

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO
ESCUELA NACIONAL DE CIENCIAS QUIMICAS

8-3-41

"ESTUDIO QUIMICO DEL NOPAL"

ESTE LIBRO NO DEBE
SALIR DE LA BIBLIOTECA

TESIS

Que presenta para su Exámen Profesional de Químico

Ma. Cristina Fernández Landero Y Ollivier.

1593



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.

Con todo Cariño a mis Padres.

A la Memoria de mi Abuelito.

A mis maestros.

Este trabajo fué realizado en el laboratorio de materias primas de la Escuela Nacional de Ciencias Químicas bajo la dirección del Ingeniero Químico Pablo Hops.

S U M A R I O

Capítulo I.—	INTRODUCCION
	1.—BOTANICA
	2.—HISTORIA
Capítulo II.—	1.—MATERIA PRIMA
	2.—METODOS Y PARTE EXPERIMENTAL
	A.—Humedad
	B.—Cenizas
	C.—Sustancia orgánica
	D.—Valor nutritivo
Capítulo III.—	RESULTADOS
Capítulo IV.—	DISCUSION
Capítulo V.—	RESUMEN Y CONCLUSIONES
Capítulo VI.—	BIBLIOGRAFIA.

INTRODUCCION

Dentro de la flora mexicana, ya de por sí rica en representantes, destaca una familia importante: la de las "Cactáceas", que cuenta entre sus principales géneros el de las "Opuntias" cuyas especies son vulgarmente conocidas como nopales.

Su fácil propagación y adaptación ha llegado a constituir un verdadero problema en algunos países, pues invadiendo tierras útiles para la agricultura ha impedido el desarrollo de plantas más productivas ya que dicho género tiene en la actualidad poca o casi nula aplicación industrial.

Teniendo esto en cuenta y con el propósito de utilizar un vegetal tan extendido en nuestro país, se ha formulado este estudio, efectuando para ello análisis de algunas especies de Opuntia que crecen en el valle de México para deducir a partir de los datos obtenidos si es posible darle alguna aplicación.

Dichos análisis comprendieron además del estudio del mucílago que secretan algunas especies en cantidad considerable, las determinaciones de nitrógeno, fibra cruda, extracto etéreo, carbohidratos y cenizas.

El trabajo se completó con la determinación del valor alimenticio y vitamina C de los nopales, pues la planta se emplea como forraje y los "artículos" tiernos de algunas especies se usan en preparaciones culinarias principalmente entre la gente del pueblo por su bajo precio.

CAPITULO I

BOTANICA E HISTORIA

1.—BOTANICA.

El nopal pertenece al género *Opuntia* (1), subfamilia *Opuntioidea*, familia de las *Cactáceas* (Sist. de Alwin Berger 1929).

El género "Opuntia" comprende varios subgéneros, uno de los cuales es el *Platyopuntia* al que pertenecen las especies con las que se llevó a cabo este trabajo.

De las 258 especies que comprende este grupo, 100 se encuentran representadas en México, encontrándose distribuidas en la altiplanicie especialmente en los Estados de San Luis Potosí, Guanajuato, Hidalgo, Querétaro y Zacatecas.

La facilidad con que se propaga hace que no se practique su cultivo, siendo su formación explicada de la manera siguiente: al recolectar el fruto se desprenden gran número de "pencas", que son arrojadas en diversos lugares donde pronto enraízan y dan origen a nuevas plantas. Así se forman lentamente los grandes bosques de nopales. Aún los fragmentos de "artículos" que sostienen las tunas y que son desprendidos al cosechar estos dan nacimiento a nuevos nopales junto a las demás plantas formando densos matorrales (2). El ganado también es uno de los factores más importantes en la multiplicación del nopal, pues destrozan las plantas esparciendo las "pencas" por todos lados (3).

En Texas se ha cultivado reduciendo las plantas a "pencas" y esparciéndolas en derredor sin ningún esfuerzo para plantarlas (2). Si se efectúa esta operación a principios de la estación húmeda y lluviosa las plantas arraigan y crecen con facilidad.

Si se quiere conseguir el máximo de rendimiento es necesario cultivar la tierra. Se abren surcos superficiales distantes 1.80 metros. En ellos se depositan las "pencas" a distancia de 90 centímetros una de otra. Se abre otro surco para cubrir las "pencas"; no deben quedar muy enterradas porque se pudren. Se debe efectuar la siembra en la estación seca. En caso de que no se cubran con tierra la siembra se tiene que efectuar como ya se dijo antes, en la estación lluviosa y cálida.

Al término del segundo año de sembrado es suficiente dejar una "penca" para que se desarrollen nuevas plantas; en cortes posteriores conviene dejar una porción mayor. Se cosechan cada dos años (2).

Entre las "Platyopuntias" se encuentran las especies que mayores productos económicos proporcionan, pues de ellas se obtienen las tunas, cuya explotación es de importancia en México, y los "artículos" que se emplean como alimento y forraje.

Las especies que se estudiaron fueron las siguientes (1):

Opuntia ficus indica. L. Miller:

Pertenece a la serie "ficus indicæ".

Nombre vulgar: Nopal de Castilla, tuna de Castilla, tuna mansa, tenochtili y zapotnochtli.

Plantas arborecentes que pueden medir hasta 5 metros de altura; "artículos" oblongos o espatulados de 30 a 50 cm. de longitud o más; areolas distantes pequeñas, con fieltro blanco, sin espinas, en ocasiones sólo unas glóquidas amarillas de 7.5 a 10 cm. de diámetro, ovario de 5 cm. de longitud, tuberculado, fruto generalmente rojo, comestible.

Fué una de las primeras cactáceas importadas a Europa en donde se cultivó y pronto se aclimató especialmente en la zona del litoral del Mediterráneo: le llamaron chumbo o chumbera en España, Chardón Indica, Figuier Indica, Figuier a raquette, en Francia, los árabes, higos de los cristianos.

Sus frutos fueron muy gustados, y se hicieron populares con el nombre de "higos de las Indias" de donde tomó el nombre la especie. Cuando los moros fueron expulsados de España propagaron la especie en el norte de África.

Se encuentra en todo el país; produce las tunas más agradables.

Opuntia robusta Weendland:

Serie: "Robustæ".

Nombre vulgar: Tuna camuesa, nopal camueso.

Es una especie muy vigorosa, muy ramosa, no muy alta, con "artículos" orbiculares u oblongos, a veces casi circulares, de 20 a 25 cm. de longitud por 10 a 12 o más de anchura, gruesos de color verde azulado o glauco; hojas de 4 mm. rojizas y agudas; espinas de 8 a 12 o menos, vigorosas y de diversas dimensiones, amarillas o morenas con la punta blanca; las plantas cultivadas carecen de espinas; flores amarillas, frutos globosos o elípticos, rojos, comestibles.

Distribución geográfica: Estados del Centro de la República, silvestre o cultivada.

Opuntia tomentosa Salm Dyck:

Serie: "Tomentosae".

Plantas de 3 a 6 metros de altura con la copa ancha y tronco liso de 16 a 30 centímetros de diámetro; "artículos" estrechamente obovados, de 10 a 12 cm. de longitud, pubescentes, tuberculados cuando jóvenes; glóquidas amarillas, espinas ausentes, algunas veces existen una o más flores anaranjadas con filamentos blancos o de color rosa; estilo purpúreo, más largo que los estambres; fruto rojo ovoide, semilla de 4 milímetros de anchura.

Distribución geográfica: Valle de México y Mesa Central. Ha sido exportado hasta Australia.

Opuntia Hyptiacantha Weber:

Serie: "Streptacanthae".

Nombre vulgar: tuna chaveña, nopal cadillo, nopal cascarón. Plantas arborescentes hasta de 3 a 4 metros de altura, muy ramosas; con "artículos" obovados de color verde oscuro, de 20 a 30 cm. de longitud, areolas distantes, entre sí de 2 a 3 cm. de longitud, las de los "artículos" jóvenes tienen una espina y algunos pelos pungentes, espinas de los artículos viejos de 4 a 6, aplanadas, extendidas de 1 a 2 cm. de longitud; glóquidas morenas escasas; flores rojas; fruto globular amarillento provisto de areolas con glóquidas.

Las especies de esta serie han sido cultivadas probablemente desde los toltecas, sus frutos tienen un sabor muy agradable, son alimenticias y sirven para la preparación de diferentes bebidas y en confitería y repostería.

Distribución geográfica: Altiplanicie mexicana, Aguascalientes, Puebla, Oaxaca, Estado de México, Distrito Federal.

Opuntia megacantha Salm Dyck:

Serie: "Streptacanthae".

Nombre vulgar: nopal de Castilla.

Plantas que miden hasta 5 metros de altura, con tronco leñoso más o menos bien definido; "artículos" anchamente obovados, de 20 a 40 cm. de longitud y a veces mucho más, de color verde, o ligeramente glauco, areolas elípticas, más bien pequeñas distantes entre sí 4 a 5 centímetros, cuando jóvenes llevan lana café; espinas 1 a 5 blancas cuando jóvenes, más tarde de color gris; glóquidas amarillas caducas, escasas; flores amarillas con un ligero tinte rojo; ovario anchamente obovado; fruto grande amarillento.

Distribución geográfica: Existe cultivada en la Mesa Central.

2.—HISTORIA.

Antes del descubrimiento de América las distintas tribus que habitaban el antiguo Anáhuac, y muy especialmente los nahoas daban a las cactáceas un lugar preferente en su vida económica, social y religiosa.

Las "Opuntias" particularmente tuvieron gran preponderancia tanto por los productos alimenticios que de ellos se obtenían, como por sus cualidades medicinales. Sahagun en su "Historia general de las cosas de la Nueva España" (4) dice: "Hay unos árboles en esta tierra que se llaman "nopalli", quiere decir tuna o árbol que lleva tunas; es montruoso este árbol, el tronco se compone de las hojas y las ramas se hacen de las nuevas hojas, las hojas son anchas y gruesas, tienen mucho zumo y son viscosas; tienen espinas las mismos hojas. La fruta que en estos árboles se hace se llama tuna (y) son de buen comer; es fruta preciosa, y las buenas de ellas son como camuesas. Las hojas de este árbol cómenlas crudas y cocidas. El nombre propio de tuna es "nochtli".

Acerca de sus propiedades medicinales el botánico español Hernández escribe (5) "Las hojas son frías, húmedas y salivosas, donde resulta que el jugo y el de los frutos exprimidos extingue en gran manera el ardor de las fiebres y apaga la sed".

Nos ha legado la Iconografía Indígena numerosas representaciones de este género de plantas como el Tenochtli (Tuna de piedra, incluido en el escudo de la fundación de Tenochtitlán y que todavía ostenta el escudo nacional.

En la civilización de los pueblos de Anáhuac, las "Opuntias" tuvieron una influencia notable ya que distintas tribus errantes concurrían a las zonas en que viven estas plantas en la época de fructificación acabando por fijar ahí su residencia y formando, en estos casos núcleos de población.

Las cactáceas fueron tal vez las plantas que mayor sorpresa causaron en Europa al hacerse el descubrimiento de América, pues se supone que Colón al regresar de las Islas Americanas llevó diversas especies cactológicas que gracias a su fácil adaptación se extendieron por varias partes del mundo. Relatos del Siglo XVI hacen saber que en Europa por esos tiempos eran popularmente conocidas algunas "Opuntias" cuyos frutos recibieron el nombre de "Higos de las Indias" (1).

Los primeros estudios químicos sobre las "Opuntias" datan de 1891, en los que lo estudiaron como forraje; en 1901 Ulpani y Sarcoli vieron las posibilidades de usar el nopal como fuente de alcohol; en 1902 Harley hizo algunos estudios sobre la composición del mucílago (3).

Estudios posteriores se refieren principalmente al nopal como forraje; entre estos conviene mencionar los trabajos efectuados por Griffiths (1905-1909) y Hare (1906 a 1908) (6) y (7).

En algunos lugares como este de Australia, sur de la India, norte de Ceylán, al oriente de la colonia del Cabo y en algunas partes del Mediterráneo las "Opuntias" se han difundido tanto en la actualidad que han llegado a constituir una plaga suprimiendo la vida de otras plantas. En estos lugares se estudiaron varios métodos para su exterminación. Pero como esta era costosa y los resultados poco satisfactorios (8), el gobierno de Queensland, Australia, comisionó en 1912 a Tryon y Johnston para combatir la peste del nopal. Su atención se encaminó a destruir el nopal por medio de enemigos naturales tales como roedores, insectos y enfermedades, pero principalmente buscándole alguna aplicación Industrial. Los comisionados visitaron varios países donde crecía el nopal en abundancia estudiando en todos ellos el problema. El reporte de los resultados obtenidos por la Travelling Comision (Johnston y Tryon) se publicó en 1914.

De 1916-1918 en el Instituto Carnegie (9) estudiaron los azúcares contenidos en el nopal, analizando las plantas tomadas bajo distintas condiciones externas y sujetas a condiciones especiales.

Entre los trabajos más importantes efectuados en los años siguientes está el de Juritz (10) publicado en 1921 en el que discute las posibilidades de utilizar el nopal como alimento de ganado y dieta humana, fuente de fertilizante potásico, de azúcares, vinagre, alcohol industrial, ácido oxálico, así como la aplicación del mucilago.

Tres años después Fowler y Gopalakrishnamurti (11) publicaron estudios del nopal como fuente de alcohol y acetona.

En 1925 Johnston (3) publicó un artículo que es una revisión total del problema en Australia y trata sobre las especies de "Opuntia", la magnitud y velocidad de expansión, control por medios mecánicos y químicos y discute la posibilidad de controlar la plaga utilizándolo como pastura y como materia prima para la fabricación de papel, así como fuente de sales potásicas y mucilago.

Hurdison (12) un año después estudió las hojas de "Opuntia vulgaris", así como los microorganismos presentes en ellas y las fermentaciones que producían. Se puede citar entre los trabajos posteriormente publicados, los de Whitelack y Morrison (13) sobre nopales que crecen en New South Wales, en 1933; los de Delgado (14) en México (1939) en los que trata del nopal como forraje; y en 1946 los estudios llevados a cabo por Picolli (15) en Italia sobre las

ventajas del cultivo del nopal en Libia y Africa Oriental como fuente de alimento para el ganado; después de numerosos experimentos, vió que venía a resolver cuando menos en parte el problema forrajero en los meses de sequía. También se han hecho algunos estudios sobre el contenido de vitaminas del nopal como los trabajos de Cravioto (16) y Giral y Suárez (17) en México y en la Universidad de Catania en Italia (18).

CAPITULO II

MATERIAL, METODOS Y PARTE EXPERIMENTAL

1.—MATERIA PRIMA.

En este trabajo se emplearon como materia prima las articulaciones del tallo de los nopales o sean los "artículos" o "palas" que muchas veces indebidamente se llaman hojas.

En México abunda esta materia prima, pues basta una "pala" para que se desarrolle una nueva planta aún en los terrenos más áridos, duros y pedregosos.

Al coleccionar la materia prima hay que tener en cuenta que las "pencas" deben cortarse lo más cerca posible de las articulaciones, con un machete ordinario recto o curvo y con la hoja enderezada de tal manera que el filo esté en la misma línea que el mango; además como el agua se encuentra en gran cantidad en la materia prima y al secarse hubo mucha pérdida de peso se necesitaron varias "palas" para obtener la cantidad de muestra requerida, por lo que se procuró cortar aquellas "pencas" que tuvieron el mayor número de "artículos" en buen estado, ya que se observó que se conservaban mejor quedando unidas unas con otras como en la planta.

Aunque bastan estas precauciones para conservar el material durante algunos días sin variación aparente, es preferible cortarlo de la planta poco antes de que se prepare para efectuar los análisis a que se sujeta, como se hizo en este caso, pues corre el riesgo de sufrir con el tiempo modificaciones en su composición química.

Las muestras de "Opuntia ficus indica" que se usaron en este trabajo fueron coleccionadas en el mes de junio de nopaleras de Mixcoac, en cambio las muestras de "Opuntias Hyptiacantha, megacantha, robusta y tomentosa" se coleccionaron en el mes de noviembre en la región de San Angel, la última de estas se obtuvo de nopales que crecen en el pedregal.

Preparación de la materia prima para el análisis.

Los "artículos" se limpian cuidadosamente con un cuchillo para quitarles las espinas y glóquidas; libres ya de ellas se cortan en pedazos muy pequeños.

La manipulación se debe efectuar lo más pronto posible con el fin de evitar pérdidas de agua o alguna variación en su composición.

Los pedazos se revolvieron bien y cubiertos se pusieron en una estufa de aire a 98°C, durante 30 minutos. De esta manera la planta muere rápidamente sin dar lugar a que actúen las enzimas, ya que su acción es acelerada por el calor (9). Después se secaron al sol durante 16 a 20 horas. El residuo se pulverizó y revolvió para homogeneizarlo. Las muestras se guardan en frascos de vidrio bien tapadas.

2.—METODOS Y PARTE EXPERIMENTAL.

Las determinaciones que se hicieron fueron las siguientes:
A).—HUMEDAD.

Esta se determinó en muestras frescas y muestras secadas al sol. Para efectuar la primera determinación una cantidad pesada de muestra fué cortada en pedazos pequeños y se colocó en estufa de aire caliente a 98°C durante 15 minutos. Al cabo de este tiempo la temperatura se reguló a 50-60°C y se dejó 8 horas más.

Se hizo también esta determinación en estufa de vacío a 40°C durante 10 horas.

En los dos casos los resultados obtenidos fueron muy semejantes. La segunda determinación de humedad se hizo con la muestra secada al sol preparada como antes se indicó, la que se puso en estufa de aire a 50°C hasta peso constante.

B).—CENIZAS.

En un crisol tarado se quemó una cantidad pesada de muestra a calor bajo hasta librarlo de carbón, después de lo cual se metió en la mufla a una temperatura que no exceda el rojo hasta que el residuo esté blanco o blanco grisáceo, a veces las cenizas quedan un poco verdosas como en este caso debido a las sales de manganeso. Se enfrío en desecador y pesó.

Análisis de las cenizas.

Las cenizas se disolvieron en ácido clorhídrico (1-4) y se evaporó la solución en baño maría a sequedad. Esta operación se repitió 3 veces con el fin de insolubilizar la sílice. Se dejó enfriar y se agregó agua caliente, hirviendo después durante tres o cuatro minutos; la sílice queda como un precipitado blanco gelatinoso, que se filtró y después de lavar con agua acidulada con ácido clorhídrico se calcinó y pesó.

Como las cenizas contienen fosfatos, se eliminaron con solución de molibdato de amonio (19). En el filtrado se determinó fierro y aluminio como óxidos añadiendo amoníaco y calcinando el precipitado (20). La solución que queda contiene los iones calcio, magnesio potasio y algo de manganeso. El primero se cuantó como

óxido, precipitándolo como oxalato de calcio, el cual por calcinación pasa a óxido (20); el magnesio se cuantificó con 8-hidroxiquinolina (19). Para determinar el potasio la solución se evaporó a sequedad y después se calcinó para eliminar las sales de amonio; el residuo que debe quedar blanco se disuelve en agua con unas gotas de ácido clorhídrico y se determinó el potasio como dipicrilaminato (21). El manganeso se determinó en otra muestra disolviéndola en ácido nítrico y usando el método colorimétrico por oxidación del manganeso a ácido permangánico (22).

Para la determinación de aniones se usaron distintas muestras. Los fosfatos se determinaron como pirofosfatos de magnesio, para lo cual la muestra se calcinó con nitrato de magnesio, las cenizas obtenidas se disolvieron en ácido clorhídrico y ácido nítrico y se eliminó la sílice, el fósforo se precipitó como fosfomolibdato de amonio, el precipitado se disolvió en amoníaco y el fósforo se precipitó con mezcla magnésica (19). Otra muestra se calcinó y las cenizas se disolvieron en una cantidad medida de ácido clorhídrico de normalidad conocida y el exceso de ácido se tituló con solución de hidróxido de sodio; la cantidad de ácido que reaccionó equivale a los carbonatos (20). Los cloruros se cuantearon como cloruro de plata y los sulfatos como sulfato de bario (23).

C).—SUSTANCIAS ORGANICAS.

A).—Nitrógeno.—Se siguió el método de Kjeldahl, usando como catalizador selenio (29). Las proteínas se obtuvieron multiplicando el nitrógeno por 6.25.

B).—Extracto etéreo y fibra cruda.—Para estas determinaciones se siguieron los métodos del A. O. A. C. (24).

C).—Azúcares.

Siendo los carbohidratos, después del agua, los principales constituyentes de los nopales se estudiaron más detalladamente que los demás componentes, efectuándose además de su cuanteo, el análisis cualitativo de los azúcares presentes en las diferentes especies de Opuntia.

Se determinaron los azúcares reductores directos y totales para lo que se trató la materia prima como sigue:

I.—Para: Reductores Directos (9)

A una cantidad pesada de muestra pulverizada se añade diez veces su peso de alcohol de 95% y dos a cinco gramos de carbonato de calcio para neutralizar los ácidos y evitar la inversión (ya que el carbonato de calcio da una solución débilmente alcalina

que no es suficiente para causar enolización. Además las sales de calcio de la mayoría de los ácidos orgánicos son casi siempre insolubles en alcohol. La mezcla se calienta a baño maría durante tres horas, se filtra y el residuo se lava con alcohol caliente. Este tratamiento se repite una vez más.

Con el fin de extraer completamente los azúcares, el residuo después de secado se pasa a un soxhlet donde se trata con alcohol de 80% durante 12 horas; la solución alcohólica se mezcla con los filtrados anteriores (24).

Este proceso elimina todos los azúcares solubles en alcohol.

El alcohol se destila entonces a presión reducida quedando una especie de goma café verdosa. Se agrega agua caliente, pero como el residuo contiene además algo de aceite y clorofila que son insolubles, se añade también un poco de carbón animal y la mezcla se calienta a baño maría, esto facilita la filtración y el líquido filtrado queda con un ligero tinte amarillento.

El líquido se defeca con subacetato de plomo, se agrega oxalato de sodio para eliminar el exceso de plomo y se filtra. La solución se aloró a 100ml. Contiene los monosacáridos presentes en el nopal (hexosas y pentosas) (Solución C).

De esta solución se tomaron 25ml. y se hidrolizaron con ácido clorhídrico (5 ml. de solución normal) calentando durante tres horas a 80°C para que la inversión sea completa. (9). La mezcla se neutralizó cuidadosamente con carbonato de sodio y se aloró a 50 ml. (Solución D).

II.— Para: Reductores Totales (9).

El material seco se hirvió a reflujo durante tres horas con solución de ácido clorhídrico al 1% con objeto de hidrolizar de polisacáridos. Esta hidrólisis se hizo también en autoclave a 2.5 lbs. de presión, con la misma cantidad de ácido, siendo en este caso la hidrólisis más completa (11).

La determinación de la concentración óptima del ácido clorhídrico para la hidrólisis (1%) fue determinada después de varias pruebas, pues se requería hidrolizar a monosacáridos todos los disacáridos y polisacáridos incluyendo almidón, dextrinas y la sustancia mucilaginosas, pero no la celulosa que forman las paredes de la planta. El ácido clorhídrico afecta la celulosa mucho menos que otros ácidos (9).

Se encontró que cuando la mezcla de azúcares se hierve tres horas se alcanza un punto final definido; un calentamiento más prolongado y el uso de una nueva cantidad de ácido causa un au-

mento insignificante de azúcares reductores. Más altas concentraciones de ácido atacan la celulosa y no se obtiene un punto definido; mientras que cantidades menores requieren mucho calentamiento para poder hidrolizar el almidón y otros polisacáridos.

La mezcla de la hidrólisis se filtró, y el filtrado se neutralizó con hidróxido de bario agitando constantemente; se calentó a ebullición y se agregó carbonato de bario en pequeñas cantidades hasta neutralidad, usando papel rojo congo como indicador. Se filtró el precipitado formado.

La solución neutralizada se evaporó a sequedad a presión reducida.

El residuo que contiene muchas sales se extrajo con solución al 90% de alcohol caliente y se filtró; la solución alcohólica se evaporó a presión reducida, el residuo se disolvió en un poco de agua y bastante alcohol, eliminándose así las sales restantes. Esta operación se repitió otras dos veces. El residuo consiste de una especie de goma café clara que está formada por los azúcares presentes en el nopal hidrolizados a monosacáridos, y huellas de sustancias inorgánicas. Este residuo se disolvió en agua.

La solución acuosa se trata con solución de subacetato de plomo, y con oxalato de sodio para eliminar el exceso de plomo. Después de este tratamiento la solución de azúcar queda de un color naranja claro; en caso de que quedara oscura se trata con carbón animal. La solución se aloró a 100 ml. (Solución A).

Los azúcares presentes en estas soluciones se analizaron como sigue:

III.—Análisis Cualitativo

1.—Identificación de polisacáridos (25).

Si la solución es alcalina neutralizar o acidular ligeramente con ácido clorhídrico, probar unas cuantas gotas con solución de yodo. Resultado: color azul indica almidón y posiblemente dextrinas. Los almidones pueden ser precipitados de la solución por la adición de un volumen igual de una solución saturada de sulfato de amonio.

Color rojizo indica eritrodextrina si la solución desconocida permanece transparente después del calentamiento; o bien glicógeno si la solución desconocida es opalescente después del calentamiento.

2.—Identificación de monosacáridos y polisacáridos.

Prueba de Fehling; para investigar azúcares reductores. Este reactivo es el más común pero no es muy selectivo por el pH tan elevado al cual actúa.

Prueba con el reactivo de Benedict: la reducción indica fructosa, glucosa, galactosa, pentosas, maltosa y posiblemente sacarosa. Si la solución de Benedict es reducida, se hierve con un exceso de reactivo hasta que el filtrado no se reduzca con una posterior ebullición, se filtra, se acidula con ácido clorhídrico concentrado, se hierve durante un minuto se enfría, se neutraliza con solución de hidróxido de sodio y se prueba de nuevo con el Benedict, la reducción indica presencia de sacarosa y la no reducción ausencia de ella.

Prueba con el licor de Barfoed: sirve este reactivo para efectuar una diferenciación rápida entre los mono y disacáridos reductores. Se añade el azúcar al reactivo y el tubo de ensaye se introduce en un baño de agua a ebullición. Se anota el tiempo cuando se percibe el comienzo de la reducción. Los monosacáridos reducen el Barfoed antes de 3 minutos, los disacáridos requieren hasta 20 minutos. La reducción de este reactivo indica glucosa, fructosa, galactosa, pentosa y posiblemente lactosa o maltosa o ambas.

Estos azúcares se diferencian por sus osazonas, (por su forma de cristalización, tiempo que tardan en formarse y punto de fusión) (26).

Para ayudar esta diferenciación se hacen las siguientes reacciones (27):

3.—Identificación de hexosas.

Reacción del ácido levulínico: Indica presencia de glucosa, fructosa, galactosa, manosa.

Prueba del ácido sacárido: para la glucosa es positiva cuando hay formación de sales ácidas de potasio y plata del ácido sacárico.

Prueba de Selivanoff: la reacción positiva nos indica cetosas y por lo tanto sólo en ausencia sacarosa u otras poliglucosas que por hidrólisis ácida dan fructosa se puede investigar la fructosa.

Prueba del ácido múxico: si es positiva indica presencia de galactosa, si la lactosa está ausente.

4.—Identificación de pentosas.

Reacción de Bial: si da positiva indica presencia de pentosas, ácidos urónicos o cualquier molécula que en medio ácido se descomponga para dar furfural.

Prueba de la anilina: Se utiliza para distinguir las pentosas de los ácidos urónicos. La solución con el reactivo se calienta a ebullición, las pentosas dan inmediatamente color rojo; los ácidos urónicos tardan más en darlo.

Prueba de Rosenthaler: para las metil pentosas, estas dan un color rojo vino permanente, mientras que las aldohexosas dan un color amarillo ligero. Si se usa una gran cantidad de muestra se obtiene un precipitado café con todos los azúcares. Las cetosas dan un color violeta en la prueba de Rosenthaler que cambia a café después de algún tiempo.

Prueba de la bencilhidracina: si da positiva indica presencia de arabinosa.

Prueba del bromoxilonato de cadmio: es característica de la xilosa.

5.—Identificación de ácidos urónicos.

Prueba del naitoresorcinol: en presencia de ácido glucourónico da una solución turbia azulosa con un precipitado azul, en cambio la arbinosa y la xilosa dan un color rojo con una turbidez azulosa. El precipitado del ácido glucourónico disuelto en alcohol da una solución azul con fluorescencia ligera, en cambio el de las pentosas disuelto en alcohol da una solución café rojiza con fluorescencia verde. En éter el precipitado de pentosas y hexosas es insoluble, el de los ácidos urónicos da color violeta azuloso.

IV.—Análisis Cuantitativo.

Los azúcares reductores directos se cuantearon en la solución C, los invertidos en la solución D siguiendo los métodos de Benedict y Bertrand (27) (C y D). Los azúcares reductores totales se cuantearon en la solución A, usando para su determinación los métodos de Benedict y Fehling (24) (A).

Las pentosas se determinaron por el método de Tollens modificado por Krober (23), en las soluciones C y A; los pentosanos presentes en esta última se calcularon multiplicando las pentosas por los factores dados por Krober (E y B).

Se cuanté el dióxido de carbono de los ácidos urónicos por el método de Dickson, Otterson y Link (28).

Los cálculos se efectuaron teniendo en cuenta lo siguiente (9):

- A) Material hidrolizado: monosacáridos y polisacáridos.
- B) Pentosas totales: pentosas y pentosanos.
- C) Reductores directos: monosacáridos, hexosas y pentosas.
- D) Reductores directos más azúcares invertidos.
- E) Pentosas monosacáridos.

A=Azúcares totales.

A—D=Polisacáridos totales.

D—E=Disacáridos—Hexosas.

A—B=Azúcares hexosas polisacáridos.

D—C=Disacáridos.

C—E=Hexosas.

E=Monosacáridos pentosas.

B—E=Pentosanos.

d) Mucilago.

El mucilago proviene de células especializadas del parénquima por hidrólisis de la celulosa de las paredes que pasa a hidrocelulosa formando el mucilago (28).

Las sustancias mucilaginosas (9) son productos que forman soluciones coloidales de consistencia no pegajosa constituidos de carbohidratos, en los cuales los azúcares simples se condensan formando compuestos de gran magnitud molecular. Se ha visto que también intervienen ácidos orgánicos complejos como ácidos urónicos, pequeñas cantidades de proteínas y otras sustancias nitrogenadas así como sales inorgánicas.

Estas sustancias al hidrolizarse dan pentosas y hexosas y están formados principalmente por pentosanos.

1.—Obtención.—

Las "palas del nopal se cortaron en cuádrillos pequeños, se pusieron en una cantidad de agua destilada igual al volumen de los pedazos y se agregaron unas cuantas gotas de formaldehído. Después de 12 horas se filtró através de una tela delgada. El residuo se vuelve a colocar en agua destilada y a filtrar después de doce horas (9). Esta operación se repitió otra vez con agua hirviendo.

Se hicieron también otras extracciones moliendo el nopal y extrayendo el mucilago con agua hirviendo.

El filtrado es claro de consistencia de albúmina de huevo. Por calentamiento se pone un poco café y se vuelve menos espeso probablemente por hidrólisis parcial.

El mucilago se precipita agregando tres veces su volumen de alcohol de 95%; se forma un precipitado gelatinoso blanco que se separa por centrifugación o decantando la solución sobre un filtro de vidrio poroso procurando que pase la menor cantidad posible de precipitado para que no se obstruyan los poros del vidrio. Se deja evaporar el alcohol y se seca al vacío sobre cloruro de calcio.

Para purificarlo se disuelve en agua caliente y se precipita con alcohol, esta operación se efectúa varias veces, en este caso conviene hacer las primeras filtraciones en algodón pues el preci-

pitado se puede recuperar fácilmente de éste disolviéndolo con agua caliente; la última filtración se hace como ya se indicó.

A pesar de estas purificaciones siempre queda una pequeña parte que no se disuelve en agua caliente, se trata probablemente de proteínas coagulables y sales (9). Con yodo no da coloración definida de almidón.

Se trabajó con "Opuntia ficus indica y Opuntia tomentosa".

2.—Análisis del mucílago.

Se determinó:

a.—Cenizas. Calcinando a 600° C durante una hora.

b.—Azúcares:

1.—Reductores directos. No reduce la solución de Fehling.

2.—Reductores totales. Se hidrolizó con ácido sulfúrico al 2.5% a presión de 2 libras durante 1 hora. Esta solución hidrolizada reduce rápidamente el Fehling. Se trata como ya se indicó en el caso de la hidrólisis del nopal, titulando la solución resultante de la hidrólisis con Benedict, y efectuándose las mismas reacciones cualitativas.

3.—Pentosa.—Método de Tollens modificado por Krober. (23).

E.—VALOR NUTRITIVO

a.—) Valor alimenticio como dieta humana.

Siendo el nopal muy consumido en México como alimento es conveniente calcular su valor alimenticio. Para ello se usaron los factores propuestos por Atwater (30) para el cálculo de calorías realmente utilizables por el organismo humano.

Los resultados obtenidos de carbohidratos, grasa (extracto etéreo) y proteína se multiplicaron por los factores dados a continuación que representan las calorías dadas por un gramo de:

Materia nitrogenada	3.68
Carbohidratos	3.88
Materia grasa	8.45

Generalmente se usan como factores 4 para los dos primeros y 9 para el último, facilitándose de esta manera los cálculos.

b.) Valor alimenticio como forraje.

En los forrajes es muy importante conocer su composición química que nos expresa la cantidad y naturaleza de sus principios nutritivos, y su digestibilidad.

Para el cálculo del valor alimenticio se multiplican los datos obtenidos de carbohidratos, grasa y proteína por los factores siguientes: dados por Morrison (14).

			Factores
Proteína digestible =	Proteína	x	0.74
Carbohidratos =	Suma de : Fibra cruda	x	0.42
	y Extracto no nitrogenado	x	0.72
Grasa digestible =	Extracto etéreo	x	0.38

Si se multiplica el resultado de las grasas digestibles por 2.25 y se suma el resultado con las proteínas digestibles y los hidratos de carbono se obtiene el total de digestibles.

La razón de usar el factor 2.25 es la siguiente: El valor energético de las grasas es mucho mayor que el de los carbohidratos y proteínas debido a que contienen más carbono e hidrógeno, y para sumar los tres elementos es necesario reducirlos a una unidad común, esto se logra con el factor mencionado que representa la equivalencia energética constante con otros elementos nutritivos.

La relación nutritiva es la cifra que expresa la relación existente entre las sustancias no nitrogenadas digestibles análogas a los hidratos de carbono y la unidad de proteína bruta digestible. (31).

3.—Determinación de vitamina C.

Se determinó la cantidad de ácido ascórbico y de dehidroascórbico por titulación usando para ello solución de dicloro fenol indofenol. (32).

CAPITULO III

RESULTADOS.

Los análisis citados en el capítulo anterior se efectuaron con cinco especies distintas de nopales y con formas jóvenes de una de ellas, Los resultados obtenidos se agruparon en cuadros en los que se pueden encontrar los valores de: humedad, cenizas, fibra cruda, proteínas, extracto etéreo y extracto libre de nitrógeno, éste último obtenido restando de 100 la suma de los resultados anteriores; los resultados están dados sobre muestra fresca, sobre muestra secada al sol y sobre muestra completamente seca. (Tablas I, II y III).

La composición de las cenizas se encuentra en la tabla IV. Los resultados están reportados en porcentajes sobre cenizas.

El porcentaje de azúcares, así como los azúcares identificados y su cantidad, se encuentran en la tabla V y VI; el mucílago presente (determinación aproximada) en las diferentes especies de nopal está dado en la tabla VII, así como el análisis del mucílago de dos de las especies obtenido por precipitación.

Por último, en la tabla VIII se encuentran calculadas las sustancias digestibles, las calorías que proporcionan usados como forraje y como alimento humano; así como el contenido de ácido ascórbico y dehidroascórbico.

Tabla I

ANALISIS SOBRE MUESTRA FRESCA.
(Porcientos)

ESPECIE	H ₂ O	CENIZAS	EXTRACTO ETereo	PROTEINA N 6.25	FIBRA CRUDA	EXTRACTO Libre N
Opuntia ficus indica (L. Miller)	91.99	1.85	0.14	1.24	2.94	2.14
Opuntia Hyptiacantha (Weber)	90.18	1.81	0.11	1.80	1.29	4.81
Opuntia tomentosa (Salm Dyck)	80.61	4.05	0.19	2.95	2.28	9.93
Opuntia tomentosa (formas juvenes)	90.55	1.77	0.18	1.15	1.67	4.58
Opuntia megacantha (Salm Dyck)	90.00	2.10	0.17	1.97	1.91	3.85
Opuntia robusta (Wendland)	92.36	1.03	0.12	1.76	1.62	3.12

Tabla II

ANALISIS SOBRE MUESTRA SECADA AL SOL
(Porcientos)

ESPECIES	Humedad	Cenizas	Extracto Etereo	Proteina N <u>6.25</u>	Fibra Cruda	Extracto Libre de N
Op. ficus indica	9.43	17.51	1.62	14.02	33.82	23.60
Op. hyptiacantha	8.10	17.00	1.03	10.52	12.07	51.24
Op. tomentosa	6.46	19.57	0.91	14.23	10.99	47.83
Op. tomentosa (formas juvenes)	9.75	16.72	1.73	16.62	10.76	44.22
Op. megacantha	10.99	18.74	1.50	17.56	21.06	30.25
Op. robusta	9.89	12.31	1.36	20.72	19.11	36.67

Tabla III

ANALISIS SOBRE MUESTRA SECA
(Porcientos)

E S P E C I E	HUMEDAD	CENIZAS	EXTRACTO ETEREO	PROTEINA N 6.25	FIBRA CRUDA	EXTRACTO Libre N
<i>Opuntia ficus indica</i> (L. Miller)		19.34	1.79	15.48	37.34	25.69
<i>Opuntia Hyptiacantha</i> (Weber)		18.50	1.12	11.44	13.13	55.81
<i>Opuntia tomentosa</i> (Salm Dyck)		20.92	0.97	15.21	11.75	51.14
<i>Opuntia tomentosa</i> (formas juvenes)		18.73	1.94	18.62	12.16	48.55
<i>Opuntia megacantha</i> (Salm Dyck)		21.05	1.68	19.70	19.10	38.47
<i>Opuntia robusta</i> (Wendland)		13.67	1.51	23.00	21.21	40.61

Tabla IV
ANÁLISIS DE CENIZAS.

(Porcientos sobre cenizas).

Especies de Opuntia	SiO ₂	CaO	K ₂ O	R ₂ O ₃	MnO	MgO	Na ₂ O	CO ₂	SO ₄ ⁼⁼	Cl ⁻	P ₂ O ₅
Op. ficus indica	1.62	22.55	21.06	0.91	0.12	6.05	1.28	39.08	2.95	2.84	1.25
Op. hyptiacantha	1.82	42.65	11.01	0.88	0.28	7.89	0.26	34.23	1.54	2.15	1.50
Op. tomentosa	3.79	45.65	10.12	0.76	0.26	6.73	0.81	34.50	1.29	0.95	1.05
Op. tomentosa (formas juvenes)	3.32	44.16	8.87	0.75	0.18	5.88	0.47	38.12	1.16	0.93	0.97
Op. megacantha	1.24	46.35	8.13	0.73	0.20	5.92	0.36	38.63	1.03	0.99	1.26
Op. robusta	1.18	46.35	9.63	0.97	0.25	6.15	0.83	33.60	1.27	2.02	1.38

Tabla V

A Z U C A R E S
Análisis Sobre Muestra Fresca

	Opuntia Ficus In- dica	Opuntia Hyptia- cantha	Opuntia Tomentosa	Opuntia Tomentosa (FJ)	Opuntia Megacan- tha	Opuntia Robusta
Azúcares totales	2.24	4.11	8.98	3.86	3.55	3.37
Polisacáridos totales	1.94	3.77	8.49	3.72	3.32	1.77
Disacáridos totales	0.23	0.27	0.48	0.13	0.26	1.60
Monosacáridos totales	0.08	0.07	0.01	0.02	0.07	0.32
Hexosas totales	0.31	0.47	3.78	2.11	0.29	1.70
Hexosas polisacáridos	0.01	0.17	0.49	1.97	0.19	1.53
Hexosas monosacáridos	0.052	0.04	0.01	0.01	0.04	0.26
Pentosas totales	1.93	3.64	5.20	1.75	3.26	1.67
Pentosas monosacáridos	0.036	0.04	0.10	0.01	0.036	0.07
Pentosanos	1.88	3.60	5.12	1.74	3.22	1.60
CO ₂ de ácidos uronicos	0.72	0.68	1.70	0.13	0.81	0.12

Tabla VI
A Z U C A R E S
Análisis Cualitativo.

AZUCARES	OPUNTIA FICUS INDICA	OPUNTIA HYPTIACANTHA	OPUNTIA TOMENTOSA	OPUNTIA TOMENTOSA (FORMAS JO- VENES)	OPUNTIA MEGACANTHA	OPUNTIA ROBUSTA
MONOSACARIDOS	Glucosa Arabinosa	Glucosa Arabinosa	Glucosa Arabinosa	Glucosa Arabinosa	Glucosa	Glucosa Arabinosa
DISACARIDOS	Sacarosa	Sacarosa	Sacarosa	Sacarosa	Sacarosa	Sacarosa
POLISACARIDOS	Arabano Almidón (Huellas)	Arabano Almidón (Huellas)	Arabano Galactano Almidón (Huellas)	Arabano Galactano Almidón (Huellas)	Xilano Almidón (Huellas)	Arabano Almidón (Huellas)

Tabla VII
M U C I L A G O

% de MUCILAGO	OPUNTIA FICUS INDICA	OPUNTIA HYPTIA-CANTHA	OPUNTIA TOMENTOSA	OPUNTIA TOMENTOSA (F. Jovenes)	OPUNTIA MECAGANTA	OPUNTIA ROBUSTA
% de Mucilago	1.09	4.53	1.08	1.28	1.16	1.20

A N A L I S I S D E M U C I L A G O

	OPUNTIA FICUS INDICA	OPUNTIA TOMENTOSA
Cenizas	8.80	13.21
Azúcares Totales (Como Glucosa)	64.53	62.92
Pentosanos	39.31	28.90

Los azúcares encontrados fueron:

glucosa arabinosa.

glucosa arabinosa. galactosa

Tabla VIII

VALOR ALIMENTICIO DEL NOPAL

	Carboh - dratos		Proteína		Grasa		Total de Digestibles		Relación Nutritiva	
	%	Calo- ria	%	Cal.	%	Ca.	%	Cal.		
Op. hyptiacantha	4.01	16.10	1.33	5.68	0.09	0.80	5.42	23	1 :	3.08
Op. tomentosa	8.11	32.60	2.16	9.23	0.16	1.44	10.43	44	1 :	3.83
Op. tomentosa (f. juvenes)	4.00	16.07	0.85	3.63	0.16	0.55	5.01	20	1 :	4.69
Op. megacantha	3.57	14.35	1.46	6.22	0.05	0.47	4.28	21	1 :	2.94
Op. ficus indica	2.78	11.39	0.93	3.98	0.13	0.11	3.82	16	1 :	3.58
Op. robusta	3.93	15.79	1.30	5.55	0.10	0.88	5.33	22	1 :	3.09

Como alimento humano
(Sobre artículos tiernos)

	Opuntia ficus indica	Opuntia Hyp- tiacantha	Opuntia Tomentosa	Opuntia Megacantha	Opuntia Robus-ta	Opuntia (F. J.) Tomentosa
Calorías	20	28	34	22	17	23
Acido ascórbico mgr. por 100 grs.	4.6	3.97	3.93	3.81	4.34	4.29
Acido dehidroascórbico 66	0.37	0.92	0.47	0.37	0.61	0.52

CAPITULO IV

DISCUSION

Comparando los análisis efectuados en este trabajo, entre sí y con otros de nopales de diversas partes del mundo se observa que su composición es variada dependiendo de las condiciones ecológicas en que se desarrolla, pero que los valores oscilan dentro de determinados límites.

La **humedad** por ejemplo varía generalmente entre 79% y 94%. Las muestras analizadas en este trabajo fueron de humedad más bien alta, esto es explicable porque las muestras fueron cortadas en meses de lluvia o tiempo húmedo como son junio y noviembre; con excepción de la "Opuntia tomentosa" que a pesar de haber sido cortada al mismo tiempo que las otras muestras tiene un porcentaje relativamente bajo de humedad, demostrando la influencia del terreno en la composición pues crecía en terreno seco.

En análisis consignados por Horn (33) y Spoehr (2) se puede observar la influencia de la estación, el lugar y el clima; el primero da la composición del mismo nopal en estación seca y húmeda: 79.32 y 92.75% respectivamente y el segundo compara la especie "Opuntia phacantha" que crece en el clima árido de Tucson y en Carmel en la misma época, la humedad fué respectivamente: 80.34 y 91.15.

Como se puede ver en la tabla III las cenizas varían de 1 a 4% y hay análisis en que reportan hasta 5% (31) pero es raro, 4% ya es un dato alto.

La composición de las cenizas es bastante variada dependiendo de la del suelo en que crece la planta. Comparando los resultados de la tabla IV vemos que cinco de las muestras son bastante parecidas (con un contenido en cenizas alrededor de 20% sobre muestra seca con excepción de la "Opuntia robusta" en la que la cantidad es más baja), en cambio la "ficus indica" es diferente, principalmente en su contenido en potasio y calcio, esto sin duda es debido a que las primeras se cortaron en San Angel por el mismo lugar y la segunda proviene de Mixcoac.

El calcio y el potasio son los componentes principales, hay también algo de magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de fierro, aluminio y manganeso. Entre los aniones predominan los carbonatos, encontrándose también algo de cloruros y sulfatos y cantidades pequeñas de fosfatos.

Análisis efectuados en Transvaal y Queensland (10) dan resultados más altos en potasio que los aquí encontrados pues mien-

tras estos no pasan del 20% los de Transvaal y Queensland dan hasta 30.1 y 37.85%; en cambio los resultados de calcio obtenidos en este trabajo son más altos.

Los **azúcares** varían entre 2 y 10%; son de los componentes en que más influyen las lluvias, estación, etc. La mayor porción de los azúcares está constituida de polisacáridos, pentosanos casi en su totalidad y algo de almidón, hay pequeñas cantidades de disacáridos (sacarosa) y de monosacáridos (arbinosa y glucosa).

El mucílago está constituido principalmente por pentosanos y a veces además, de galactanos, después de precipitado con alcohol y seco corresponde aproximadamente a 1% de la muestra fresca, exceptuando la *Opuntia tomentosa* en que dió 4.65%

La **fibra cruda** varía entre 1 y 3% de los nopales estudiados la "*Opuntia ficus indica*" es el que muestra más porcentaje de fibra (tabla I); estos datos están de acuerdo con otros análisis de la misma especie efectuados en Lybia por Piccoli (15) que reporta 2.75% y el dado por Hurdison (12): 37.43 sobre muestra seca mientras que el efectuado en este trabajo dió 37.34%

En cuanto al contenido de **proteínas**, se puede decir que los resultados obtenido en este trabajo y los de otros análisis efectuados en México (2) son en general más altos que los reportados en otros lugares pues mientras aquí varían entre 1 y 2% llegando hasta 3.3% (14) la mayoría de los de otros lugares se encuentran entre 0.58 y 0.8%

Las **grasas y ceras** se encuentran en muy pequeñas cantidades y en este trabajo, al contrario de las proteínas, se encontraron valores menores, pues los resultados varían entre 0.11 y 0.19 habiendo nopales que contienen hasta 0.7% (31). En general se encuentran las grasas y ceras entre 0.11 y 0.3%.

Teniendo en cuenta estos datos se puede decir que los carbohidratos son los componentes principales del nopal, lo que hace pensar en su aplicación como sustrato fermentescible, pero para esto hay que tener en cuenta que una parte considerable de ellos está constituida por fibra cruda que por ser principalmente celulosa no es fácilmente fermentada. Sin embargo el resto de los azúcares llegan a constituir sobre muestra seca hasta 50%, encontrándose cuando menos 20%, que sí podrían fermentar después de hidrólisis previa.

Ya han hecho algunos estudios sobre fermentaciones alcohólicas y acetónicas (11). En los dos casos los resultados fueron muy bajos, probablemente porque sólo fermentaron la glucosa, la levulosa y el almidón, quedando el mucílago sin fermentar.

El alto contenido en agua y la variabilidad de la cantidad de azúcares hace actualmente poco costea ble la operación, sobre todo en países como México donde existen materias primas de bajo costo para la obtención de alcohol y que dan mucho mayor rendimiento. Pero conviene tenerlo en cuenta por lo económico del material y principalmente en aquellos lugares en que tratan de exterminario.

En Inglaterra y otros lugares han hecho algunos estudios para aprovechar el nopal utilizando la fibra cruda en la fabricación de papel (3). No dió resultados satisfactorios pues además de ser los rendimientos bajos, obtuvieron una pulpa frágil, desprovista de tenacidad y consecuentemente sin ningún valor, probablemente debido al tamaño tan pequeño de la fibra y a la alta porción de material no fibroso.

Se separaron mecánicamente la parte fibrosa de la no fibrosa y trataron después la fibra con hidróxido de sodio obteniendo una pulpa de mejor calidad, pero el rendimiento hace esta operación incosteable. Después de tratar en diversas formas la materia prima Sindall (3) indicó que el mejor método consistía en hervir el residuo del nopal (pues usó nopales destruidos con tricloruro de arsénico) sin separación previa de la porción no fibrosa; el tratamiento se debe efectuar en vasijas abiertas, usando solución de hidróxido de sodio concentrada y mezclarla con pulpa de madera aumentando así su tenacidad y flexibilidad, obteniéndose de esta manera cartones de algún valor para cajas, papel de envoltura, etc.

La pulpa convenientemente tratada con pulpa de madera y tratada después con resinas, sustancias minerales y adhesivos puede ser moldeada y utilizarse en la fabricación de loza corriente, floreros, etc., que pueden ser pintados y barnizados; se puede usar para forros a prueba de agua para cajas, para techados, etc., (3). Los materiales obtenidos de esta fibra son de baja calidad, además de requerir gran cantidad de materia prima por su bajo porcentaje en fibra en comparación con el alto contenido en agua.

El mucílago ya tiene algunas aplicaciones pero de poca importancia en México lo usan en acrestos, aplicación que podría darse en lugares donde es una plaga; también lo usan mezclado con lechada de cal para blanquear; en mezclas con insecticidas pues hace que se adhieran mucho mejor a las hojas de los árboles (34), se puede usar con caldo bordelés, verde de Paris, mezclados con acetato de plomo pero no con el acetato solo; en la India hacen con él una especie de emplaste para los edificios de piedra.

La pequeña cantidad en que se encuentran las grasas y ceras hace que al menos actualmente sea imposible darles alguna aplicación.

Como las cenizas del nopal contiene alto porcentaje en potasio se pensó en aprovecharlo. Roberts (3) desde 1916 trabajó durante varios años en la recuperación del potasio de las cenizas obtenidas quemando el nopal después de destruirlo por envenenamiento; el proyecto no tuvo éxito, pues el costo era grande para el rendimiento de potasio obtenido.

En varias partes, en cambio, usan el nopal como fertilizante con éxito como en la India, Ceylán, Algeria, Sicilia y España. Esta última lo usan para fertilizar los campos de cultivo de uva).

En Australia se ha recomendado para evitar la deficiencia en humus ya que enriquece el suelo tanto en materia orgánica como en calcio y potasio. Para esto la Opuntias son despedazadas en máquinas especiales y convertidas rápidamente en un abono verde. En Madras y otros lugares los campesinos entierran las "pencas" y los frutos en la época de lluvias, después de 6 meses la planta está convertida en humus. Por otro lado Knight dice que en los lugares muy secos no conviene utilizar el nopal como fertilizante ya que su abundancia en espinas constituye un peligro para los trabajadores. (10). Con respecto al uso del nopal como alimento para ganado, experiencias efectuadas en varios lugares están de acuerdo en que es un buen forraje para las épocas de sequía (2) muy adecuado para producir buenas condiciones en los animales que han estado sujetos a una prolongada manutención con alimentos secos. Además se vió que aumentaban el rendimiento de leche sin detrimento de su calidad y corrige el color de las mantequillas. Los nopales aquí analizados muestran un ligero aumento de proteínas lo cual es favorable desde el punto de vista de la utilización del nopal como fertilizante y como forraje, pues experiencias efectuadas con el ganado muestran como principal desventaja su pobreza en proteínas; aumentando con esto ligeramente su valor nutritivo, pues éste por sí solo es bajo, pero se ha visto que mezclándolo con semillas de algodón, paja, etc., es un buen alimento comparándolo con la composición de los siguientes forrajes: (29)

	Proteína	Grasa	Celulosa	Ext. no Nitrogenado	P ₂ O ₅	CaO
Trébol manchado	3.06	0.39	3.12	5.83	0.3	0.3
Alfalfa	3.63	0.27	1.53	5.33	0.09	0.45
Tuna	1.16	0.11	0.20	13.80	0.03	0.51
Maíz	1.99	0.38	2.88	6.02	0.08	0.12
Opuntia tomentosa	1.24	0.14	2.94	2.14	0.04	0.80
Opuntia ficus indica	2.95	0.18	1.67	0.93	0.02	0.40

Los dos últimos análisis son los aquí efectuados.

Podemos decir que los nopales como la "Opuntia tomentosa", que por crecer en lugares secos tuvo menos agua tiene suficientes sustancias aprovechables para considerarlo al menos como forraje de segunda categoría, en cambio la feno indica cuyo contenido en agua es muy alto resulta pobre.

En épocas de lluvias puede usarse como un buen forraje seco, pues su valor alimenticio no es malo como podemos ver comparándolo con la composición de otros forrajes: (33)

Heno de	H ₂ O	Del total	Proteína cruda	Grasa	Cenizas	Fibra	Extracto libre de N
alfalfa	11.3	89.77	19.50	2.63	7.91	25.2	31.53
Paja de cebada	7.78	92.22	3.49	1.00	7.08	35.52	45.13
Maíz dentado	10.50	89.50	10.10	4.90	1.50	2.00	70.90
Trigo	11.29	88.11	13.20	2.35	2.61	8.94	61.21
Opuntia robusta	9.89	...	20.72	1.36	12.31	13.65	42.07

Esta última es de las muestras analizadas en este trabajo.

El uso del forraje seco tiene el inconveniente de que se requieren grandes cantidades de materia prima porque contiene a lo más 20% de sustancias aprovechable.

Las calorías proporcionadas por el forraje fresco, 38, son muy pocas comparadas con otros forrajes.

Forraje de maíz proporciona 180.3 calorías.

Harina de linaza proporciona 210.4 calorías.

Paja de trigo proporciona 184.6 calorías.

En cambio el nopal seco proporciona 210 calorías.

La relación nutritiva se dice que es estrecha cuando es menor de 1:5, mediana cuando es de 1:5 a 1:12 y amplia o mayor de 1:12 (29).

Por tanto el nopal tiene una relación estrecha, pues es menor de 1:5 como se puede ver en la tabla VI, pero es parecida a la de los forrajes antes comparados:

Trébol manchado
Alfalfa
Tuna
Maíz

Relación Nutritiva.
1:2.8
1:1.9
1:37.3
1:5.1

Entre las sustancias minerales el calcio se encuentra en cantidades suficientes pero el fósforo sí es deficiente.

Siendo en nuestro país muy usado el nopal en la dieta humana y ya que su valor nutritivo sólo es bajo, proporcionando pocas calorías al organismo (Tabla VII) se hizo el análisis de guisos de nopal de los más comunes como son en navegantes y nopales compuestos para ver las calorías que proporcionan y el aumento en su Valor nutritivo.

Los resultados obtenidos los podemos ver a continuación:

	Nopales en navegantes	Nopales compuestos
	%	%
Humedad	88.60	85.01
Cenizas	2.77	3.39
Azúcares	3.58	3.78
Proteína	1.90	5.44
Grasa (Extracto etéreo)	2.77	1.43
CaO	0.73	0.74
CaO	0.73	0.74
P ₂ O ₅	0.062	0.46

Estos resultados multiplicados por los factores correspondientes nos dan las calorías:

Nopales navegantes proporcionan	47 calorías
Nopales compuestos proporcionan	55 calorías

Como se puede ver por estos datos el guiso aumenta un poco el valor nutritivo del nopal pero sigue siendo un alimento pobre.

Las vitaminas que se encuentran en el nopal son las siguientes: Acido ascórbico alrededor de 4 mg. por 100 gramos (Tabla VII), Caroteno 0.5 mgrs., tiamina 0.04 mgrs., riboflavina 0.04 mgrs., niacina 0.30 mgrs., estos datos son de la *Opuntia Hyptiacantha* y son sobre 100 gramos de muestra fresca. (16).

La composición del nopal hace pensar en su aplicación como medio de cultivo; ya actualmente lo usan como medio para la conservación de cepas de microorganismos empleados en determinaciones de aminoácidos y vitaminas (34) pues vieron que era un medio común para todos los gérmenes que utilizan en esas determinaciones. Dicho medio tiene como base agar nopal enriquecido con un 10% de aminoácidos, sales minerales y vitaminas.

Entre otras aplicaciones que se sugieren para el nopal podemos citar su aplicación como fuente de ácido oxálico, pues contiene oxalatos, pero la operación no sería comercial pues no hay más de 1.5% de oxalatos. (10)

Campbell (3) examinó los productos de la destilación destructiva y encontró: Agua: 88.4%; ácido acético: 0.16%; resina cruda: 1% carbón: cerca de 4%; el residuo consiste en pequeñas cantidades de amoniaco y aminas (Incluyendo piridina 1.59 lbs. por

tonelada de planta original). Como se ve por estos datos esto no tiene aplicación industrial por los datos tan bajos.

En México y otros lugares usan el nopal como combustible barato, para fabricar jabones, para cercar y otros usos que como éstos carecen de importancia.

Hay que tener en cuenta que este trabajo fué exclusivamente sobre las palas del nopal, pero existen otras fuentes de aprovechamiento como son las gomas y materias resinosas que se encuentran en los troncos de nopales ya muy desarrollados; el aceite producido por las semillas, pues algunas dan hasta 6 a 8%. Sobre este aceite hicieron estudios Smith y Menton (1914) (3) obteniendo un aceite semisecante, claro que consistía en glicéridos del ácido oléico, linoléico y palmítico. Se han hecho estudios sobre sus constantes, descritos en trabajos de Puxeddu y Marini (37). Y la fruta que es muy apreciada en varios países, en México preparan a partir de ella confites, bebidas, etc., como miel, melcocha, queso, colonche. Además contiene suficientes azúcares para fermentar y como alimento y forraje no es mala.

CAPITULO V

RESUMEN Y CONCLUSIONES

Teniendo en cuenta los análisis efectuados y resumiendo este trabajo se puede decir en general que después del agua, la cual se encuentra en grandes cantidades, los carbohidratos son los componentes principales del nopal.

Una parte de éstos corresponde a la fibra cruda y el resto principalmente a polisacáridos como pentosanos (arabanos, xilanos) a veces galactanos y algo de almidón; hay también disacáridos (sacarosa) en algunas especies en regular cantidad y glucosa y arabinosa como monosacáridos.

Las proteínas así como las cenizas se encuentran en cantidades menores y más o menos en la misma proporción; las últimas contienen principalmente calcio, potasio y entre los aniones abundan los carbonatos. Las grasas y ceras se encuentran en cantidades muy pequeñas.

Según estos datos vemos que los carbohidratos serían la fuente más importante para alguna aplicación, pues la fibra se puede utilizar en la fabricación de cartón corriente mezclándolo con algo de pulpa de madera, los azúcares pueden usarse tal vez como sustrato fermentescible por lo económico del material, y el mucílago se usa en aprestos y en mezclas con insecticidas. Se puede usar como fertilizante.

Según los datos sobre el valor nutritivo como forraje y como dieta humana vemos que: como forraje verde da buenos resultados en los meses de sequía y más aún si se mezcla con sustancias que aumentan la cantidad de almidón y proteínas, pues su valor nutritivo es bajo. Seco, es buen alimento, pero se requiere mucha materia prima, pues al secarse se reduce a la décima parte del peso primitivo.

Como alimento humano es pobre.

CAPITULO VI

BIBLIOGRAFIA

- (1).—BRAVO H. "Las Cactáceas de México" Universidad Nacional de México. 1937.
- (2).—GRIFFITHS D. "El Nopal como Alimento de Ganado" Traducido por la Unión Panamericana. Adaptada a México por el Departamento de Ganadería. Tacubaya, Talleres Gráficos de Agricultura y Fomento. 1929.
- (3).—JOHNSTON J.H. "The Australian Prickly Pear Problem" Rept. Australian Assoc. Adv. Sci. 6, 347-401; 1924.
- (4).—SAHAGUN B. "Historia General de las Cosas de la Nueva España" Editorial Robredo, 3, 221-8; 1938.
- (5).—HERNANDEZ F. "Rarum Medicarum Novae Hispaniae Thesaurus" 1609.
- (6).—GRIFFITHS D. y R.F. HARE. "Summary of Recent Investigations of The Value of Cacti as Stock Food" Bur. Plant Ind U.S. Dept. of Agr. Bull, 102, 1905.
- (7).—GRIFFITHS D y R.F. HARE "Prickly Pear and other Cacti as Food for Stock". II New Mexico Expt. Sta. Bull, 60, 1-135; 1905.
- (8).—JOHNSTON J. H y H TRYON "Utilization of Prickly Pear as a Fertilizer" Rept. Prickly Pear Travel Com Queensland (1912-1914) 25-26 E.S.R.; 1925.
- (9).—SPOEHR A.H. "The Carbohydrate Economy of Cacti" Carnegie Inst. Publications 287, 1-79; 1919.
- (10).—JURITZ CH. "The Prickly Pear (Opuntia)" S. African J. Ind. 3 687-93. 803-14; 1920.
- (11).—FOULER G. y B. GOPALAKRISNAMURTI "The Prickly Pear Problem" J. Indian Inst. Sci. 6 part 9. 173-84; 1923.
- (12).—HURDISON L. "Preliminary Investigations in the Ultimate Possible Commercial Uses of the Leaves of Opuntia Vulgaris (Indian figtree) Bull. Assoc. Inst. Sup. Ferm. Gand. 26; Ann Soc. Brasseurs 34 284-99; 1925.
- (13).—WHITELACK E.S. y F. MORRISON "Chemistry of Two Species of Prickly Pear growing in New South Wales" J. Proc. Sydney Tech. Coll. Chem. Soc. (1929-1932) 5, 46-50; 1933.
- (14).—DELGADO G. L. "Forrajes Mexicanos, Análisis Químico y Valor Alimenticio "Secretaría de Agricultura y Fomento, Instituto Biotécnico de Sanidad Animal. México 1939.

- (15).—PICCOLI G. "Sull'Utilità della Colivazione del Fico d'India quele Risora Forragera nelle nostre Colonie" agr. Coloniale (Italy) **37**, 267-76; 1945.
- (16).—GRAVIOTO R. et AL. "Comoposition of Typical Mexican Food" J. Nutrition **29**, 317-29; 1945.
- (17).—GIRAL F. y C. SUAREZ "Vitamina C contenida en Legumbres y otros Vegetales Mexicanos" Ciencia **4**, 66-9; 1943.
- (18).—COCUZZA C. Farm Sci e Tec (Univ. Catania Italy) **1**, 339-42; 1946 (Chem. Abst. "Contents of Carotene and Ascorbic Acid in Opuntia ficus indica **41**, 2507, 1947).
- (19).—SCOTT W. N. "Standard Methods of Chemical Analysis" D. Van Nostrand Company Inc. New York, 1944.
- (20).—TREADWELL F. P. "Tratado de Química Analítica" (5 ed. española E. Jimeno) M. Marin Barcelona **2**, 1943.
- (21).—KOLTOFF Y GORDON "Determination of Potassium with Hexanitrodiphenylamine Reagent." Ind. Eng. Chem An. Ed **III**, 94-8; 1939.
- (22).—SNELL F. D. y C. T. SNELL "Colorimetrics Methods of Analysis; including some Turbidimetric and Nephelometric Methods" New York, D. Van Nostrand Company Inc. 1944.
- (23).—WINTON A. L. "The Analysis of Foods". J. Wiley & Sons, Inc. New York, 1945.
- (24).—A. O. A. C. "Official and Tentative Methods of Analysis of the Association of Official Agricultural Chemists" Washington, 1945.
- (25).—MILITZER W. E. "The Cualitative Chemical Identification of the Natural Sugars". J. Chem. Ed. **18**, 25-28; 1941.
- (26).—DENIGES G. L. CHELLE y A. LABOT "Précis de Chimie Analytique" Edition Medicales Narbert Maloine, Paris; 1930.
- (27).—BROWNE C. A. y F. W. ZERBAN "Physical and Chemical Methods of Sugar Analysis" J. Wilwy & Sons Inc. New York, 1941.
- (28).—DICKSON A. A. OTTERSON y K. P. LINK. "J. Am. Chem. Soc. **52**, 775-6; 1930.
- (29).—LLOYD F. E. "Origin and Nature of the Mucilage in the Cacti and in ceratatin other Plants" Am. J. Bot. **6**, 156-66; 1919.
- (30).—LEPRINCE M. y R. LECOQ "Guide Pratique d'Analyses Alimentaires et d'Expertices Chimiques Usuelles" Vigot Freres Editeurs, Paris, 1921.
- (31).—AGUIRRE A. "Alimentación del Ganado". Rev. Mens. Rural Uruguay **7**, 85-101; 1936.

- (32).—EMMERIE A. Y M. ECKELEN. *Biochem. J.* 28, 1151; 1934 y 30, 25; 1936.
- (33).—HORN F. W. "Prickly Pear Feeding Experiment" Dept. of Agr. Bombay Bull. 58.1914; Bull. Agr. Intelligence 6, 442-3, 1914.
- (34).—EDWARDS W. A. "Insecticides to Control Insect Pests in Jamaica" Dept. Sci. & Agr. Jamaica, Bull 6.; 1936.
- (35).—PEREZ MATA F. "Contribución al Estudio Analítico de los Forrajes Mexicanos" Tesis, Facultad Ciencias Químicas, Universidad Autónoma de México; 1937.
- (36).—ZAPATA C. "Medios para la Conservación de Cepas de Microorganismos empleados en Determinaciones de Aminoácidos y Vitaminas" *Ciencia* 7, 149, México, 1946.
- 43-7) 1921 (Chem. Abst. "Cactus (Opuntia) of Sardinia, 15, 2732. 95-7; 1921 (Chem. Abst. "Cactus (Opuntia) of Sardinia, 15, 2732. 1921).

