetes mellitus tipo II y en las prueba de tolerancia a la glucosa en sujetos sanos. Tesis: 1988 UNAM
82	Linares Camaño, Araceli	La explotación racional de los recursos naturales

		como alternativa de desarrollo regional en Ajacuba y Tetepango Hidalgo: Planta procesadora de nopal. Tesis: UNAM 1999
83	Ljubica Galleti G. Centro Estud. Postcosecha CEPOC. Fac. Cs. Agrar. Forest. Univ. Chile.	Conservation of cactus pear: Temperature and modified atmosphere. International Symposium proceedings: Cactus pear and nopalitos processing and uses. Chile
84	Lopez Mercedes G; Macias Rodriguez Lourdes	Nutraceutical-volatiles of nopal(<i>Opuntia spp</i>) by SPME-GC-MS Unid. biotecnologia e ingenieria genética de plantas. CIEA-IPN Irapuato Gto., Méx.
85	Losada H; Neale M.; Rivera J. And et al.	Traditional agricultural and animal production in the southeast of México city as a resource for sustainable agriculture.4. The presence and experimental utilisation of the "nopal" vegetable (<i>Opuntia ficus-indica</i>) as an important sustainable crop of terraced areas. Livestock Research for Rural Development 8:2 July 1996
86	Majdoub Hatem; Roudesli Sadok; Deratani Andre	Polysaccharides from prickly pear and nopals of <i>Opuntia ficus-indica</i> : Extraction, characterization and polyelectrolyte behavior. Polym. Int. 2001, 50(5), 552-560
87	Martinez Hernandez, Elvira	Oportunidad de agroindustria del nopal, Villa Milpa Alta. Tesis: UNAM 2002
88	McGarvie, Donald; Parolis, Haralambos	Methylation analysis of the mucilage of <i>Opuntia ficus-indica</i> . Carbohydr. Res. 1981, 88(2): 305-314
89	McGarvie, Donald; Parolis, Haralambos	The acid-labile, peripheral chains of the mucilage of <i>Opuntia ficus-indica</i> Carbohydr. Res. 1981, 94:57-66
90	Meckel Lozoya M.; Ibañez Camacho R.	Hypoglycaemic acticity of <i>Opuntia Streptacantha</i> throughout its annual cycle. Am. J. Chin. Med. (1989) 17 (3-4):221-4
91	Meckel Lozoya M.; Roman Ramos R.	<i>Opuntia Streptacantha</i> : A coadjutor in the treatment of diabetes mellitus. Am. J. Chin. Med. (1986) 14 (3-4): 116-8
92	Medina Beltran Gustavo	Efecto sobre la glucosa e insulina sanguineas de diferentes especies de <i>Opuntia</i> (Nopal). Tesis: 1985 UNAM
93	Mella Rojas M.A.	Bromatological study of tunas (<i>Opuntia ficus-indica</i>) and pears (<i>Pyrus communis</i>). Anales Fac. Quim. Farm. Univ. Chile 10, 94-8 (1985).
94	Menzel E.	Hypoglycemic substances. Bull. Res. Council Israel, Sect. E102, 235-6 (1963)
95	Mendoza Zurieta, Victor	Efecto hipoglucemiante del nopal <i>Opuntia Steptocantha</i> Lem. en diabeticos con diabetes insulinodependientes. Tesis: 1989 UNAM
96	Moises A. Oliveira	Production of fungal protein by solid substrate fermentation of cactus cereus peruvianus and <i>Opuntia ficus-indica</i> .

		Quim. Nova, 2001, 24:3, 307-310
97	Mondragon Jacobo C.; Pérez Gonzalez S.	Native cultivars of cactus pear in México. J. Janick (ed.), Progress in new crop. ASHS Press, Arlington, VA. p. 446-450.
98	Mulas M.	Medical properties and yield possibilities of the prickly pear (<i>Opuntia spp</i>) in the mediterranean environment. Acta Horticulturae (1993) 331:79
99	Mortensen, Kay S.; Haggmann, Mark J.; Jessop, H.A.	Explosive slurry containing finely divided carbonaceous material. U.S. Pat 3,507,718
100	Nefzaoui A.; Ben Salen H.	Opuntia: A strategic fodder and efficient tool to combat desertification in the wana region. Institut national de la Recherche Agronomique de Tunisie. Rue Hédi Karray, Ariana 2049 Tunisia.
101	Nieddu G.; De Pau L.; Schirra M.; Dhallewin G.	Chemical composition of fruit and seed of cactus pear during early and late induced crop ripening. ISHS Acta horticulturae 438: III International Congress on Cactus pear and cochenille
102	No Conocido	El rojo tesoro de la cochinila. Revista BioPlanet (Argentina).
103	No Conocido (sitio de internet)	Estandarización del cultivo y cosecha de cochinilla en la región de Tecamachalco Puebla.
104	No Conocido (sitio de internet)	Cochineal and Carmine. Non-wood forest products for rural income and sustainable forestry.
105	Nordal Arnold; Krogh Anne; Ognér Gunnar	The occurrence of phorbic acid in plants. Acta Chem. Scand. 19(7), 1705-8 (1965)
106	Núñez Vega Mónica	Uso de infusión de nopal como sustituto de saliva en pacientes con xerostomía causada por radioterapia de cabeza y cuello y quimioterapia. Tesis: 1999 UNAM
107	O'Gorman Helen	Plantas y flores de México. Ed. UNAM
108	Olvera Gonzales Jose R.	Estudio comparativo del nopal (<i>Opuntia Sp</i>) y de la fibra combinada (<i>Plantago psyllium</i> y fibra de trigo) en un grupo de pacientes con diabetes mellitus no insulino dependientes socio-economicamente marginados. Tesis: 1995 UNAM
109	Oropeza M. R.; Garcia R. M.E.; Coronado M.I. M Prof. Invest. E.S. I Q.I.E en I.P.N. (Zacatenco)	Aplicación del polielectrolito de la savia del nopal mexicano (<i>Opuntia ficus-indica</i>) en la clarificación de suspensiones coloidales.
110	Ortuno Hernandez Teresa	Aportación al estudio de la goma del nopal. Tesis: UNAM 1951
111	Paredes Lopez O. y Rojo Burgos R.	Estudio de enlatado de jugo de tuna. Tecnología de Alimentos Sep.-Oct. (1973) 237-240.
112	Park E.-H; Chun M.-J.	Wound healing activity of <i>Opuntia ficus-indica</i> Fitoterapia 2001, 72:2 165-167
113	Park Eun-Hee; Kahng Ja-Hoon; Lee Sang Hyun	An anti-inflammatory principle from cactus Fitoterapia 2001, 72: 3 288-290
114	Park Eun-Hee; Kahng Ja-Hoon; Paek Eun-Ah	Studies on the pharmacological actions of cactus: Identification of its anti-inflammatory effect. Arch. Pharmacol. Res. 1998, 21 (1), 30-34
115	Parra de la Tijera Ignacio E.	Planeación y evaluación de una planta procesadora

		de nopal. Tesis: UNAM 1999
116	Paulsen Berit Smestad; Lund Per Steinar	Water-Soluble polysaccharides of <i>Opuntia ficus indica</i> CV "Burbak's spineless" Phytochemistry 1979, 18(4), 569-71
117	Perez Navarrete Marisela	Carcaza para máquina desespinaadora del nopal verdura. Tesis: UNAM 2001
118	Pérez Sandi Cuen Mayra	Nopales y tunas. Encontrado en: internet.
119	Petronici Clara; Lotti Goffredo; Tartaglia F.P.	Glyceride composition of the <i>Opuntia ficus-indica</i> seed oil. Ind. Agr. 1969, 7 (9-10), 385-9
120	Piatteli Mario, and et al.	Yellow pigments of centrosperms (betaxanthin). Isolation and constitution of opuntiaxanthin Rendiconti Accademia della Scienze fisiche e matematiche Napoli 30(4), 23-8 (1963)
121	Piatteli Mario, and et al.	Further researche on betaxanthins. Rend. Accad. Sci. Fis. Mat. Napoli 32, 55-6 (1965)
122	Piatteli Mario; Minale Luigi	Pigments of centrospermae-I. Betacyanins from phyllocactus hybridus and <i>Opuntia ficus-indica</i> Phytochemistry 3 (2), 307-11 (1964)
123	Piatteli Mario; Minale Luigi ; Nicolaus R.A.	Pigments of centrospermae IV. Biogenesis of indicaxanthin and betanin in <i>Opuntia ficus-indica</i> L. Phytochemistry 4(4), 593-7 (1965)
124	Piatteli Mario; Minale Luigi ; Prota Giuseppe	Isolation structure and absolute configuration of indicaxanthin. Tetrahedron 20 (10), 2325-9 (1964)
125	Piatteli Mario; Minale Luigi ; Prota Giuseppe	Isolation and structure of indicaxanthine, a β -xanthine from <i>Opuntia ficus-indica</i> . Rend. Accad. Sci. Fis. Mat. Napoli 31, 39-41 (1964)
126	Prieto Melendez María de L.	Elaboración de un cristalizado a base de nopal Tesis: UNAM 1995
127	PROFECO	Mermelada de nopal. Rev. Consumidor No. 303, Mayo 2002
	PROFECO	Pintura de nopal. Rev. Consumidor No. 303, Mayo 2002
128	Ramírez González Alberto	Diseño y fabricación de un prototipo de máquina peladora de nopal. Tesis: UNAM 1994
129	Ramírez Medina German	Perspectivas de la utilización del nopal y la tuna. Tesis: UNAM 1981
130	Reti L.	Extraction of Cactus Alkaloids. Journal of the American Chemical Society, 1951, p 1767.
131	Ricevuto-Solina A.; Guzzardi P.	The oil of seeds of prickly pears. Ann. Chim. Applicata 31, 273-8 (1941)
132	Rodríguez Barcenás Norma	Investigación del efecto hipoglucemiante de extractos crudos del nopal (<i>Opuntia Sireptocantha</i> lem.) en pacientes con diabetes mellitus no dependientes de insulina. Tesis :1988 UNAM
133	Rodríguez Martínez	Anteproyecto de una agroindustria para la elaboración de dulces a base de nopal. Tesis: UNAM 1983

134	Rodriguez Zebadua Sara	Determinación cromatografica de aminoácidos libres en el nopal. Tesis: UNAM 1961
135	Saenz C.; Estevez A.M.; Sepulveda E.; Mecklenburg P.	Cactus pear fruit: A new source for a natural sweetner. Plant Food Nutr. 1998; 52(2): 141-9
136	Sáenz Hernandez Carmen Fac. Cs. Agrar. Forest. Univ. Chile.	Nopal and cactus pear processing alternatives. International Symposium proceedings: Cactus pear and nopalitos processing and uses.
137	Sam-Pin Lee; Suk-Kyung Lee and Young-Duck Ha	Alcohol fermentation of <i>Opuntia ficus-indica</i> fruit juice J. Food Sci. Nutr. 2000, 5 (1). 32-36
138	Sanchez Martinez Lilia	Propiedades humectantes de los extractos de <i>Opuntia rastrera</i> (nopal) y <i>Myrtillocactus geometrizans</i> (organo) Tesis: UNAM 1998
139	Sanchez Marin Rodrigo	Modulo procesador de nopal. Tesis: UNAM 1996
140	Sanfilippo G; Cannava A.	The glucides present in the decoction of the flowers of <i>Opuntia ficus-indica</i> . Bull. Soc. Ital. Biol. Sper. 12, 73-4 (1937)
141	Sawaya W.N.; Khalil, J.K.	Nutritive value of prickly pear seed, <i>Opuntia ficus-indica</i> . Plant food Hum. Nutr., 1983, 33:91
142	Sawaya W.N.; Khatchadourian H.A.; Muhammand H.M.	Chemical characterization of prickly pear pulp, <i>Opuntia ficus-indica</i> , and the manufacturing of prickly pear jam. J. Food Technol. 1983, 18(2), 183-93
143	Scifoni Mario	Additive for Otto cycle engines and its fuel mixture. U.S. Pat. 4,499,267
144	Schirra M. Inst. Fisiolog. Maturaz. Conservaz. Frutto delle specie arboree Medit., Naraxinieddu, Oristano, Italy.	Storage trials of cactus pear (<i>Opuntia ficus-indica</i> Miller L.) fruit with non-conventional methods. International Symposium proceedings: Cactus pear and nopalitos processing and uses. Chile
145	Sepúlveda E., Elena Depto. Agroind. Tec. Alim. Univ. Chile.	Cactus pear fruit potential for industrialization. International Symposium proceedings: Cactus pear and nopalitos processing and uses.
146	Shalaby, A.F.; Dowidar, A.E.; Helmy, M.A.; Khalil H.A.	Phytochemical studies on <i>Opuntia ficus-indica</i> fruit sugars, organic acid and minerals. Egypt. J. Chem. 1981(Pub. 1982)24(4-6),295-8
147	Shapiro Karen; Gong Willian C.	Natural Products used for diabetes. J. Am. Pharm. Assoc. 2002; 42: 217-26
148	Sitio de internet.	Figue de barbarie. Fruit Légumes & Santé : Le site des fruits et légumes frais et de la Santé.
149	Socha Aaron M.	From areoles to zygocactus: An evolutionary masterpiece. A synopsis of the family cactaceae. The New York botanical garden.
150	Somilleda Callejas Lucia	Efecto de chile(<i>Capsicum annum</i>) y de nopal(<i>Opuntia Sp</i>) sobre la actividad hipoglucemiante de la glibenclamida en ratas wistar. Tesis: 1999 UNAM
151	Stintzing Florian C., Schieber Andreas. And Carle Reinhold	Amino acid composition and betaxanthin formation in fruit from <i>Opuntia ficus-Indica</i>

		Planta Med. 1999, 65(7), 632-635
152	Stintzing F.C., Schieber A. And Carle R	Identification of betalains from yellow beet (<i>Iseta vulgaris</i> L.) and cactus pear (<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill) by high-performance liquid chromatography-electrospray ionization mass spectrometry. Journal of agricultural and food chemistry 2002, 50:8: 2302-2307
153	Stintzing F.C., Schieber A. And Carle R.	Amino acid composition and betaxanthin formation in the fruits from <i>Opuntia ficus-indica</i> Planta medica 1999, 65:7: 632-635
154	Strack, Dieter; Engel, Ute; Wray, Vicyor	Neobetanin: A new natural plant constituent Phytochemistry 1987, 26:8 2399-2400
155	Teles Francisco Franco Feitosa	Nutrient analysis of prickly pear, Linn (<i>Opuntia ficus-indica</i>). Ph. D. Thesis. Univ. Arizona, Tucson, Ariz. 1977 169 pp. Ann. Arbor, Michigan (Univ. Microfilms International)
156	Teles Francisco Franco Feitosa	Protein and amino acid of nopal <i>Opuntia ficus-indica</i> . Rev. Ceres 1997, 44 (252), 205-214
157	Teles Francisco Franco Feitosa; et al	Prickly pear (<i>Opuntia ficus-indica</i>) cactus as a source of Vitamin A. Rev. Ceres 1994, 41 (236), 396-406
158	Teles F. F. Feitosa ; Stull, J. Warren; et al	Amino and organic acids of the prickly pear cactus <i>Opuntia ficus-indica</i> . J. Sci. Food Agric. 1984, 35 (4) 421-5
159	Trachtenberg Shlomo; Mayer Alfred M	Mucilage cells, calcium oxalate crystals and soluble calcium in <i>Opuntia ficus-indica</i> . Annals of Botany 1982 50(4); 549-57
160	Trachtenberg, Shlomo; Mayer, Alfred M	Quantitative autoradiography of mucilage secretion in <i>Opuntia ficus-indica</i> (L.) Mill. Biol. Cell. (1981)1982, 44(1), 69-76
161	Trachtenberg Shlomo; Mayer Alfred M	Biophysical properties of <i>Opuntia ficus-indica</i> mucilage. Phytochemistry 1982, 21:12 2835-2844
162	Trachtenberg Shlomo; Mayer Alfred M	Composition and properties of <i>Opuntia ficus-indica</i> mucilage. Phytochemistry 1981, 20: 12 2665-2668
163	Valencia Acevedo Ma. A./ Nieto Villalobos Z.	Aprovechamiento de la cascara de tuna blanca (<i>Opuntia ficus-indica</i>) para la elaboración de mermeladas y cristalizados. Tesis: UNAM 2001
164	Varnero M. Ma Teresa; Garcia de Cortázar G. De C. Victor. Fac. Cs. Agrar. Forest. Univ. Chile.	Energy and biofertilizer production: alternative uses for pruning-waste of cactus-pear (<i>Opuntia ficus-indica</i> L. Mill.). International Symposium proceedings: Cactus pear and nopalitos processing and uses.
165	Vazquez Cruz Julicel	Planta procesadora del nopal verdura. Tesis: UNAM 2002
166	Vera Lastra Olga L.	Efecto de la ingesta de capsulas con extracto de nopal en las concentraciones séricas de glucosa, colesterol y triglicéridos. Tesis: 1991 UNAM
167	Vidal Concepcion; Varela, G.	Sobre el aminograma del higo chumbo y de la bellota y posibilidades de mejora de la calidad nutritiva de

		<p>sus proteínas. Ars Pharm. 11: 11-12: 413-423 (1968)</p>
168	Villareal F.; De Alba E. y Romero G	<p>Estudio Químico sobre jugos de tunas enlatadas. Ciencias(1964) 23:75-82</p>
169	Villareal F.; Rojas Mendoza P.; et al.	<p>Estudio químico sobre seis especies de nopal. Ciencia Mexicana (1961) 22:59-65.</p>
170	Wayland Morales Rodrigo Ing. Alim. Univ. Chile.	<p>La energía limpia y ecológica del nopal. Waste magazine On line.</p>
171	Wills, R.B.H.;Lim, J.S.K.; Greenfield, H.	<p>Composition of Australian foods tropical and sub-tropical fruit. Food technol. Aust. 1986, 38 (3), 118-20,122-3</p>
172	Yabuta Osorio Laura E. Y	<p>Selección del método más viable para la conservación del nopal. Tesis: UNAM 1988</p>
173	Yever Garces Maria	<p>Estudio sobre el mecanismo de la acción Hypoglucemiante del Nopal. Tesis: 1985 UNAM</p>