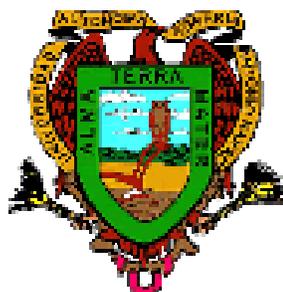


UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA

“ANTONIO NARRO”

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL



“EFECTO DE LA CONCENTRACIÓN DE HIDRÓXIDO DE CALCIO $Ca(OH)_2$ Y EL TIEMPO DE INMERSIÓN DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE NOPAL CRISTALIZADO (*OPUNTIA SPP*) SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD”

Por.

BEY ENRIQUE SÁNCHEZ PÉREZ

TESIS

Presentada Como Requisito Parcial Para Obtener el Título de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA DE

ALIMENTOS

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México.

Diciembre del 2005

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA AGRARIA
“ANTONIO NARRO”**

DIVISIÓN DE CIENCIA ANIMAL

DEPARTAMENTO DE NUTRICIÓN Y ALIMENTOS

**EFFECTO DE LA CONCENTRACION DE HIDRÓXIDO DE CALCIO Ca(OH)_2 Y EL
TIEMPO DE INMERCION DURANTE EL PROCESO DE ELABORACIÓN DE NOPAL
CRISTALIZADO (*Opuntia ssp*) SOBRE ALGUNOS PARÁMETROS DE CALIDAD**

TESIS

Presentado por:

Bey Enrique Sánchez Pérez

Que Somete a Consideración del H. Jurado Examinador Como Requisito Parcial Para
Obtener el Titulo de:

INGENIERO EN CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS

APROBADO

**Lic. Laura Olivia Fuentes Lara
Presidente del Jurado**

**M.C Antonio Aguilera Carbó
Sinodal**

**Dr. Adalberto Benavides Mendoza
Sinodal**

**M.C. Xochitl Ruelas Chacón
Sinodal**

**Dr. Ramón F. García Castillo
Coordinador de la División de Ciencia Animal**

Buenavista, Saltillo, Coahuila, México, Abril del 2005

AGRADECIMIENTOS

III

A la **Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro** (ALMA TERRA MATER) por darme la oportunidad de terminar mis estudios de licenciatura.

A la **Lic. Laura Oliva Fuentes Lara** por brindarme su amistad y confianza y por todo su apoyo en la realización de este trabajo de investigación.

Al **MC. Antonio Aguilera Carbó** por su amistad y por el apoyo brindado en la realización de este trabajo de investigación.

Al **Dr. Adalberto Benavides Mendoza** por su ayuda en la realización de este trabajo de investigación.

A la **MC. Xochitl Rúelas Chacón** por su colaboración en la realización de este trabajo.

A los **Profesores del Departamento de Nutrición y Alimentos** (Lic. Laura, M.C Mary, M.C Xochitl, Dra. Lourdes, MC Tony y al MC Oscar por su amistad brindada y por haber sido parte fundamental durante mi estancia en la universidad y por dar todos sus conocimientos durante las clases.

Al **TQL. Carlos Alberto Arévalo Sanmiguel** por su amistad y por el apoyo brindado en el laboratorio de nutrición y alimentos.

A la **MC. Mildred Flores Verastegui** del departamento de horticultura por su ayuda brindada y por darme las facilidades de utilizar los materiales del laboratorio de postcosecha.

A la **MC. Francisca y Leticia Portos** por todo el apoyo brindado y por darme las facilidades de utilizar los materiales y equipos del laboratorio de citogenética.

A los **Académicos de la UAAAN** Que fueron parte fundamental en mi formación profesional.

A mis **Compañeros y Amigos** que fueron parte fundamental en la realización de este trabajo y por darme su apoyo en la realización de la evaluación sensorial.

GRACIAS

A

TODOS

DEDICATORIAS

A **Dios**, por darme la oportunidad de vivir y por haberme guiado por el buen camino y más que nada por haberme permitido lograr unas de mis metas mas anheladas de mi vida.

A mi papá **Sr. Homero Sánchez Díaz (+)** a pesar de no haberte conocido lo suficiente, quiero decirte que te quiero mucho, y te dedico este trabajo con mucho amor y cariño.

A ti mamita linda **Sra. Natividad Pérez Rodríguez** por darme todo tu amor incondicional y por estar siempre conmigo, quiero que sepas que te quiero mucho y que siempre te llevo en mis pensamientos y que siempre contarás conmigo para todo **TE QUIERO MUCHO.**

A mis hermanos: **Andina, Normy, Miry, Roger, Charito, Yhoni** por estar siempre conmigo, por todos sus buenos consejos, por brindarme todo su apoyo moral y económico, los quiero mucho.

A mis sobrinos: **Robert, Azucena, Nancy, Cesar, Iván, Vanesa, Karla** quiero que sepan que los quiero mucho y que siempre estaré con ustedes para todo lo que necesiten.

A mis cuñados: **Delmar, Limber, Carlos, Doña Clemen** por sus buenos consejos, por su amistad, y por formar parte de mi familia.

A mis **compañeros y amigos de la generación XCVI**, en especial a Juan, Javier, Nemesio, Esperanza, Gladis, Miguel, Víctor (Celaya), Nancy, Francisco, Nely, Lorely, Carmen G, Raúl, Ramiro por toda su amistad y por los buenos y malos momentos que compartimos juntos.

A mis **amigos** Juan José, Anselmo, Gilmer, Juan Carlos, Antonio, Orlando, Leonel, Otho, Edgar, Arael, Mario Antonio, Wilmar, Jorge, Edi, Juan Argueta, Esperanza, por compartir los buenos y malos momentos.

Figura		Página
1	El nopal	9
2	Nopaleras silvestres	14
3	Huertos familiares.....	15
4	Plantaciones comerciales.....	15
5	Cosecha del nopal	20
6	Distribución anual de volúmenes de comercializados en la Central de Abastos de Iztapalapa	28
7	Colorímetro Minolta CR-300	54
8	Punción del nopal	55
9	Evaluación sensorial de dulces cristalizados de nopal	59
10	Diagrama de cromaticidad de a, b.	66
11	Nopal blanco	75
12	Nopal testigo	75
13	1% 4 Horas	75
14	1% 12 Horas	75
15	1% 24 Horas	75
16	2% 4 Horas	76
17	2% 12 Horas	76
18	2% 24 horas	76
19	3% 4 Horas	76
20	3% 12 Horas	76
21	3% 24 Horas	76
22	Diagrama de cromaticidad	79
23	Resultados de las pruebas sensoriales de sabor del producto	81
24	Resultados de las pruebas sensoriales de textura (dureza) del producto	81
25	Resultados de las pruebas sensoriales de forma del producto	82
26	Resultados de las pruebas sensoriales del color del producto	83

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro		Página
1	Composición química del mucílago del nopal.....	10
2	Valor alimenticio del nopal verdura (Cantidad respecto a 100 g de nopal crudo).....	11
3	Análisis bromatológico del nopal en base seca.....	12
4	Principales usos tradicionales, actuales y potenciales de <i>Opuntia</i>	13
5	Área dedicada a la producción de nopal por estados.....	16
6	Volúmenes de nopal importados por EE.UU. por país de origen y puerto de entrada (1° de octubre de 1991 a 30 septiembre de 1992)....	18
7	Variedades cultivadas de nopal verdura.....	27
8	Variación de precios del kilogramo de nopal con espinas en distintas centrales de abastos de México.....	29
9	Mercado del nopal en el interior de México.....	31
10	Agroindustrias procesadoras de nopal para alimento en México.....	33
11	Materiales utilizados en el laboratorio.....	49
12	Equipos utilizados en el laboratorio.....	49
13	Reactivos utilizados el laboratorio.....	50
14	Deshidratación por un solvente de parafina (Método Alcohol Butílico Terciario (ABT)).....	56
15	Doble coloración Safranina – Fast green.....	58
16	Caracterización bromatológica del nopal base seca.....	64
17	Resultados de color del nopal con diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y tiempo.....	65
18	Resultados promedio de Luminosidad contra el tiempo.....	67
19	Resultados promedio coordenada de Cromaticidad a (-) contra el tiempo.....	67
20	Resultados promedio coordenadas de Cromaticidad b contra el tiempo.....	68
21	Resultados promedios de Luminosidad contra % de hidróxido de calcio.....	68
22	Resultados promedio de coordenada de Cromaticidad a (-) contra % de hidróxido de calcio.....	69
23	Resultados promedio coordenada de Cromaticidad b contra % de hidróxido de calcio.....	69
24	Resultados de fuerza punción (Kg) con los diferentes tratamientos de hidróxido de calcio y tiempo de inmersión para la parte centro, frontal e inferior.....	70
25	Resultados promedios de FPC (Fuerza de punción centro) contra el tiempo.....	71
26	Resultados promedios de FPF (Fuerza de punción frontal) contra el tiempo.....	71
27	Resultados promedios de FPI (Fuerza de punción inferior) contra el tiempo.....	72
28	Resultados promedios de FPC (Fuerza de punción centro) contra %	

	de hidróxido de calcio.....	72
29	Resultados promedios de FPF(Fuerza de punción frontal) contra % de hidróxido de calcio.....	73
30	Resultados promedios de FPI (Fuerza de punción inferior) contra % de hidróxido de calcio.....	73
31	Caracterización bromatológica del producto (Dulces de nopal cristalizados).....	77
32	Resultados de Evaluación sensorial instrumental de color para los dulces de nopal cristalizado.....	78
33	Resultados de Evaluación sensorial instrumental de textura para los dulces de nopal cristalizados.....	80

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Página
Agradecimientos.....	III
Dedicatorias.....	IV
Índice de figuras.....	V
Índice de cuadros.....	VI
Índice de contenido	VII
Resumen.....	VIII
Capítulo 1	
1. INTRODUCCIÓN.....	1
Capítulo 2	
2. OBJETIVOS.....	2
2.1 Objetivo general.....	2
2.2 Objetivos específicos.....	2
Capítulo 3.	
3. JUSTIFICACIÓN.....	3
Capítulo 4	
4. REVISIÓN DE LITERATURA.....	4
4.1 Historia del nopal	4
4.2 El nopal, origen.....	5
4.3 Distribución geográfica.....	5
4.3.1 Distribución en México.....	5
4.3.1.1 Zona nopalera principal.....	6
4.3.1.2 Zona nopalera del noroeste.....	6
4.3.1.3 Zona nopalera difusa.....	6
4.3.2 Distribución mundial.....	8
4.4 Clasificación taxonómica del nopal.....	8
4.5 Descripción del nopal.....	9
4.5.1 Mucílago del nopal.....	9
4.5.2 Metodología para la extracción del mucílago.....	10
4.5.3 Características del mucílago del nopal.....	10
4.6 Valor alimenticio del nopal.....	11
4.6.1 Análisis bromatológico del nopal.....	12
4.7 Situación actual del nopal.....	12
4.8 Producción de nopal en México: pasado y presente.....	13
4.8.1 Nopalera silvestre.....	14
4.8.2 Huertos familiares.....	14
4.8.3 Plantaciones comerciales.....	15
4.9 Oferta y demanda del nopal en México.....	16
4.9.1 Distribución geográfica de la oferta.....	16
4.9.2 Distribución, demanda y oferta durante el año.....	16
4.9.3 Demanda internacional del nopal.....	17
4.9.3.1 Principales países importadores de nopal.....	17
4.9.3.2 Principales países exportadores de nopal.....	18
4.10 Diferentes formas de exportación de nopal.....	19

4.10.1 Nopal fresco con espinas.....	19
4.10.2 Nopal desespinado.....	19
4.10.3 Nopal procesado en salmuera o escabeche.....	19
4.10.4 Nopal precocido y congelado.....	20
4.11 Nopales o tallos de nopal.....	20
4.11.1 Calidad y características nutricionales.....	20
4.11.2 Cosecha del nopal.....	20
4.11.3 Empaque del nopal.....	21
4.11.3.1	21
Pacas.....	
4.11.3.2	21
Colotes.....	
4.11.3.3 Granel.....	22
4.11.3.4	22
Cajas.....	
4.11.3.5 Arpillas.....	22
4.12 Condiciones de almacenamiento.....	22
4.12.1 Manejo de nopal fresco.....	23
4.12.2 Manejo de nopal para exportación.....	23
4.13 Norma de calidad del nopal verdura.....	24
4.14 Especies y variedades de nopal.....	25
4.14.1 Milpa	26
alta.....	
4.14.2 Copena VI, Copena FI.....	26
4.14.3 Blanco y negro.....	26
4.14.4 Tamazunchale.....	26
4.15 Comercialización y precios en el mercado interno.....	27
4.15.1 La industrialización del nopal en México.....	32
4.15.1.1 Alimentos.....	32
4.15.1.2 Cosméticos.....	32
4.15.1.3	32
Medicinales.....	
4.15.2 Comercialización y precios en el mercado externo.....	33
4.16 Parámetros involucrados en la elaboración y conservación de dulces cristalizados	34
4.16.1 Actividad de agua en los alimentos.....	34
4.16.2 Grupos principales de alimentos en relación con su actividad de	

agua.....	35
4.16.3 La actividad acuosa y la conservación de los alimentos.....	36
4.17.....	37
Osmosis.....	
4.17.1 Ejemplos de osmosis.....	37
4.17.1.1 Osmosis inversa.....	37
4.17.1.2 Solución hipotónica.....	37
4.17.1.3 Solución isotónica.....	38
4.17.1.4 Solución hipertónica.....	38
4.18 Deshidratación osmótica.....	38
4.18.1 Deshidratación osmótica: alternativa para conservación de frutas.....	38
4.18.2 Deshidratación osmótica: tecnología alternativa.....	39
4.19 Conservación de frutas con azúcar.....	39
4.19.1 Frutas confitadas y glaseadas.....	39
4.20 Evaluación sensorial.....	40
4.20.1 Aplicación de la evaluación sensorial.....	40
4.21 Los sentidos en la evaluación sensorial.....	40
4.21.1 La vista.....	41
4.21.2 El olfato.....	41
4.21.3 El gusto.....	42
4.21.4 El tacto.....	42
4.21.5 El oído.....	43
4.22 Los jueces.....	43
4.22.1 Tipos de jueces.....	43
4.22.1.1 Juez experto.....	43
4.22.1.2 Juez entrenado.....	43
4.22.1.3 Juez semientrenado o de laboratorio.....	44
4.22.1.4 Juez consumidor.....	44
4.23 Pruebas sensoriales.....	44
4.23.1 Pruebas afectivas.....	45
4.23.1.1 Pruebas de medición del grado de satisfacción.....	45
4.23.1.2 Escalas hedónicas verbales.....	46

4.23.2 Pruebas discriminativas.....	46
4.23.3 Pruebas descriptivas.....	46
4.23.3.1 Calificación por medio de escalas de intervalo.....	47
Capítulo 5	
5. MATERIALES Y MÉTODOS.....	48
5.1 Localización del área experimental.....	48
5.2 Materia prima.....	48
5.3 Materiales equipos y reactivos.....	49
5.3.1 Materiales.....	49
5.3.2 Equipos.....	49
5.3.3 Reactivos.....	50
5.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL.....	50
5.4.1 Selección de la materia prima.....	50
5.4.2 Determinación de humedad.....	50
5.4.3 Determinación de proteína cruda.....	51
5.4.4 Determinación de grasa.....	51
5.4.5 Determinación de cenizas.....	52
5.4.6 Determinación de fibra cruda.....	52
5.4.7 Determinación de azúcares totales.....	52
5.4.8 Determinación de agua por destilación azeotrópica.....	53
5.4.9 Determinación de energía bruta.....	53
5.4.10 Determinación instrumental de color del nopal.....	54
5.4.11 Determinación instrumental de textura.....	55
5.4.12 Determinación de micrografías.....	55
5.4.12.1 Fijación de muestras.....	55
5.4.12.2 Deshidratación de muestras.....	55
5.4.12.3 Infiltración de	56

muestras.....	56
5.4.12.4 Inclusión de	56
muestras.....	57
5.5.12.5 Seccionamiento o	57
cortes.....	57
5.4.12.6 Fijación de los cortes.....	57
5.4.12.7 Coloración de los cortes del	57
tejido.....	58
5.4.12.8 Selección de muestras para fotografía.....	58
5.4.12.9	59
Macrofotografías.....	59
5.5 Análisis sensorial.....	59
5.6 Resultados de los análisis del producto	60
terminado.....	60
5.6.1 Formulación del producto (Dulces de nopal cristalizado).....	60
5.6.2 Etapas del proceso de elaboración del	60
producto.....	61
5.7 Diseño experimental.....	61
5.7.1 Diseño completamente al azar.....	61
Capítulo 6	
6. RESULTADOS Y	63
DISCUSIONES.....	
6.1 Resultados de caracterización química del nopal (<i>Opuntia ssp</i>) en base	63
seca.....	63
6.2 Determinación de la evaluación sensorial instrumental de color y textura	64
de la materia	64
prima.....	64
6.2.1 Evaluación sensorial instrumental de	64
color.....	67
6.2.2 Cuadros de los resultados estadísticos para el parámetro de color con	67
las diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y	69
tiempo.....	69
6.2.3 Evaluación instrumental de	71
textura.....	71
6.2.4 Cuadros de los resultados estadísticos para el parámetro de punción	73
con las diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y	75
tiempo.....	75
6.3 Resultados de las micrográficas de los diferentes tratamientos y testigos...	77
6.3.1 Figuras de los resultados de la técnica de microscopía con respecto a	77
los tratamientos evaluados tomadas con objetivo de 10 X.....	77
6.4 Resultados de caracterización química del producto terminado (Dulces	77
de nopal	77
cristalizado).....	78
6.5 Resultados de evaluación sensorial instrumental para los para metros de	78
color y textura para los dulces de nopal	78
cristalizado.....	78

6.5.1 Evaluación sensorial instrumental de color para los dulces de nopal cristalizado.....	78
6.5.2 Evaluación sensorial instrumental de textura para los dulces de nopal cristalizados.....	79
6.6 Resultados de evaluación sensorial para los parámetros de calidad (sabor, textura (dureza), forma del producto y color) para los dulces de nopal cristalizado.....	80
Capítulo 7	
7.	84
CONCLUSIONES	
7.1 Conclusiones generales	85
.....	
Capítulo 8	
8. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	86
ANEXO I	94
ANEXO II	97
ANEXO III	103

CAPÍTULO 1



INTRODUCCIÓN

México es considerado uno de los centros de diversidad del nopal, en donde existe un gran número de especies. El nopal (*Opuntia spp*) se ha utilizado en México como fuente de alimento desde la prehistoria.

Los cladodios tiernos del nopal, tallos aplanados comúnmente llamados nopalitos, son consumidos tradicionalmente como una hortaliza en la dieta de los mexicanos (Pimienta-Barrios, 1993).

Los nopales se usan como ingrediente en una gran variedad de alimentos, incluyendo cremas, sopas, ensaladas, guisos, bebidas y postres (Vigueras G. Y Portillo M, 1995).

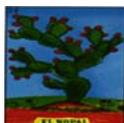
Son varias las especies de *Opuntia* para la producción de nopal. Sin embargo, *Opuntia ficus-indica (L.) Miller*, es la especie cultivada con mayor

importancia comercial (Pimienta- Barrios, 1993). No obstante, en otros países, como los Estados Unidos de Norteamérica, *Nopalea cochenillifera* (L.) *Salm-Dyck*, es la principal especie cultivada para producción de nopal (Mick, 1991).

Las plantaciones comerciales de nopal cubren una superficie de 10,400 ha, con una producción aproximada de 572,625 t/año. El nopal ocupa el octavo lugar en volumen de producción de hortalizas, después del jitomate, papa, chile verde, cebolla, sandía, melón y tomate.

Las áreas de producción se localizan en 18 estados de la República Mexicana, pero Milpa Alta, D.F es la zona productora más importante del país (Flores V. et al, 1995)

CAPÍTULO 2



OBJETIVOS

2.1 Objetivo general.

El objetivo general de este estudio es evaluar el efecto de las concentraciones de hidróxido de calcio, Ca(OH)_2 , y del tiempo de inmersión durante el proceso de elaboración de nopal cristalizado (*Opuntia spp*) sobre algunos parámetros de calidad.

2.2 Objetivos específicos.

- 1.- Realizar el análisis bromatológico del nopal, para conocer su composición nutricional.
- 2.- Hacer la evaluación sensorial instrumental de los nopales.

- color
- textura

3.- Realizar técnica de microscopía, para observar el comportamiento de las células, respecto a los tratamientos evaluados.

4.- Elaborar dulces cristalizados de nopal y evaluar los parámetros de calidad mediante métodos instrumentales y sensoriales.

INSTRUMENTALES

- Color
- Textura

SENSORIALES

- Color -Sabor
- Textura -Forma

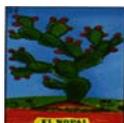


JUSTIFICACIÓN

El nopal es uno de los vegetales conocidos y distribuidos en muchos estados de la República Mexicana, y desde hace siglos atrás se ha distribuido a muchos países del mundo.

El nopal no se le ha dado la importancia necesaria que este producto merece, ya que con estudios que se le han realizado se ha comprobado que el nopal tiene diferentes usos y propiedades, tales como: Usos farmacéuticos, cosméticos, producción de energía, agroquímicos y también como alimento, además de reducir problemas de colesterol sanguíneo, diabetes, obesidad, limpieza de colon, entre otros.

Por tal motivo la finalidad de este proyecto es evaluar diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y del tiempo de inmersión en la elaboración de dulces cristalizados de nopal, y obtener un producto de buena calidad, y con esto contribuir a la obtención de nuevos productos a base de nopal, y que las personas tomen conciencia acerca de la importancia que tiene el nopal en la alimentación, ya que tiene muchos beneficios para el organismo humano.



REVISIÓN DE LITERATURA

4.1 HISTORIA DEL NOPAL

Los primeros Europeos que arribaron al continente americano comprendieron de inmediato la importancia de las *Opuntias* en el complejo mundo cultural prehispánico. Cuando en 1519 Hernán Cortes llegó al valle de México; no pudieron dejar de notar la presencia de nopalli (nombre náhuatl de la planta) ya que cuando entraron a Tlaxcala habían sido recibidos con frutos de tuna (nochtli) que incluso la comieron. Oviedo y Valdés – primer autor en describir las tunas usando el termino caribeño tun (fruta o semilla) – escribió que sus compañeros “conocieron y comieron la fruta del placer” en la isla española (Haití) en 1515 (Barbera, 1995).

Oviedo y Valdés, Toribio de Motolinia y Galeotto Cei (1539-1553) describieron varias especies y en sus trabajos resaltan los diferentes usos además de los alimenticios, tales como los colorantes (extraídos del fruto según Oviedo y Valdés), como hierba (unas especies conocidas como “Árbol Soldador” por su importancia en el tratamiento de fracturas) como fuente de agua, y para hacer cercos o barreras (Donkin, 1977).

Las primeras ilustraciones conocidas del nopal aparecen en la historia general de Oviedo y Valdés editada en 1535, pero se basa en plantas que crecían en América. Su introducción a Europa no esta documentada, pero tuvo lugar antes de 1552 cuando López de Gomara escribió sobre el nopal, pensando que ya se conocía bien en España (Donkin, 1977). La planta citada fue *O. ficus- indica* u *Opuntia amyclaea* según sostiene (Berger, 1912).

Las primeras *Opuntias* posiblemente fueron cultivadas cerca de Sevilla o Cádiz, los puntos terminales de los viajes a las indias. Se ha reportado que el nopal estuvo presente en Italia cerca de 1560, en Alemania y Holanda en 1583, y en Inglaterra en 1596. Y para el siglo XVIII se reporta su presencia en Sudáfrica 1772, India 1780, Filipinas 1695, China 1700, aunque es muy posible que la planta se introdujera a esos países en una época anterior (Donkin, 1977).

4.2 ORIGEN DEL NOPAL

En México, la historia del nopal se refleja en su escudo, donde, sobre esta cactacea se yergue un águila devorando una serpiente, demostrándose así la importancia social y económica que tuvo durante la época precolombina. Este país posee la mayor riqueza de especies y cultivares de *Opuntia spp* en el mundo y se considera uno de los centros de origen y dispersión del género, el otro está en Sudamérica (Gallegos y Méndez, 2000).

Los “nochtli”, llamados también “nopalli”, comprendían diversas especies que se distinguían nominalmente al radical “nochtli”, uno o varios términos que precisaban sus cualidades. Las plantas de este tipo son las que actualmente están incluidas en los géneros *Opuntia*, *Nopalea*, y *Epiphyllum*. Estas cactáceas son originarias del Continente Americano y se distribuyen desde Canadá hasta la República de Argentina; sin embargo, la diferencia que existe entre las de América del Sur y las de América del Norte respecto a su origen, implica la existencia de dos áreas de desarrollo. De los localizados en el primer punto, 61 géneros existen en México y 31 en Estados Unidos de América, esta distribución ubica como centro de diseminación a México (Bravo, 1978).

4.3 DISTRIBUCIÓN GEOGRÁFICA

4.3.1 Distribución en México

Debido a la gran superficie árida de la República Mexicana, las nopaleras se pueden encontrar prácticamente en todo el país tanto de manera silvestre como cultivada. Granados y Castañeda (1996) mencionan tres zonas nopaleras

propuestas por Marroquín (1964) que se basa en la abundancia de nopal y su incidencia natural.

Las especies características son: *O. streptacantha*, *O. leucotricha*, *O. cantabrigiensis*, *O. lindheimeri* y *O. Imbricata*:

4.3.1.1 Zona nopalera principal: Comprende a Zacatecas e incluye partes de Aguas calientes, Jalisco, Durango y Guanajuato.

4.3.1.2 Zona nopalera del noroeste: Norte de Tamaulipas y Noroeste de Nuevo León.

4.3.1.3 Zona nopalera difusa: Incluye solo las partes cálidas de San Luis Potosí, Zacatecas, Nuevo León, Coahuila, y partes áridas de Durango y Chihuahua.

Pimienta (1990) menciona que las nopaleras silvestres son las más distribuidas de México y se encuentran principalmente en Zacatecas y San Luis Potosí. En Jalisco un ejemplo de nopalera silvestre es la *Opuntia streptacantha* y *Opuntia leucotricha* (Bravo et al, 1991).

Una de las especies más comunes a escala nacional es la *Opuntia ficus-indica* comúnmente llamada “nopalito”, esta especie se siembra en gran parte de los estados de la República. Su amplia distribución se debe a la plasticidad de la planta en su adaptación a diferentes condiciones ambientales. La especie se puede encontrar en cultivos extensivos, cultivos de traspatio o solares como parte de un huerto en casa.

El cultivo de nopal se puede encontrar en:

AGUASCALIENTES: Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1990).

BAJA CALIFORNIA: Es la excepción de los estados de norte, pues es el único en producir nopal y no consumirlo. En este estado se produce nopal por dos razones. La primera es para exportarlo a los EE.UU. por las personas que emigran a este país y la segunda es para distribuirlo por los grandes núcleos de población estadounidense de origen mexicano que consume nopal en el estado de California. En esta región reproduce nopal en cuatro municipios: Mexicali, Tijuana, Ensenada, y Tecate (Cervantes et al., 2000).

COAHUILA: Nopal de traspatio *Opuntia ficus –indica* (Pimienta, 1993).

DISTRITO FEDERAL: En Milpa Alta, esta delegación es el mayor productor de nopal en nuestro país (Cervantes et al., 2000).

DURANGO: Nopal de traspatio *Opuntia ficus –indica* (Pimienta., 1993).

GUANAJUATO: Nopal de traspatio *Opuntia ficus –indica* (Pimienta., 1993).

JALISCO: Son pequeñas zonas nopaleras, la más importante se encuentra cerca del lago de Chapala (Cervantes et al. 2000).

MORELOS: En este estado el productor más importante es el municipio de Tlalnepantla con cerca de 350 ha cultivadas y 450 productores de nopal (Cervantes et al., 2000).

PUEBLA: Hay dos entidades nopaleras la primera comprende entre los municipios de Atlixco y Cholula, la segunda esta en el municipio de Acatzingo, en estas entidades se cultiva el nopal trueno (Cervantes et al., 2000).

MICHOACÁN: La producción de nopal se expande por todo el estado. Sin embargo, sobresale Uruapan con 250 ha. En ella se cultiva en un 90% el nopal blanco y en un 10% el nopal negro o verde (Cervantes et al. 2000).

OAXACA: La producción de nopal se concentra en los valles del centro (Cervantes et al., 2000).

SAN LUIS POTOSÍ: Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1993).

ZACATECAS: Nopal de traspatio *Opuntia ficus-indica* (Pimienta, 1993).

4.3.2 DISTRIBUCIÓN MUNDIAL

El poder de adaptación que poseen las opuntias les permite colonizar casi cualquier medio, su amplio intervalo para modificar su morfología al paso del tiempo, ha permitido que este género se adapte a una gran diversidad de habitats. Gracias a sus características se ha registrado la presencia de las Opuntias en gran parte del mundo. Países como Chile, Perú, Brasil, México, Bolivia, Argentina, Colombia, Estados Unidos de América, Italia, España, Sudáfrica, África del Norte y Oriente Medio poseen algunas especies de este género (Barbera, 1999).

4.4 CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA DEL NOPAL

Según Bravo (1978) la taxonomía del nopal más usada para la clasificación de las cactáceas el sistema de Britton and Rose el cual clasifica las *Opuntias* de la siguiente forma.



4.5 DESCRIPCIÓN DEL NOPAL

Los nopales (*Opuntia. ssp.*, *Cacteaceae*) son plantas xerofilicas, suculentas, espinosas y arborescentes, cuyos tallos son llamados cladodios o artículos. Las nopaleras son nativas de las zonas desérticas del noreste de México y del suroeste de los Estados Unidos de América (Knight, 1980). El nopal es una planta con resistencia natural a la sequía, debido a su particular fisiología, compleja estructura anatómica y morfológica (Pimienta, 1993).

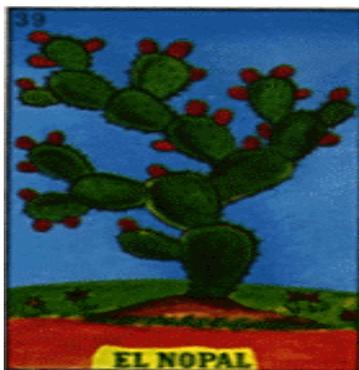


Figura No.1 El nopal

Como se muestra en la figura número 1, la planta puede alcanzar una altura de 5 m y prefiere los suelos calcáreos y el clima semiárido, con temperaturas de 18 a 26°C, los frutos son bayas carnosas, ovoides, o periformes de 5 a 10 cm de largo y 4 a 8 cm de diámetro, con pequeñas espinas en su epidermis y con pulpa jugosa de color blanco, amarillo, rojo naranja, o púrpura, con numerosas semillas. (Domínguez- López, 1995). La fructificación comienza a los 2 o 3 años y alcanza su óptimo a los 7 u 8 años. Una planta adulta puede rendir 100 a 200 frutas (Hernández, 2003).

El nopal se cultiva a una altura de 800 hasta 2400 m.s.n.m, pudiendo crecer en alturas de hasta 3000 m.s.n.m (Flores y Aguirre, 1989).

4.5.1 Mucílago del nopal

Este es el segundo producto del nopal más importante, ya que a partir de este se pueden elaborar shampoo, cremas, enjuagues, etc. Es factible, desde el punto de vista tecnológico, elaborar cremas comerciales teniendo como principal

ingrediente el mucílago del nopal por sus propiedades humectantes, limpiadoras y refrescantes. Estas propiedades se deben al alto contenido de polisacáridos formados por unidades: ramnosa, galactosa, xilosa, y ácido galacturónico, además de su contenido de minerales **cuadro 1**.

4.5.2 Metodología para la extracción de mucílago

1. Se desespinan y se cortan las pencas del nopal.
2. Se coloca el nopal cortado en un medio acidulado con agua.
3. Se deja reposar hasta que se precipiten los polisacáridos con alcohol, con una posterior deshidratación.
4. Finalmente, se obtiene el polvo con el cual se pueden elaborar productos medicinales y de cosmetología (Negrete, H. S, 1999).

Cuadro No1. Composición química del mucílago del nopal

COMPONENTE	CONCENTRACIÓN
Cenizas	0.8%
Nitrógeno	Ausente
Calcio	0.029%
Magnesio	0.018%
Viscosidad (Sol. al 1%)	1.54 cpv (centipoises)

FUENTE: Negrete, H.S. 1999.

4.5.3 Características del mucílago del nopal

El mucílago está constituido por polisacáridos secretados por las células vegetales.

Existen diferentes tipos de mucílagos, muchos de los cuales tienen una estructura de tipo glucorona-xilosa. Generalmente los cladodios son utilizados como materiales maduros. El mucílago presente en *Opuntia ficus-indica* es un heteropolisacárido (Hernández, 2003).

4.6 Valor alimenticio del nopal

El nopal en si no constituye un alimento completo; sin embargo, forma parte igual que otras verduras, de los alimentos cotidianos de muchas familias de escasos recursos; sobre todo en zonas áridas del norte del país, y proporcionan algunos elementos necesarios en la dieta. (Callejas, R.M, 1999).

**Cuadro No 2. Valor alimenticio del nopal verdura
(Cantidad respecto a 100 g de nopal crudo)**

CONCEPTO	CONTENIDO
Porción comestible	78%
Energía	27.00 Kcal.
Proteína	0.17g
Grasa	0.30g
Carbohidratos	5.60g
Calcio	93.00mg
Fierro	1.60mg
Tiamina	0.03mg
Riboflavina	0.06mg
Niacina	0.03mg
Ácido ascórbico	8.00mg

Fuente: Hernández, M; Chávez A y Burgos, 1977; Callejas R.M, 1999

Dentro de la composición química del nopal primeramente encontramos un alto contenido de agua, que esta en el orden de 90 - 92.5 %. Entre los minerales que contiene, los principales son calcio, y potasio además de magnesio, sílice, sodio y pequeñas cantidades de fierro **cuadro No. 2.**

El nopal contiene también, una variedad de diferentes glúcidos o carbohidratos y componentes nitrogenados (CONAZA, 1994).

4.6.1 Análisis bromatológico del nopal

En el **cuadro No. 3** Se presentan resultados obtenidos del análisis bromatológico de nopal en base seca reportado por diferentes autores.

Cuadro No 3. Análisis bromatológico del nopal en base seca.

Muestra	H%	M.S.T%	C%	P.C%	G%	F.C%	F.D	CHO'S
Harina de nopal ¹	8.26	91.73	29.53	17.15	3.06	11.55	ND	38.71
Harina de nopal ²	9.48	90.50	17.66	13.46	1.52	7.86	23.46	ND
Harina de nopal ³	5.63	94.37	24.07	7.53	2.04	10.67	ND	ND

H = Humedad, M.S.T = Materia seca total, C = Cenizas, P.C = Proteína cruda, G = Grasa, F.C = Fibra cruda, F.D = Fibra dietética, CHO'S = Carbohidratos,.

¹ Hernández, E. 2003; ² Villarreal, P. 2003; ³ UANL. Fac. Ciencias Biológicas, 2002

4.7 Situación actual del nopal

Las *opuntias* son ahora parte del ambiente natural y de los sistemas agrícolas de muchas regiones del mundo. Algunas especies son como malezas introducidas como lo es en Sudáfrica y Australia, donde las condiciones ambientales son muy favorables.

La distribución silvestre de *opuntias* introducidas incluye diferentes ambientes y un amplio rango de especies, lo cual se debe a la alta variabilidad genética de esas especies que se originan en la diversidad ecológica de las áreas de donde son nativas.

En muchos países las *opuntias* y sus productos tienen para varios propósitos que se pueden apreciar en el cuadro 4. Es difícil encontrar una planta más distribuida y explotada, principalmente en zonas áridas y semiáridas con una economía de subsistencia por falta de recursos naturales y productivos, donde los agricultores y ganaderos deben de ver hacia aquellas especies que pueden sobrevivir y producir rentablemente. Así, las *Opuntias* se han convertido en una fuente inagotable de productos y funciones, inicialmente como una planta silvestre y

después como un cultivo tanto para subsistencia como para una agricultura orientada al mercado (Barbera e Inglese, 1993).

Cuadro No. 4 Principales usos tradicionales, actuales y potenciales de *Opuntia*

ALIMENTO	Frutos y cáscaras de fruta (frescos, secos, enlatados, congelados, endulzado) Jugo; pulpa; bebidas alcohólicas (vinos, licor, colonche). Mermelada: melcocha; queso de tuna; syrup (miel de tuna). Dulces; jalea, pastelería; endulzador liquido. Aceite de semilla. Tallos (frescos, procesados en salmuera o vinagre; precocidos; congelados, jaleas, dulces)
FORRAJE	Tallos, frutos, semillas. Pastoreo, como arbustos para forraje.
ENERGIA	Biogás (tallos, frutos); etanol (tallos, frutos); leña.
MEDICINA	Diarrea (tallos); diuréticos (flores, raíces); disentería amibiana (flores); diabetes (tallo) Hiperlipidemia (tallo); obesidad (fibras); antiinflamatorio (tallos).
COSMÉTICO	Shampoo; crema humectante; jabonea; astringentes y lociones para el cuerpo (tallos)
AGRONOMICOS	Producción de suelo; cercas; compostas; rompevientos (plantas y tallos); Materia orgánica.
OTROS	Adhesivos y gomas; pectinas; fibras para manualidades, papel (tallos). Colorantes (frutos; cría de <i>Dactylopius coccus</i> en tallos); mucílagos para la industria alimentaría (tallos) ;antitranspirantes (tallos); ornamental.

Fuente: Barbera e Inglese, 1993.

4.8 PRODUCCIÓN DE NOPAL EN MÉXICO: PASADO Y PRESENTE

El uso de nopal en México incluye el desarrollo de tres sistemas de producción: nopaleras silvestres, huertos familiares y plantaciones comerciales (Flores Valdés, 1992b).

4.8.1 Nopaleras silvestres

El uso de comunidades silvestres de nopal se remonta a 25,000 años, cuando llegó el hombre a territorio que hoy se conoce como México. Estos primeros habitantes eran cazadores y recolectores, y seguramente utilizaron el nopal (sus tunas, los nopalitos y las pencas) en su dieta, como se muestra en la figura no. 2.



Fig. No. 2 Nopaleras silvestres

Se estima que 3 millones de los 13 millones de hectáreas de matorral *crasicuale* en México, están ocupadas densamente con comunidades de nopal. Los cladodios jóvenes (nopalitos) de un gran número de especies silvestres se utilizan durante la temporada (primavera –verano) para consumo humano en los estados del centro del país. Este tipo de explotación es, sin embargo limitado al consumo domestico y estos nopales casi nunca se comercializan. Una excepción se presenta en San Luis Potosí donde los nopales de *O. Robusta Wend1*, se recolecta de poblaciones silvestres dentro de un radio de 120 km alrededor de San Luis Potosí durante la temporada (marzo- junio), (Reyes, 1993).

4.8.2 Huertos familiares

En México la agricultura comenzó hace 4,500 años con la domesticación del maíz, frijol, calabaza, chile, amaranto, etc. Al mismo tiempo el hombre empezó a seleccionar las plantas silvestres sobresalientes, dentro de las cuales estaba el nopal, para plantarlos cerca de su casa. Fue así como se iniciaron los huertos familiares por todo México, los cuales se muestran en la figura número 3, estos aún producen nopales tanto para autoconsumo como para los mercados de los pueblos y ciudades pequeñas. La importancia de este sistema esta en la gran diversidad

genética que ofrece, ya que estas plantas de nopal se han cruzado y se han seleccionado por un largo período. Las variedades comerciales surgieron de huertos familiares.



Fig. No. 3 Huertos familiares

4.8.3 Plantaciones comerciales

Debido al crecimiento de la población, así como la mayor capacidad de compra, la demanda de nopal creció mucho y la producción de los huertos familiares fue insuficiente. Alrededor de 1950, los productores de Milpa Alta en el Distrito Federal seleccionaron las mejores variedades de sus huertos para plantarlas en parcelas agrícolas, así comenzó el sistema de plantaciones comerciales, estas abarcan 10,000 ha y surten casi todos los nopales para los grandes mercados nacionales y extranjeros, como se muestra en la figura número 4 (Flores Valdés, 1992b).



Fig No. 4 Plantaciones comerciales

4.9 OFERTA Y DEMANDA DE NOPAL EN MÉXICO

4.9.1 Distribución de geográfica de la oferta

La distribución geográfica se muestra en el cuadro No. 5. La producción de nopal se concentra en el centro del país. Además de los estados mencionados en el cuadro, hay otros como México, Sonora, y Zacatecas que tienen menos de 100 ha cada una de plantaciones para producción de nopal. Áreas de cultivos más pequeñas (menos de 50 ha) se encuentran en los estados de Aguascalientes, Querétaro, San Luis Potosí, Hidalgo, Tlaxcala, y Durango.

Cuadro No. 5 Área dedicada a la producción de nopal por estados

ESTADO	AREA (Ha)	ESTADO	AREA (Ha)
Distrito Federal	7,500	B. California	150
Morelos	450 ^a	Guanajuato	120 ^a
Michoacán	318 ^b	Jalisco	100 B
Puebla	251 ^b	Oaxaca	100

a = información dada por organizadores de productores

b = SARH. 1992^a. Anuario estadístico de la producción agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. T.I . 592pp

SARH.1992b. Estrategia nacional de mediano plazo 1992-1999) de desarrollo y promociones de Exportaciones de nopal verdura.

(Guiseppe, B y Paolo I. 1999).

4.9.2 Distribución, demanda y oferta durante el año

Debido a las condiciones climáticas (temperatura y lluvia) durante el año hay períodos de baja, mediana y alta producción. El período de alta producción es de abril a agosto, la producción mediana se logra en marzo, septiembre y octubre, y la producción baja es de noviembre a febrero. Así, tenemos cuatro meses que la oferta es baja, tres meses en que es media y cinco meses en que es alta.

Al igual que la oferta, la demanda tiene una distribución geográfica y de temporada. La demanda de nopal se localiza en los estados del centro. En el norte y las costas la demanda es mucho menor, aunque ha incrementado ligeramente en la parte norte del país en los últimos años. La demanda es homogénea durante todo el

año. Aunque hay períodos de gran demanda (ejemplo: durante la cuaresma y navidad).

Los precios también tienen una distribución geográfica y estacional. Son bajos en la Central de Abastos del Distrito Federal y en el mercado de Milpa Alta, y tienden a aumentar con la distancia entre el centro del país y los puntos de distribución secundaria (Guadalajara, Monterrey, Torreón, etc.).

4.9.3 Demanda internacional de nopal

En la medida que el consumo de nopal está restringido a la comida mexicana, la oferta y demanda se limita a México y otros países con poblaciones de origen mexicano. También hay demanda en los Estados Unidos de América, y algunos países Europeos y Asiáticos donde se consume esporádicamente en bajos volúmenes como un alimento exótico (Guiseppe, B y Paolo I, 1999).

4.9.3.1 Principales países importadores de nopal

El principal país importador de nopal verdura son los Estados Unidos de América. El destino de este producto lo constituye la población de origen mexicano que radica en este país, conformando un nicho de mercado cuyo comportamiento sigue en buena medida las pautas de consumo de las familias mexicanas.

México no importa nopal y es el principal abastecedor de esta verdura en el mercado de EE.UU., solo recientemente se incluyó Chile con algunas exportaciones de poca monta de nopal en fresco a Nueva York (Flores, 1995).

La importación de nopal de EE.UU. proviene en un 99% de México y el 0.10% de Chile que envía por vía aérea a Nueva York un poco más de 1.5 toneladas de las exportaciones de México, la mitad 49.34 % van a la costa del oeste (San Diego, Nogales y los Ángeles) y el resto se envía por Texas y Chicago cuadro No. 6.

Cuadro No. 6 Volúmenes de nopal importados por EE.UU. por país de origen y puerto de entrada (1º de octubre de 1991 a 30 septiembre de 1992)

PAÍS / PUERTO DE ENTRADA	VOLUMEN Kg
CHILE	
Nueva York, N.Y	1,474
MÉXICO	
Chicago. Ill	400
Dallas, Tx	18
Eagle, Pass, Tx	2,084
El paso Tx	99,771
Hidalgo ,Tx	238,723
Laredo, Tx	429,186
Los Ángeles, Ca	51,550
Nogales, Az	60
Progreso, Tx	110,458
Roma, Tx	3,542
San Diego, Ca	591,672
TOTAL MÉXICO	1 527,464
TOTAL	1 528,938

Fuente: Greene and Plumer. 1992.

4.9.3.2 Principales países exportadores de nopal

Solo dos países cultivan nopal verdura: México con 10,400 ha plantaciones y EE.UU. que cultiva de 50 a 100 ha en plantaciones. En México se cultiva una gran diferencia de variedades de nopal, la mayoría pertenece al género *Opuntia* y solo dos o tres corresponden al género *Nopalea*. En Estados Unidos de América, se cultiva nopal para verdura en Texas y California y en ambos estados producen con base a variedades del género *Nopalea*. Los nopales del género *Nopalea* se caracterizan por presentar cutícula gruesa, un color verde brillante, ausencia de espinas, y ausencia de “ahuates” lo que facilita su limpieza. Sin embargo los consumidores incluyendo a los EE.UU., prefieren las variedades de *Opuntia*, argumentando que tiene mejor sabor.

El nopal se exporta fresco o procesado en diferentes formas (Flores V., 1992a).

4.10 Diferentes formas de exportación de nopal

4.10.1 Nopal fresco con espinas



La producción del norte de México (B. California, Zacatecas, San Luis Potosí y Tamaulipas) exportan nopal casi todo el año. En invierno, al disminuir la producción en California y Texas a causa de las bajas temperaturas, los comerciantes solicitan nopales a la central de abastos (CEDA) del D.F realizando los embarques por carretera o esporádicamente por avión en empaques de cartón.

4.10.2 Nopal desespinado



El nopal se desespina y se pica en trozos pequeños en las ciudades fronterizas (Tijuana B. California Reynosa, y Tamaulipas) con mano de obra barata, se colocan en bolsas de polietileno y en camiones refrigerados, se transportan a ciudades de los Ángeles California, San Antonio, Houston y Dallas Texas; para su distribución a supermercados, en donde se expende en mesas con frío.

4.10.3 Nopal procesado en salmuera o escabeche

La exportación de nopal procesado la realizan gran número de empresas, por lo cual deben de cumplir con las normas sanitarias, arancelarias y comerciales de México y de EE.UU. (o de los otros países en donde se exporta especialmente). La forma más común de procesar en salmuera (agua con sal) agregando al nopal, cilantro, cebolla, y chile. En escabeche, el nopal se agrega con vinagre, puede ir solo o comúnmente acompañado de especias, ajo, zanahoria, chile y cebolla. La mayoría de las empresas lo envasan en vidrio, algunos lo enlatan y otros lo manejan en bolsas de polietileno.

4.10.4 Nopal precocido y congelado

Recientemente cuando menos dos empresas han comenzado a preparar nopal precocido o congelado, empacados en bolsas de polietileno y con el cual han concurrido a los mercados nacionales y extranjero (Flores, V. 1992).

4.11 NOPALES O TALLOS DE NOPAL

4.11.1 Calidad y características nutricionales

El nopal es una hortaliza tradicional en México y una hortaliza de especialidad en los EE.UU. y otros países.

Los tallos de nopal de buena calidad son delgados, de apariencia fresca, turgentes y con un color verde brillante.

Después de cortarse de la planta y seccionarse en al mesa, los tallos de cactus se pueden comer como hortaliza fresca o cocinada asemejándose al sabor de los ejotes (Rodríguez- Félix y Cantwell, 1988).

Los nopales son principalmente agua (92%) y carbohidratos, incluyendo fibra (4-6%), con poca proteína (1-2%) y minerales principalmente calcio (1%). También contiene cantidades moderadas de vitamina "C" y el precursor de la vitamina "A", el β - caroteno (Rodríguez-Félix y Cantwel, 1988).

4.11.2 COSECHA DEL NOPAL

Los cladodios deben de cosecharse a los 30 a 60 días después de brotar, cuando pesen entre 80 y 120 g y sean de 15 a 20 cm de largo como se muestra en la figura número 5.



Fig No. 5 Cosecha del nopal

Algunos productores cosechan jalando y dándole vuelta a los nopales, sin embargo, esto puede producir daños y pudriciones. La mayoría de los productores usan una navaja para la cosecha (Cantwell, 1992; Corrales, 1992); cortando la base del nopal se causa pudrición y la duración postcosecha del producto es corta, pero cortando en la unión entre el cladodio “soporte” y el nopal, ayuda a retrasar el deterioro. Para exportación se recomienda que el corte se efectúe tomando una parte del cladodio soporte junto con el nopal. Este botón se seca y cae después de algunos días. Esta práctica conserva los nopales por un mayor tiempo.

4.11.3 EMPAQUE DEL NOPAL

En México, los nopales se empacan en diferentes formas para enviarlos al mercado.

4.11.3.1 Pacas:



Esta forma de empaque es utilizada por los productores de Milpa Alta y Tlalnepantla, quienes venden su producto en la central de abastos de la ciudad de México. Las pacas son unos cilindros de nopal bien acomodados, de 0.9 m de diámetro por 1.70 m de alto; con una capacidad aproximadamente 3,000 nopales y pesan de 250 a 300 Kg.

4.11.3.2 Colotes:



Los nopales se cortan, se llevan a la orilla de las parcelas en “colotes” (canastas de carrizo); estos son utilizados frecuentemente por muchos productores de Milpa Alta para llevar sus nopales al poblado y venderlos en las calles alrededor del mercado delegacional.

4.11.3.3 Granel: Algunos productores llevan sus nopales desde sus lotes al mercado de Milpa Alta amontonados o algunas veces colocados cuidadosamente uno encima del otro en la caja de las camionetas.

4.11.3.4 Cajas: Mucho de la producción de nopal, principalmente de Milpa Alta, se envía a la central de abastos de la ciudad de México, para después ser llevada a mercados lejanos del país en las ciudades de Monterrey, Guadalajara, Torreón, etc. Para estos mercados los nopales se empacan en cajas de madera (rejas).

4.11.3.5 Arpillas: Los recolectores de San Luis Potosí y Zacatecas que surten a las plantas procesadoras de San Luis Potosí, juntan los nopales de las nopaleras silvestres. Antes de entregarlo lo desespinan y colocan en “arpillas” (sacos de tejido áspero) hechas de fibra de plástico o “ixtle”.

4.12 CONDICIONES DE ALMACENAMIENTO

Los tallos de nopal pierden su apariencia brillante y se tornan a un color verde opaco con el tiempo después de la cosecha (Cantwell et al., 1992). Los nopales almacenados en condiciones de ambiente natural también pueden amarillearse y curvarse hacia adentro por la pérdida de agua (Neri et al., 1992). Almacenados los nopales de 5° a 10° C se reduce significativamente su tasa de respiración, aumentando su vida de anaquel de postcosecha de menos de una semana a 20°C a tres semanas a 5°C (Cantwell et al., 1992).

Después de tres semanas de almacenamiento a 5°C los nopales empiezan a mostrar señales de daño por frío, en particular un oscurecimiento que se torna bronceado o difusa que es poco atractiva. El daño por frío también es importante ya que deteriora rápidamente a los nopales cuando se mueven del almacenamiento y se comercializan a temperatura ambiente (Ramayo-Ramírez et al., 1978 a).

La descomposición de la base de los nopales puede ser un problema si se almacenan por más de dos semanas; generalmente se evita la descomposición al

asegurarse que no se dañen cuando se les corta el cladodio madre. La inmersión en fungicida ha demostrado que se reduce el oscurecimiento café de los nopales pero no se utiliza comercialmente (Ramayo-Ramírez et al., 1978b).

4.12.1 MANEJO DE NOPAL FRESCO

Las investigaciones recientes se han enfocado a mejorar la vida de anaquel del nopal limpio y cortado en cubos o trozos pequeños, una forma común de cómo se mercadean. La vida de anaquel de trozos de nopal fue de un día a temperatura ambiente y seis días a 5°C (Rodríguez-Félix y Soto-Valdez, 1992).

La reducción del oscurecimiento en la superficie cortada y la prevención de la pérdida de fluidos (mucílago), son los principales problemas en el manejo de cubos de nopal (Rodríguez-Félix y Soto-Valdez, 1992); el lavar los trozos no es efectivo por que el agua extraerá el mucílago de las superficies cortadas (Trachtenberg y Mayer, 1982). Es necesario mantener seca la superficie cortada y almacenar los trozos a bajas temperaturas para optimizar su vida de anaquel. Varios tratamientos químicos (incluyendo inmersiones en bisulfito de sodio, ácido cítrico y ácido ascórbico) han sido reportados como efectivos en reducir el oscurecimiento de nopal fresco cortados (Camara- Cabrales et al., 1990).

4.12.2 MANEJO DEL NOPAL PARA EXPORTACIÓN

Como primer paso se deben de seleccionar nopaleras bien atendidas: abonadas, fertilizadas, libres de plagas y enfermedades y sobre todo, que no contengan residuos de pesticidas.

La cosecha debe de realizarse con cuchillo, de preferencia con “botón” (con un pedazo de penca adherido al nopal), para que la vida postcosecha sea mayor.

Si el mercado lo requiere, deberá desespinarsse con el personal especializado, puesto que las máquinas desespadoras que existen hasta el momento no son eficientes.

Después del desespinado, el nopal debe ser empacado en bolsas de polietileno y colocados en frío a una temperatura de 8 a 10°C, es conveniente que la red de frío no se interrumpa, que salga hasta que llegue al consumidor final, ya que este producto es de alta perecibilidad.

Las distancias y tiempos que se requieren para exportar son mayores que las nacionales, la exportación se podrá hacer con nopal sin desespinar o desespinado en bolsas de plástico, manejado en frío y además oxidantes como el ácido cítrico, el cual no tiene restricciones de la FDA.

Que la empresa productora-comercializadora cuente con personal de su espacio de arribo que certifique cantidad, calidad y condiciones de llegada del producto.

Es importante que la bolsa lleve información sobre la empresa productora-exportadora y la manera de preparar y consumir el nopal, además de hacer mención de los cuidados de salud que conlleva el consumo de esta verdura y que cumplan con señalar que es producto de México (Flores, 1995).

4.13 NORMA DE CALIDAD DEL NOPAL VERDURA

La existencia de normas de calidad en general y específicamente para los nopales es conveniente para productores, comercializadores, y consumidores, pues con ellos los intercambios comerciales suelen ser más justos, de manera que a mayor calidad esté relacionada con mayor precio.

Para la comercialización de nopal verdura existen 2 normas:

- a) La Norma Oficial Mexicana NOM-FF-68-1998 (DGN-SECOFI)
- b) La Norma Codex Stan 185-1993 (Codex Alimentarius-FAO)

Con relación a la definición del producto y especies de aplicación, ambas normas se aplican para las especies “*O. ficus indica*”, “*O. tormentosa*”, “*O. hyptiacantha*”, “*O. robusta*”, “*O. inermis*”, y “*O.ondulata*”. Al respecto cabe señalar que faltaría por incluir a una especie del género *nopalea* que también se usa ampliamente como verdura en las regiones de la Huasteca Potosina, y Tamaulipeca, la cual se trata de *N. Cochenillifera* L.

La Norma Mexicana se refiere al cladodio como “rama comprimida”, en cambio la Norma Codex lo define como “tallo modificado”.

En cuanto a los requerimientos mínimos de calidad, la principal diferencia es que la Norma Mexicana aplica a nopales con espinas y la Norma Codex establece que los nopales deben estar libres de estas, aparte de no presentar daños por bajas temperaturas; manchas ni olores o sabores extraños.

Las categorías de clasificación por calidad en la Norma Mexicana son: “México Extra”, “México 1”, “México 2”, mientras que en al Codex: “Clase Extra”, “Clase I”, “Clase II”, preexistiendo correspondencia entre estas.

Las categorías de clasificación por tamaño cubren los mismos rangos en ambas normas (desde 9 hasta 30 cm) con la diferencia de que en la Norma Mexicana, las categorías van de mayor a menor (asignándole la letra “A” a la categoría de mayor tamaño (de 25 a 30 cm), mientras que en la Norma Codex las categorías van de menor a mayor, asignando la letra “A” al rango de menor tamaño (de 9 a 13 cm) (Flores, 1992; Murillo, A. B. et al., 2003).

4.14 ESPECIES Y VARIEDADES DE NOPAL

Se puede afirmar que todas las especies de nopal, silvestres o cultivadas, son aptas para el consumo como verdura fresca y que en general producen brotes tiernos en diferentes épocas del año. En el estado de San Luis Potosí las especies que se explotan en mayor proporción para consumo como verdura fresca o para

enlatado son: Nopal Cardon, (*Opuntia streptacantha*), y nopal de tuna tapona (*Opuntia robusta*) que crece en forma silvestre Cuadro No. 7 (Zamora, 2004).

4.14.1 Milpa alta: Es la variedad más importante a nivel nacional por su superficie cultivada y por el volumen de producción que concurre al mercado. Se le ha clasificado como *Opuntia ficus indica* L., Se cultiva en Milpa Alta, Distrito Federal y en el Municipio de Tlalnepantla, en el estado de México (Flores, 1994a).

4.14.2 Copena VI, Copena FI: La variedad Copena tiene como características principales el carecer de espinas, presentar un color verde intenso, ser suculenta, buen sabor, y poca acidez; esta se cultiva en el estado de Hidalgo, Guanajuato, y Baja California.

La variedad Copena FI fue seleccionada como variedad forrajera: sin embargo, por producir una gran cantidad de nopal sin espinas, presenta poco mucílago y un color agradable, este ha sido cultivado como nopal en los estados de México, Tlaxcala, Puebla y California (Flores, 1994a).

4.14.3 Blanco y Negro: Estas variedades se cultivan en los alrededores de Uruapan, Michoacán, y se envían a sitios lejanos como Tijuana y Baja California (Flores, 1994a).

4.14.4 Tamazunchale: En la sierra, al sur de Tamazunchale, San Luis Potosí, se cultiva esta variedad que es del genero *nopalea*; esta presenta las pencas alargadas, una cutícula gruesa y pocas espinas (Flores, 1994a).

Cuadro No. 7 Variedades cultivadas de nopal verdura

VARIEDAD	ENTIDAD DE PRODUCCIÓN	ESPECIE
Milpa Alta	Distrito Federal, Morelos	<i>O. ficus indica</i>
Atlixco	Puebla, Estado de México	
Copena VI	Edo. de México, B. California, S.L.P., Sonora, Hidalgo	
Copena FI	Edo. México, Sonora, B. California,	
Moradilla	Estado de México	
Blanco	Michoacán	
Negro	Michoacán, Guanajuato	
Blanco con espinas	Guanajuato	
Polotitlán	Estado de México	
Tamazunchale	San Luis Potosí, Hidalgo	<i>N. cochelinifera</i>
Tapón	S.L.P, Zacatecas, Guanajuato, Durango, Aguascalientes, Jalisco, Querétaro	<i>O. robusta</i>

Nopal silvestre y plantado como cerco de huertos familiares y parcelas agrícolas, objeto de recolección.

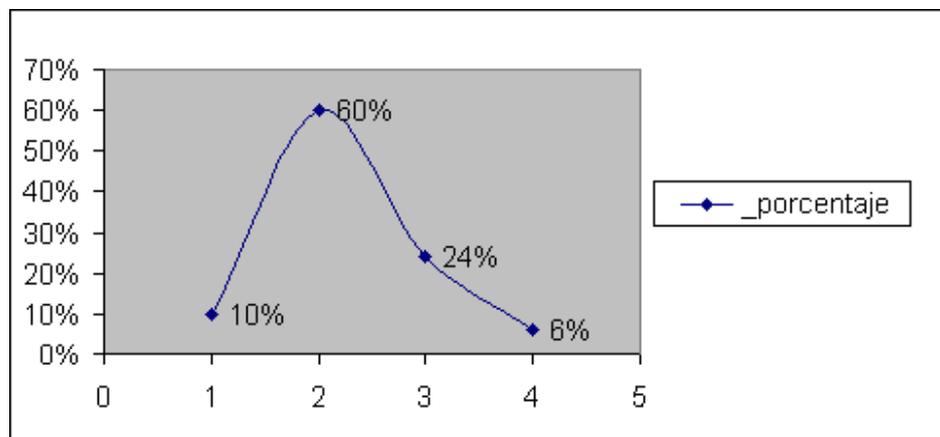
Fuente: Flores et al (1995).

4.15 COMERCIALIZACIÓN Y PRECIOS EN EL MERCADO INTERNO

De acuerdo con Flores (1995) el lugar más importante de venta de nopal en México es la Central de Abastos de Iztapalapa, Distrito Federal, donde se estima una comercialización de 77 % del nopal producido en México. Ahí concurren productores e intermediarios de todo el país. El nopal comercializado en esta central de abastos proviene en un 80 % de la delegación de Milpa Alta, mientras que de 5 a 9 % proviene del estado de Morelos. La forma de venta es directa entre vendedor-comprador, sin contratos específicos que definan las características del producto; la venta puede ser directamente, en piso, sobre los pasillos al mayoreo y medio mayoreo. El empaque en que se vende es diferente de acuerdo con el mercado de destino, ya que se entregan en cajas de cartón, rejas de madera o bien en pacas (Flores, 1995).

Existen cuatro temporadas en las que el precio rige su denominación de buena, mala, regular y muy buena. En la figura No. 6 se observa que la mejor época de comercializaciones de noviembre a diciembre, dado que el porcentaje de rechazo es de 6% y que en los meses de marzo a junio hay una sobre oferta en la época que se conoce como mala ya que concentra un 60 % del volumen anual.

Los meses correspondientes y los porcentajes de oferta del nopal se muestran en la figura No. 6



1. **Bueno:** Producción Regular (Enero- Febrero).
2. **Malo:** Producción Alta (Marzo-Abril-Mayo-Junio-Julio).
3. **Regular:** Producción Media (Agosto-Septiembre-Octubre).
4. **Muy Bueno:** Producción Baja (Noviembre-Diciembre).

Figura No. 6 Distribución anual de volúmenes de comercializados en la Central de Abastos de Iztapalapa (%). Fuente: Sistema Nacional de Información de Mercados (1998)

En otros mercados regionales de México los precios de nopal fresco, al igual que en la Central de Abastos (CEDA) de Iztapalapa, difiere en el año. El cuadro No. 8 ilustra el comportamiento de los precios para el año 1998 en las principales ciudades consumidoras, observándose que donde alcanza los mayores

precios es en el Distrito Federal, San Nicolás de los Garza, Nuevo León y Torreón, Coahuila, donde a la vez, distribuye a todas las ciudades fronterizas del norte del país (Ciudad Juárez, Chihuahua, principalmente).

Cuadro No. 8 Variación de precios del kilogramo de nopal con espinas en distintas centrales de abastos de México.

Mes	CEDA D.F.	Guadalajara Jalisco	San Nicolás de los Garza, N.L.	Puebla	Mercado Madero en Hermosillo, Sonora	Torreón, Coahuila
Enero	4.32	5.36	4.39	5.62	4.50	6.10
Febrero	3.87	2.42	4.13	4.79	4.66	5.50
Marzo	1.40	1.05	2.34	1.44	2.45	2.49
Abril	1.39	0.82	2.00	0.81	1.71	1.65
Mayo	2.36	1.18	2.28	1.10	1.98	1.47
Junio	2.59	1.26	2.45	1.07	2.28	1.30
Julio	1.59	1.03	2.02	0.90	2.03	1.55
Agosto	1.54	0.86	2.05	0.79	2.02	1.68
Septiembre	2.95	1.21	2.73	1.55	2.11	3.23
Octubre	6.37	2.63	5.38	4.82	2.74	6.05
Noviembre	6.00	2.62	5.24	5.97	3.41	6.71
Diciembre	5.64	2.95	4.30	4.09	3.77	6.77
Promedio	3.34	1.95	3.28	2.75	2.50	3.15

Fuente: SNIM. 1998, México

Geográficamente la demanda en el país no es homogénea; se concentra en el centro y es menor en la zona norte con tendencias a aumentar, siendo casi nula en las costas (Flores, 2002). Esta demanda es constante en el año con épocas de mayor flujo en cuaresma y navidad. Una de las razones que explican su incremento es por motivos de salud. Al saber de los beneficios que conlleva su consumo, el consumidor incrementa su demanda. Estos beneficios son: Ayuda a la disminución de peso, el abatimiento de los niveles de azúcar y el colesterol en la sangre.

La mayor demanda de nopal en el extranjero se presenta en EUA en las ciudades de los Ángeles y San Diego, California; Houston, Dallas y San Antonio, Texas y en la ciudad de Chicago y Nueva York. En los centros comerciales además de venderse nopal preparado en salmuera o escabeche, se encuentra con espinas, nopal limpio y recientemente se vende nopal limpio y picado en bolsas de plástico selladas (SAGARPA-CEA, 1999).

Considerando en México una población estimada de 97.362 millones de habitantes, acorde a las cifras preliminares del censo poblacional, el consumo per cápita aproximado de nopal en 1999 fue de 3.27kg. Ocupando el decimoprimer lugar dentro de las principales hortalizas producidas en México. Como se aprecia en el cuadro No. 9 (Negrete,2000), las principales zonas productoras de nopal verdura son: Milpa Alta, DF; Otumba (Estado de México) y Tlalnepantla, Morelos; las cuales destinan su producción a tres importantes ciudades industriales del país que son: Guadalajara, Monterrey y Torreón.

Le sigue Zacatecas que de igual manera distribuyen su producción a las ciudades antes mencionadas, incluyendo dos mercados (Tijuana, B.C y Ciudad Juárez, Chihuahua).

Se observa que también Tamazunchale, San Luis Potosí y Her Mante, Tamaulipas, se destina su producción al exterior principalmente a las ciudades de Texas, Chicago y Nueva York, Tecate y Ensenada B.C. son otras ciudades que exportan nopal verdura a los Estados Unidos, especialmente a los Ángeles y San Diego (S N I M, 1998).

Cuadro No. 9 Mercado del nopal en el interior de México.

ESTADO PRODUCTOR	CIUDAD Y ESTADO CONSUMIDOR
Milpa Alta, Distrito Federal	CEDA Iztapalapa; DF; Monterrey; Guadalajara; Torreón, ciudades del Sureste, Exportación a EUA.
Tamazunchale, S.L.P.	Tampico, Cd. Victoria, Tamaulipas
Herz-Mante Tamaulipas	Monterrey, N.L; y Exportaciones a Texas, Chicago y Nueva York.
Zacatecas	Guadalajara, Monterrey, Zacatecas, Torreón, Cd Juárez y Chihuahua
Aguascalientes	Guadalajara, Morelia, Uruapan, Cd Lázaro cárdenas.
Valtierrilla, Guanajuato	Querétaro, Celaya, Guanajuato, Salamanca, I León.
Mexicali, Baja California, Tecate, Ensenada, I	Mercado local, y Tijuana. Los Ángeles, San Diego.
Oeste de la Laguna de Chapala, Jalisco	Mercado local, Noreste de México.
Valles centrales de Oaxaca	Ciudad de Oaxaca.
Cuautitlán-Texcoco y Pirámides, Estado de México.	CEDA del DF, Central de Ecatepec, Central de Tultitlan.
Coatepec, Harinas. Estado de México	Oeste del Estado, Toluca
Polotitlan	San Juan del Río, Querétaro, Celaya.
Tlalnepantla, Morelos	CEDA del D.F, Cuautla y Cuernavaca, Morelos; Acapulco, Guerrero; Monterrey, N.L; Saltillo y Torreón, Coahuila.
Tlaxcalancingo, Atlixco, Acatzingo, Puebla.	Puebla, Tlaxcala, Cd de México, Guadalajara, Veracruz y Tabasco.
Ziracuaretiro, Michoacán.	Guadalajara, Morelia, Uruapan, Cd. Lázaro cárdenas

(Negrete, 2000)

4.15.1 LA INDUSTRIALIZACION DE NOPAL EN MÉXICO

Existe en México un gran número de empresas que utilizan el nopal como materia prima para producir gran variedad de productos. Los productos elaborados con el nopal se pueden agrupar de la siguiente manera:

4.15.1.1 Alimentos:



Nopales en salmuera, escabeche, en forma de mermeladas, dulces y licores. Las fábricas que procesan nopal para alimento se muestra en el Cuadro No. 10

4.15.1.2 Cosméticos:



Cremas limpiadoras, cremas humectantes, champú, enjuagues, mascarillas, y jabones. Para la fabricación de productos de belleza y medicinales con base al nopal, al igual que las empresas procesadoras de alimentos a partir del nopal, se localizan en los estados del centro del país.

4.15.1.3 Medicinales: Cápsulas, comprimidos y polvos.

Cuadro No.10 Agroindustrias procesadoras de nopal para alimento en México.

AGROINDUSTRIA	CIUDAD	MARCA
Productos Frugo, S.A. de C.V	Salamanca, Guanajuato	Frugo
Arancia, S.A. de C.V	Celaya, Guanajuato	Embasa, pueblito, La Gloria
Consil o Ann O'Brien S.A. de C.V	Silao, Guanajuato	Ann O'Brien
Herdez S.A. de C.V	San Luis Potosí, SLP	Doña Maria
Rompepe Coronado	San Luis Potosí	Coronado
Conservas La Costeña	Tulpetlac, Estado de México	La Costeña
Clemente Jaques	Querétaro, Querétaro	Clemente Jaques
Conservas Delicius	Pachuca, Hidalgo	Delicius
Productos San Joaquín	Tecozanutla, Hidalgo	San Joaquín
Productos Milpa Alta	Milpa Alta, D.F.	Escabeche
Mauro Robles, S.A. de C.V	Villanueva, Zacatecas	El Carretero
Agroprocesos Pro Bajío, S.A. de C.V	Celaya, Guanajuato	Pro Bajío
Empacadora Rila, S.A. de C.V.	Aguascalientes, Aguascalientes	Rila
Soc. Coop. Pronopval, S.C.L.	Salamanca, Guanajuato	Valtierrilla
PAV S.A de C.V.	Salamanca, Guanajuato	Rancherito
Grajita del Centro	Cortazar, Guanajuato	La Granjita del Centro
Empacadora del Centro, S.A de C.V.	Nopalulan, Puebla	San Marcos
El Paraíso S. de R.L.	Hejotzingo, Puebla	Rosina
Agrícola, Carsan, S. de R.L.	Ensenada, B.C.	La Costa
Agroindustria Milpa Alta S. de R.L.	Milpa Alta D.F.	Milpa Alta

Fuente: Flores y Olvera, 1994

4.15.2 COMERCIALIZACIÓN Y PRECIOS EN EL MERCADO EXTERNO

La población de origen mexicano residente en Estados Unidos de América es un mercado importante potencial de comercio a futuro de comercialización de nopal, si extrapolamos los gustos y hábitos alimenticios de la población mexicana y su gran representatividad en los EUA. La comercialización inicia en los años setentas y es alrededor de los ochentas cuando Baja California y La Huasteca Potosina empezaron a dirigir sus exportaciones hacia los mercados de

Dallas, Chicago, El Paso, Laredo, Los Ángeles, Nogales, San Diego, etc. (Pimienta, 1994).

El nopal se exporta en fresco en diversas presentaciones, en fresco con espinas, sin espinas y cortado; procesado en salmuera o escabeche; precocido y congelado. No hay información suficiente para establecer la cantidad de industria que procesa actualmente el nopal; sin embargo, el producto se exporta a los mercados con etiquetado de grandes empresas como La Costeña, Herdez. Doña Maria, Frugo, Ann O'Brien, Clemente Jaques, Embasa, y Coronado; las fabricas procesadoras de nopal se encuentran en diversos estados de la republica, destacando San Luis Potosí, Guanajuato, Estado de México, Distrito Federal, Zacatecas, Puebla, Querétaro, Aguascalientes y Caja California (Flores y Gallegos, 1994).

4.16 PARÁMETROS INVOLUCRADOS EN LA ELABORACIÓN Y CONSERVACIÓN DE DULCES CRISTALIZADOS.

4.16.1 Actividad de agua en los alimentos (aw)

Es sabido que la capacidad de los distintos microorganismos para multiplicarse en un alimento está relacionada con la actividad de agua del alimento.

La actividad de agua es la relación entre la presión de vapor del agua del alimento y la del agua pura a la misma temperatura. O lo que es lo mismo, es la medida del agua disponible que existe en un alimento y depende del tipo y cantidad de interacciones del agua con otros componentes del alimento. La actividad de agua influye en el crecimiento, la resistencia y la supervivencia de microorganismos y la tasa de reacción de la mayoría de los procesos de degradación de la calidad.

http://www.abcdietas.com/glosario/actividad_de_agua.html

La actividad de agua puede reducirse añadiendo solutos (humectantes) a la fase agua o reduciendo la concentración de la fase agua.

Ambos procedimientos limitan el agua disponible para la multiplicación microbiana, retardando así o incluso evitando dicha multiplicación (Arthey, Dennis, 1992).

La mayoría de las bacterias no se multiplican cuando la actividad de agua es inferior a 0,91, las levaduras por debajo de 0,88 y los mohos por debajo de 0,80. De forma excepcional, microorganismos con una tolerancia especial tales como las bacterias halofílicas y las levaduras osmofílicas pueden multiplicarse con una actividad de agua de 0,60 aproximadamente. Las características de los microorganismos con una capacidad potencial para alterar el producto indicarán, por consiguiente, la máxima actividad de agua y de ahí el contenido de humedad que debe alcanzarse en el proceso de deshidratación (Arthey, 1992).

La deshidratación es un método de conservación de los alimentos basado en la reducción de la aw (lo que se consigue eliminando el agua de los productos). También el agregado de solutos desciende la aw lo cual se da durante el curado y salado, así como en el almíbar y otros alimentos azucarados

4.16.2 Grupos principales de alimentos en relación con su actividad de agua

1. Tienen aw de 0,98 o superior las carnes y pescados frescos, las frutas, hortalizas y verduras frescas, la leche, las hortalizas en salmuera enlatadas, las frutas enlatadas en jarabes diluidos. Existen muchos alimentos con un alto contenido en agua entre los que se encuentran los que tienen un 3,5 % de NaCl o un 26 % de sacarosa en la fase acuosa. En este rango de aw crecen sin impedimento algunos de los microorganismos causantes de toxiinfecciones alimentarias y los que habitualmente dan lugar a alteraciones, excepto los xerófilos y halófilos extremos.

2. Tienen aw entre 0,98 y 0,93 la leche concentrada por evaporación, el concentrado de tomate, los productos cárnicos y de pescado ligeramente salados, las carnes curadas enlatadas, los embutidos fermentados (no secos), los embutidos cocidos, los quesos de maduración corta, queso de pasta semidura, las frutas enlatadas en almíbar, el pan, las ciruelas con un alto contenido en agua. La concentración máxima de sal o sacarosa en la fase acuosa de estos alimentos está entre el 10% y

50%, respectivamente. Todos los microorganismos conocidos causantes de toxiinfecciones alimentarias pueden multiplicarse al menos a los valores más altos de aw comprendidos en este intervalo.

3. Tienen aw entre 0,93 y 0,85 los embutidos fermentados y madurados, el queso Cheddar salado, el jamón tipo serrano, la leche condensada azucarada. A este grupo de alimentos pertenecen aquellos con un contenido en sal superior al 17% y los que contienen concentraciones de sacarosa a saturación en la fase acuosa. Entre las bacterias conocidas, sólo una Staphylococcus aureus es capaz de producir intoxicación alimentaria a estos niveles de aw pero pueden crecer muchos mohos productores de micotoxinas.

4. Tienen aw entre 0,85 y 0,60 los alimentos de humedad intermedia, las frutas secas, la harina, los cereales, las confituras y mermeladas, las melazas, el pescado muy salado, los extractos de carne, algunos quesos muy madurados, las nueces. Las bacterias patógenas no crecen en este intervalo de aw. La alteración, cuando ocurre, se debe a microorganismos xerófilos, osmófilos o halófilos.

5. Tiene aw inferior a 0,60 los dulces, el chocolate, la miel, los fideos, las galletas, las papas fritas, las verduras secas, huevos y leche en polvo. Los microorganismos no se multiplican por debajo de una aw de 0,60 pero pueden permanecer vivos durante largos períodos de tiempo.

4.16.3 La actividad acuosa y la conservación de los alimentos

Muchos alimentos logran estabilidad, desde el punto de vista microbiológico, eliminando el agua que contienen (deshidratación) o mediante el agregado de solutos hasta alcanzar un valor bajo de aw (actividad de agua)

La sal y el azúcar son los solutos que habitualmente se añaden a los alimentos para reducir la aw. La preparación de jaleas, mermeladas y productos va acompañada de una extracción parcial del agua (concentración) mediante calentamiento.

<http://club.telepolis.com/ohcop/adobleve.html>

4.17 Ósmosis

La **ósmosis** es un fenómeno consistente en el paso del solvente de una disolución desde una zona de baja concentración de soluto a una de alta concentración separadas por una membrana semipermeable.

4.17.1 Ejemplos de ósmosis

Una célula está rodeada de una membrana semipermeable. Normalmente su interior tiene más concentración de moléculas grandes que el exterior, por eso el agua puede fluir desde el exterior al interior. Es el modo que tienen las células para beber (pinocitosis).

4.17.1.1 Ósmosis inversa

Lo descrito hasta ahora es lo que ocurre en situaciones normales, en las que los dos lados de la membrana están a la misma presión; si se aumenta la presión del lado de mayor concentración, puede lograrse que el agua pase desde el lado de alta concentración al de baja concentración. Se puede decir que se está haciendo lo contrario de la ósmosis, por eso se llama ósmosis inversa. Téngase en cuenta que en la ósmosis inversa a través de la membrana semipermeable sólo pasa agua. Es decir, el agua de la zona de alta concentración pasa a la de baja concentración.

4.17.1.2 Solución hipotónica

Una solución hipotónica es aquella que tiene menor concentración de soluto que otra solución. Cuando una célula se pone en una solución hipotónica, el agua difunde en la célula, haciendo que la célula se hinche y estallar posiblemente. En este medio la célula gana agua (turgencia).

4.17.1.3 Solución isotónica

El medio o solución isotónico es aquél en el cual la concentración de soluto esta en igual equilibrio fuera y dentro de una célula. Cuando una célula se pone en una solución isotónica, el agua difunde en y de la célula en la misma tarifa.

4.17.1.4 Solución hipertónica

Una solución hipertónica es aquella que tiene una mayor concentración de soluto con respecto a otra. Cuando una célula se pone en una solución hipertónica, el agua difunde de la célula, haciendo la célula marchitar.

Si una célula se encuentra en un medio hipertónico, sale agua de la célula hacia el exterior, con lo que esta se contrae y la célula puede llegar a morir por deshidratación.

<http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=osmosis&redirect=no>.

4.18 Deshidratación osmótica

La deshidratación osmótica ha sido aplicada principalmente para frutas y supone la eliminación del agua mediante osmosis tratando al alimento con soluciones de azúcar sucesivas y cada vez mas concentradas (Arthey, 1992).

4.18.1 Deshidratación osmótica: Alternativa para conservación de frutas

La reducción del contenido de agua de alimentos es uno de los métodos comúnmente empleados para su preservación.

La DO (Deshidratación Osmótica) consiste en sumergir los alimentos en soluciones hipertónicas con el objetivo de producir dos efectos principales: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica y flujo de solutos hacia el interior del alimento. En algunos casos se puede presentar la salida de solutos como son los ácidos orgánicos. Este fenómeno, aunque es poco importante por el bajo

flujo de sólidos perdidos, puede modificar sustancialmente algunas propiedades del fruto como son las organolépticas.

Se han identificado dos etapas en el proceso de Deshidratación Osmótica. En la primera, denominada des-hidratación, la pérdida de agua es mayor que la ganancia de sólidos y en una segunda etapa, llamada impregnación, se obtiene una ganancia de sólidos mayor a la pérdida de agua.

4.18.2 Deshidratación Osmótica: Tecnología alternativa

La Deshidratación Osmótica se presenta como una tecnología alternativa de conservación de frutos. Por ejemplo, en el fenómeno de impregnación en frutos la selección adecuada de solutos osmóticos y de su concentración permitirá controlar la actividad del agua en éste, así como el pH. Bajo estas condiciones, es posible llevar a cabo la adición de antimicrobianos que permitan aumentar el tiempo de vida del producto, especialmente de aquellos con alto contenido de humedad.

<http://www.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/sepoct02/DESHIDRATACION.PDF>

4.19 Conservación de frutas con azúcar

La conservación de frutas mediante la confección de compotas es un proceso bien conocido.

La fruta seca o precocida se hierve con una solución de azúcar de caña hasta que se ha evaporado agua suficiente para que dé una mezcla que, al enfriarse, se asentará en forma de un gel que contiene del 32 al 34% de agua.

Algunos productos que se han conservado con azúcar, incluyen frutas cristalizadas y glaseadas, que se obtienen por inmersión de la fruta en series de soluciones concentrada de azúcar, con lo que se extrae el agua presente en los tejidos de la fruta (Jamieson, 1975).

4.19.1 Frutas confitadas y glaseadas

El confitado de frutas involucra esencialmente su lenta impregnación con jarabe hasta que la concentración de azúcar en el tejido es lo suficientemente alta

para prevenir el crecimiento de microorganismos de descomposición. El proceso de confitado es conducido de tal manera que la fruta no se ablande y se vuelva meramente cajeta, o se torne dura o correosa. Tratando las frutas con jarabe con aumento progresivo de las concentraciones de azúcar, pueden obtener los resultados deseados. Después de la impregnación de la fruta con azúcar, la fruta es lavada y secada, la fruta confitada, puede ser empacada y enviada al mercado en esta condición o puede ser cubierta con un barnizado delgado de azúcar (Desrosier, 1987).

4.20 EVALUACIÓN SENSORIAL

La evaluación sensorial es el análisis de alimentos u otros materiales por medio de los sentidos. La palabra sensorial se deriva del latín *sensus* que quiere decir *sentido*. La evaluación sensorial es una técnica de medición y análisis tan importante como los métodos químicos, físicos, microbiológicos, etc. Este tipo de análisis tiene la ventaja de que la persona que efectúa las mediciones lleva consigo sus propios instrumentos de análisis, o sea: sus cinco sentidos, (vista, olfato, gusto, tacto, oído).

4.20.1 Aplicación de la evaluación sensorial

Las pruebas sensoriales son utilizadas en diversos tipos de industrias, tales como la industria alimentaria, la perfumera, la farmacéutica, la industria de pinturas y tintes, etc.

4.21 LOS SENTIDOS EN LA EVALUACIÓN SENSORIAL

Los sentidos son los medios con los que el ser humano percibe y detecta el mundo que lo rodea.

El ser humano tiene cinco sentidos: la vista, el oído, el olfato, el gusto y el tacto. Todos ellos tienen una gran importancia en la evaluación sensorial ya que son los encargados de que un alimento se acepte o se rechace.

4.21.1 La vista

El sentido de la vista reside en un órgano muy importante: el ojo. La vista, es un sentido físico, que permite juzgar el aspecto de un alimento en términos de su forma, textura y color. El aspecto de un alimento es la primera clave de su identificación y con frecuencia predice el grado de satisfacción o placer que se obtendrá al comerlo (Desrosier, 1983).

El color es el que más se toma en cuenta en el caso de la evaluación sensorial en la industria alimentaria, ya que esta propiedad puede hacer que un alimento sea aceptado o rechazado de inmediato por el consumidor, sin siquiera haberlo probado (Anzaldúa- Morales, 1994).

4.21.2 El olfato

Este sentido es muy importante ya que nos permite percibir el olor de los objetos que nos rodean.

El órgano mediante el cual funciona el sentido del olfato es la nariz, o más propiamente dicho, todo el sistema nasal, donde la nariz es la parte externa y visible.

Hay que diferenciar entre olor y aroma. El olor es la percepción de sustancias volátiles –fragantes o fétidas- por medio de la nariz. En cambio el aroma es la detección después de haberse puesto el alimento en la boca; o sea que el aire, en el caso del aroma, no es el medio de transmisión de la sustancia, sino la membrana mucosa del paladar.

Por lo tanto cabe mencionar que el olfato es de primordial importancia en la evaluación sensorial ya que es un sentido que permite que un alimento se acepte o se rechace (Desrosier, 1983).

4.21.3 El gusto

El gusto es un sentido químico que responde a la acción de los componentes químicos de los alimentos en los sitios receptores de las papilas gustativas que se localizan principalmente en la lengua.

El gusto reside en la lengua, la cual tiene varias protuberancias o gránulos llamados papilas gustativas.

Las papilas fungiformes (punta de la lengua) perciben el sabor dulce de los alimentos, mientras que los gustos salado y ácido los perciben las papilas filiformes (costados de la lengua) Las papilas caliciformes (parte posterior de la lengua) perciben el sabor amargo de las sustancias.

Para ser detectados, los productos químicos portadores del sabor deben disolverse en los fluidos de la boca. Generalmente se acentúan cuatro sabores principales: dulce, agrio, salado y amargo. Ejemplos; azúcar, vinagre, sal y cafeína (Anzaldúa-Morales, 1994).

4.21.4 El tacto

El sentido del tacto está localizado en las terminaciones nerviosas que están situadas justo debajo de la piel de todo el cuerpo. Puede decirse que el sentido del tacto está en casi todo el cuerpo, excepto en las uñas, el pelo, y la córnea del ojo.

En el caso de la evaluación sensorial de los alimentos, son especialmente importantes, las percepciones táctiles por medio de los dedos, la palma de la mano, la lengua, las encías, la parte interior de las mejillas, la garganta, y el paladar, ya que es donde se detectan los atributos de textura de los alimentos.

El tacto sirve para percibir una variedad de sensaciones tales como la temperatura de l medio y de los objetos, el peso de estos, las características de su superficie y, como ya se mencionó, la textura de los alimentos (Anzaldúa-Morales, 1994).

4.21.5 El oído

El oído, un sentido físico, tiene una función secundaria en la aceptación de los alimentos.

El oído es el sentido mediante el cual captamos los sonidos, que son el resultado de las vibraciones del aire originadas por las cuerdas vocales, los labios y la lengua de las personas al halar, o por objetos al caerse, romperse, rasgarse, etc. Estas vibraciones son transmitidas hacia las orejas, y luego amplificadas por el tímpano y los huesecillos del oído medio y conducido por los huesos, y esto sucede con los sonidos de masticación de los alimentos, los cuales suelen ser tomados en cuenta en la evaluación sensorial de la textura (Anzaldúa-Morales, 1994).

4.22 LOS JUECES

4.22.1 Tipos de jueces

El número de jueces necesarios para que una prueba sensorial sea válida depende del tipo de juez que vaya a ser empleado. Existen cuatro tipos de jueces: el juez experto, el juez entrenado, el juez semientrenado o de laboratorio, y el juez consumidor.

4.22.1.1 Juez experto: El juez experto es, como en el caso de los catadores de vino, té, café, quesos, y otros productos, una persona que tiene una gran experiencia en probar un determinado tipo de alimento, posee una gran sensibilidad para percibir las diferencias entre muestras y para distinguir y evaluar las características del alimento (Larmond, 1977).

Su habilidad, experiencia y criterio son tales que en las pruebas que efectúa solo es necesario contar con su respuesta. Por lo general los jueces expertos solo intervienen en la degustación de productos caros.

4.22.1.2 Juez entrenado: Un juez entrenado es una persona que posee una gran habilidad para la detección de algunas propiedades sensoriales o algún sabor o textura en particular.

Cuando se llevan a cabo pruebas sensoriales con este tipo de jueces, el número requerido de participantes debe ser al menos de 7, y como máximo 15 (Larmond, 1977). Los jueces entrenados se emplean principalmente para pruebas sensoriales descriptivas o para pruebas discriminativas complejas (comparaciones múltiples, pruebas de ordenamiento)

4.22.1.3 Juez semientrenado o de laboratorio: Se trata de personas que han recibido un entrenamiento teórico similar al de los jueces semientrenados, que realizan pruebas sensoriales con frecuencia y poseen suficiente habilidad, pero solamente participan en pruebas discriminativas sencillas las cuales no requieren de una definición muy precisa de términos o escalas (Larmond, 1977).

Las pruebas con jueces semientrenados o de laboratorio deben efectuarse con un mínimo de 10 jueces y un máximo de 20 o, cuando mucho, 25, con tres o cuatro repeticiones por cada juez para cada muestra (Larmond, 1977).

4.22.1.4 Juez consumidor: Se trata de personas que no tienen que ver con las pruebas, ni trabajan con alimentos como investigadores o fabricas procesadoras de alimentos, ni han efectuado evaluaciones sensoriales periódicas. Por lo general son personas tomadas al azar, ya sea en la calle, en una tienda, escuela, etc. Los jueces consumidores deben emplearse solamente para pruebas afectivas.

El número mínimo de jueces tipo consumidor para que una prueba sea válida es, 30 personas; autores como (Amerine y col, 1965; Larmond, 1977; Anzaldúa-Morales y col, 1983) dicen que es preferible contar con 40 jueces para cada muestra. Sin embargo, todos coinciden en que 30 es el número mínimo para que tenga validez estadística en los datos recolectados. (Anzaldúa- Morales, 1994).

4.23 PRUEBAS SENSORIALES

El análisis sensorial de los alimentos se lleva a cabo de acuerdo con diferentes pruebas, según sea la finalidad para la que se efectuó. Existen tres tipos de pruebas: las pruebas afectivas, las discriminativas y las descriptivas.

4.23.1 PRUEBAS AFECTIVAS

Las pruebas afectivas son aquellas en las cuales el juez expresa su reacción subjetiva ante el producto, indicando si le gusta o le disgusta, si lo acepta o lo rechaza, o si lo prefiere a otro (Larmond, 1977). Estas pruebas son las que presentan mayor variabilidad en los resultados y estos son mas difíciles de interpretar, ya que se trata de apreciaciones completamente personales (Anzaldúa-Morales, 1984 a)

Para las pruebas afectivas es necesario contar con un mínimo de 30 jueces no entrenados, estos deben ser consumidores habituales o potenciales y compradores del tipo de alimento en cuestión.

Las pruebas afectivas pueden clasificarse en tres tipos: pruebas de preferencia, pruebas de grado de satisfacción y pruebas de aceptación.

4.23.1.1 Prueba de medición del grado de satisfacción

Este tipo de prueba fue la utilizada en este trabajo ya que se debe evaluar más de dos muestras a la vez, o cuando se desea obtener mayor información acerca de un producto, puede recurrirse a las pruebas de medición del grado de satisfacción. Estos son intentos para manejar más objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de las jueces acerca de cuanto les gusta o les disgusta un alimento.

Para llevar acabo estas pruebas se utilizan las escalas hedónicas. La palabra «hedónico» proviene del griego hedond, que significa placer. Las escalas hedónicas son instrumentos de medición de las sensaciones placenteras o desagradables producidas por un alimento a quienes lo prueban.

Las escalas hedónicas pueden ser verbales o graficas, la elección del tipo de escala de pende de la edad de los jueces y del numero de jueces a evaluar (Anzaldúa-Morales y col., 1983).

4.23.1.2 Escalas hedónicas verbales: estas escalas son las que presentan a los jueces una descripción verbal de las sensaciones que les produce la muestra. Deben contener siempre un número non (impar) de puntos, y se debe incluir siempre el número central «ni me gusta ni me disgusta». A este punto se le asigna generalmente la calificación cero. A los puntos de la escala por encima de este valor se les otorgan valores numéricos positivos, indicando que las muestras son agradables; en cambio, a los puntos por debajo del valor de indiferencia se les asigna valores negativos, correspondiendo a calificaciones de disgusto. Esta forma de asignar el valor numérico tiene la ventaja de que facilita mucho los cálculos, y es posible reconocer al primer vistazo si una muestra es agradable o desagradable (Anzaldúa-Morales y col., 1983).

4.23.2 PRUEBAS DISCRIMINATIVAS

Las pruebas discriminativas son aquellas en las que no se requiere conocer la sensación subjetiva que produce un alimento a una persona, sino que se desea establecer si hay diferencia o no entre dos o más muestras y, en algunos casos, la magnitud o importancia de esa diferencia (Lardmond, 1977).

Estas pruebas son usadas en control de calidad para evaluar si las muestra de un lote están siendo producidas con una calidad uniforme, si son comparables o estándares, etc (Kramer y Twigg, 1972).

Para las pruebas discriminativas puede usarse jueces semientrenados cuando las pruebas son sencillas, tales como la de comparación apareada simple, la dúo-trío o la triangular (Anzaldúa-Morales y col., 1983).

4.23.3 PRUEBAS DESCRIPTIVAS

En las pruebas descriptivas se trata de definir las propiedades del alimento y medirlas de manera más objetiva posible. Aquí no son importantes las preferencias o variaciones de los jueces, y no es tan importante saber si las diferencias entre las

muestras son detectadas, sino cuál es la magnitud o intensidad de los atributos del alimento (Amerine y col., 1965).

Las pruebas descriptivas proporcionan mucha más información acerca del producto que las otras pruebas; sin embargo, son más difíciles de realizar, el entrenamiento de los jueces debe ser más intenso y monitorizado, y la interpretación de los resultados es ligeramente más laboriosa que en los otros tipos de pruebas (Anzaldúa-Morales, 1983).

4.23.3.1 Calificación por medio de escalas de intervalo

Una escala en la cual no se tiene sólo los puntos extremos, sino que contiene además uno o más puntos intermedios, es lo que se conoce como escala de intervalo. Con este tipo de escala se resuelve en parte el problema de la subjetividad de los jueces al asignar el atributo considerado en el alimento.

Las escalas de intervalo suelen constar de 3, 4, 5, o más puntos. Es necesario proporcionar o explicar al juez una descripción detallada de cada una de los puntos _ extremos e intermedios _ de la escala. En algunas propiedades esto es sencillo, sin embargo, en algunas otras resulta muy complicado encontrar definiciones adecuadas (Bourne, 1982a; Anzaldúa-Morales y col., 1983)

La ventaja de este tipo de escala es que los puntos intermedios están anclados y no dejados completamente al criterio de los jueces, su principal desventaja es la dificultad para lograr dar una descripción adecuada de los puntos intermedios.

CAPÍTULO 5



MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Localización del área experimental.

El presente trabajo se realizó en el departamento de Nutrición y Alimentos, de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro” ubicada en Buena vista, Saltillo, Coahuila, México. Contando también con el apoyo del departamento de Horticultura (laboratorio de postcosecha), y el departamento de Fitomejoramiento (laboratorio de citogenética).

5.2 Materia prima

- Nopal (*Opuntia spp*) que se adquirió en la central de abastos de la ciudad de saltillo, Coahuila, provenientes de la ciudad de México.
- Hidróxido de calcio, $\text{Ca}(\text{OH})_2$, se adquirió en ferretera de la ciudad.
- Azúcar que se adquirió en auto mercado
- Azúcar Glass que se adquirió en auto mercado
- Agua purificada
- Ácido cítrico

5.3 Materiales, equipos y reactivos

5.3.1 Materiales

Cuadro No. 11 Materiales utilizados en el laboratorio

Alambre	Espátula	Papel filtro #40
Aguja de disección	Gradilla	Pinzas
Agitador	Guantes	Perlas de vidrio
Bureta	Matraz erlenmeyer	Pipetas
Cuchillo	Matraz bola	Tela de lino
Cubre y porta objetos	Matraz volumétrico	Tijeras
Crisol de porcelana	Matraz kjeldhal	Tubos
Cajas coplin	Mortero	Vaso Berselius
Embudo de plástico	Pinzas de madera	Vaso de precipitado

5.3.2 Equipos

Cuadro No. 12 Equipos utilizados en el laboratorio

EQUIPOS	MARCAS
Aparato de reflujo	Labconco
Aparato soxleht	
Aparato kjeldhal	Labconco
Balanza granataria	Explorer OHAUS, Modelo 27
Balanza analíticas	A&D
Colorímetro	Minolta, modelo CR-300
Digestor	Labconco
Estufa	Telco, modelo 27
Espectrofotómetro	Helios a 480nm
Licuadaora	Osterizer. Modelo ADO- M
Micrótopo manual "820"	Spenser American Optical
Microscopio compuesto	Carl zeiss de fotografía
Mufla	Lindbberg, modelo furnace 1500
Penetró metro manual	EFFEGI, modelo: FT011
Parrilla de calentamiento y agitación	Thermoline nuova II Stir Plate

5.3.3 Reactivos

Cuadro No. 13 Reactivos utilizados el laboratorio

Ácido Sulfúrico Concentrado	Agua común	Permanganato de potasio
Ácido Bórico	Carbonato de Sodio	Resina
Ácido Nítrico Concentrado	Carbol-xilol	Solución detergente neutro
Ácido Clorhídrico	Granallas de zinc	Solución hexano, éter
Alcohol Etilico diferentes concentraciones	Hidróxido de Sodio	Xilol
Alcohol Etilico	Indicador Mixto	Verde Rápido (Fast Green)
Alcohol Butílico Terciario	Mezcla Reactiva de Selenio	
Agua Destilada	Oxalato de Amonio	

5.4 METODOLOGÍA EXPERIMENTAL

5.4.1 Selección de la materia prima

Para la selección de la materia prima se hizo un muestreo en la central de abastos de la ciudad de saltillo, Coahuila. Con la finalidad de obtener nopales (cladodios) de buena calidad, que estén exentos de materia extraña, que no tenga daños físicos, y sobre todo que tengan las mismas dimensiones como: grosor, largo, ancho y la misma edad.

5.4.2 Determinación de humedad.

Se colocan crisoles en la estufa a 100 -103°C, hasta peso constante, posteriormente se le agregan 2 g de muestra y se colocan en la estufa por 24 horas, transcurrido el tiempo se sacan de la estufa, se enfrían en un desecador por 15 minutos, y se pesan. (AOAC, 1980)

$$\% \text{Materia seca total} = \frac{\text{Peso crisol con muestra seca} - \text{Peso crisol solo}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

5.4.3 Determinación de proteína cruda (Método kjeldhal)

Consiste en colocar 1 g de muestra en un matraz kjeldhal, se adiciona la mezcla de selenio (catalizador), de 6 a 7 perlas de vidrio, 30 ml de ácido sulfúrico concentrado. Se coloca el matraz en el digestor Kajeldhal en la parrilla de calentamiento hasta color verde o azul cristalino. Se deja enfriar el matraz para continuar con la destilación. Después en un matraz Erlenmeyer de 500 ml agregar 50 ml de ácido bórico al 4 %, de 5 a 6 gotas de indicador mixto y se coloca la manguera del destilador dentro del matraz. Se agita el matraz con cuidado, se adiciona con cuidado 110 ml de hidróxido de sodio al 45 % y de 5 a 6 granallas de zinc, se conecta al aparato de destilación kjeldhal y se recibe de 250 a 300 ml de la solución en el matraz Erlenmeyer. La titulación se realiza con ácido sulfúrico 0.1N hasta que cambie a color rosa pálido. (AOAC, 1980).

$$\% \text{Proteína} = \frac{\text{ml gastados de H}_2\text{SO}_4 - \text{Blanco } 0.3 \text{ (N. Ácido)}(0.014)}{\text{g de muestra}} \times 100 \times 6.25$$

5.4.4 Determinación de grasa (Método Soxhlet)

Consiste en la extracción de compuestos no polares por medio de calor.

Se coloca en la estufa los matraces bola de fondo plano con tres perlas de vidrio durante 12 h, transcurrido el tiempo se sacan de la estufa y se colocan en un desecador de 10 a 15 minutos hasta peso constante. Se pesan 4 g de muestra y se colocan dentro de un dedal. A los matraces bola se le agrega 200 ml de hexano, se coloca el sifón soxhlet y el dedal en la parrilla durante 16 horas, transcurrido el tiempo se retira el dedal con pinzas y se recupera el solvente excedente. Se colocan los matraces en la estufa durante 12 h, se sacan los matraces, se enfrían en un desecador durante 15 minutos y se pesan (AOAC, 1980).

$$\% \text{Extracto etéreo} = \frac{\text{peso matraz con grasa} - \text{peso matraz solo}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

5.4.5 Determinación de cenizas

Se coloca los crisoles en la mufla a 600°C hasta que la muestra este de color blanco (2 a 3 h) se sacan los crisoles y se enfrían en un desecador durante 10 a 15 minutos hasta peso constante, posteriormente pesar y registrar el peso (AOAC,1980).

$$\% \text{ de Cenizas} = \frac{\text{peso del crisol con cenizas} - \text{peso del crisol solo}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

5.4.6 Determinación de Fibra cruda

Se pesan 2 g de muestra desengrasada, se coloca en un vaso de Berzelius, se agregan 100 ml de ácido sulfúrico, pasarlo a una parrilla del aparato se reflujo y cuando la muestra comience a hervir tomar tiempo hasta 30 minutos. Filtrar la muestra sobre tela de lino con agua caliente hasta quitar la reacción ácida. Pasar la muestra a un vaso Berzelius y agregar 100 ml de hidróxido de sodio al 25% y cuando empiece a hervir dejar por 30 minutos, retirar la muestra y filtrar con agua caliente para quitar la reacción ácida, después colocar la muestra en un crisol y pasarlo a la estufa durante 12 horas, posteriormente se pone a enfriar el crisol en el desecador y se pesa. Preincinerar, y meter a la mufla por un tiempo de 3 horas a 600°C, sacar, enfriar en un desecador y pesar (AOAC, 1980).

$$\% \text{Fibra cruda} = \frac{\text{peso del crisol con muestra seca} - \text{peso del crisol con ceniza}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

5.4.7 Determinación de azúcares totales (Método de Dubois)

Se coloca en un tubo 1 ml de muestra, en un baño con hielo. Se temporizó por 1 minuto. Se adiciona 2 ml de fenol sulfúrico (contiene H₂SO₄ concentrado y fenol) por la paredes del tubo para no quemar la muestra, se colocan los tubos en un baño a ebullición durante 5 minutos. Se enfría a temperatura ambiente y se lee la

absorbancia en un espectrofotómetro a 480 nm. Se usa una curva de calibración de sacarosa.

“Colorimetric Method for determination of sugars and related substances” Anal. Chem: 28:530

5.4.8 Determinación de agua por destilación azeotrópica (Método Bid-Well-Sterling)

Se peso 10gr de muestra y se transfirió a un matras de destilación, se agrego tolueno para cubrir completamente la muestra; luego acoplarlo al resto del dispositivo y llevarlo a ebullición. Se calienta durante el tiempo necesario para que en el tubo de medida ya no se separe ninguna gota de agua o hasta que la posición del menisco no se modifique (unas 0.5-1h).

El volumen de agua atrapada se lee en el tubo de medida con una precisión de $\pm 0,1$ ml. (Reinhard, et al., 1992).

5.4.9 Determinación de Energía bruta

Primero se efectúa la calibración de la bomba, utilizando una pastilla de ácido benzoico.

Se coloca la pastilla de ácido benzoico en una cápsula metálica y colocarla en la estufa durante 12 horas, transcurrido el tiempo sacar la cápsula, enfriarla en un desecador y pesar. Medir 10 cm de alambre, colocar la cápsula en el soporte de la bomba, se coloca la muestra (1 g), se amarra el alambre a los dispositivos del soporte de la bomba. Se cierra la bomba, y la válvula de oxígeno. Con cuidado aplicar una presión de 25-30 atmósferas de oxígeno, purgar el tanque de oxígeno. Pesar 2000 ml de agua destilada y colocarla en la cubeta del calorímetro, con las pinzas colocar la bomba dentro de la cubeta, se colocan los electrodos y se cierra el calorímetro. Luego colocar la banda y encender el motor del agitador para estabilizar la temperatura. Contar 5 -10 minutos y tomar la temperatura inicial, prender el botón de ignición y tomar la temperatura final hasta que la temperatura deje de incrementarse, se apaga el motor del agitador, se retira la tapa del calorímetro, se quitan los electrodos, con las pinzas sacar la bomba y abrir la válvula de gas. Se

mide el sobrante de alambre, enjuagar la bomba y la cápsula con agua destilada y vaciar el contenido en un matraz Erlenmeyer, agregar 1-2 gotas de indicador y por ultimo titular con la solución de Carbonato de Sodio (Tejada, 1985).

$$\text{Cal / g} = \frac{(\Delta T \text{ } ^\circ\text{C})(E.H.B) - (\text{cm de a.f.})(2.3 \text{ cal/cm})\text{ml de Na}_2\text{CO}_3}{\text{Peso de la muestra}}$$

5.4.10 Determinación instrumental de color del nopal y producto terminado (Dulces Cristalizados)

La determinación de color se realizo con el colorímetro Minolta CR-300, que es un analizador de color de tres estímulos para medir el color reflejado por una superficie determinada.



Fig No. 7 Colorímetro Minolta CR-300

Una pulsación de una lámpara de arco eléctrico de xenón al encenderse en una cámara mezcladora ilumina la superficie de las muestras. Seis foto celdas de silicón altamente sensitivas , son usadas por el colorímetro en un sistema de retroalimentación de doble emisión de luz, para medir la incidencia y la refractancia de la luz , el colorímetro detecta cualquier desviación de la luz emitida por la pulsación de la lámpara de arco eléctrico de xenón y la compensa automáticamente.

5.4.11 Determinación instrumental de textura

La determinación de textura se realizó con un penetrometro en soporte para prueba manual **figura No. 8**, primeramente se retira la cutícula de cada fruto en dos puntos opuestos del ecuador, se coloca el fruto sobre la base del soporte, se toma firmemente el fruto y se introduce el penetrometro de un solo impulso hasta la marca encada uno de los puntos y finalmente se promedian ambas lecturas y se reporta el resultado en Kilogramos.



Figura No. 8 Punción del nopal

5.4.12 DETERMINACIÓN DE MICROGRÁFIAS

5.4.12.1 Fijación de muestras

Las muestras (cortes de nopal) se colocaron en frascos pequeños que contenían el fijador FAA (ácido acético glacial 5cm³, alcohol al 70%, 90cm³, formaldehído 36.40%, 5cm³). Para colocar las muestras en el fijador se hicieron cortes del nopal de aproximadamente 10 mm². Se clasificaron por tratamiento y se conservaron a temperatura ambiente hasta el inicio del trabajo de laboratorio.

El efecto del fijador es conservar los tejidos con un mínimo de alteraciones.

5.4.12.2 Deshidratación de muestras

La deshidratación consiste en quitar el agua de los tejidos fijados y endurecidos. La deshidratación tiene alguna acción de lavado y hace el material

firme y posiblemente duro y quebradizo. La deshidratación se realizó por un solvente de parafina **cuadro No.14**.

**Cuadro No. 14 Deshidratación por un solvente de parafina
(Método Alcohol Butílico Terciario (ABT)).**

GRADO NUMERO	ALCOHOL ETÍLICO 95% cc.	ALCOHOL ETÍLICO ABSOLUTO cc.	ABT cc.	AGUA cc.
1	50	--	10	40
2	50	--	20	30
3	50	--	35	15
4	50	--	50	--
5	--	25	75	--

Tomado de Sass (1958); Hernández, S.M. 1984.

5.4.12.3 Infiltración de muestras

Los cortes se colocaron en frascos con xilol puro, se agregó parafina y se metieron en la estufa a 35°C por 24 horas, después de este tiempo se les agregó más parafina y se elevó la temperatura de la estufa a 45°C por 24 horas. Después se hizo el cambio a parafina pura, luego la temperatura se elevó a 55°C por 24 horas; en el último paso de la infiltración se elevó la temperatura a 60°C por 24 horas (Zamora, 2004).

5.4.12.4 Inclusión de muestras

Se utilizaron moldes de aluminio de 11 x 9 cm para incluir la muestra. Primero se pone una capa de parafina en el molde, para que la muestra quede fija, luego se utiliza más parafina hasta cubrir completamente la muestra; en seguida se coloca la etiqueta especificando el tratamiento y se deja a temperatura ambiente hasta que se solidifique completamente.

5.4.12.5 Seccionamiento o cortes (Micrótopo Rotatorio)

Se prepara la muestra con el tejido, de manera que quede a la vista el tejido y mantenerlo en una platina caliente con pedazos de parafina.

La platina se incrusta en el micrótopo de mano y con un tornillo se cierra, luego se acomoda la platina cerca de la cuchilla la cual se manipula con un candado para abrir o cerrar el carro móvil donde se sienta la cuchilla, se regula el micrótopo a 15 μ (micras) y se da cuerda hacia el lado derecho con la manivela para cortar las muestras con la cuchilla a 15 μ .

5.4.12.6 Fijación de los cortes en los porta objetos

En una caja coplin con alcohol al 96% se ponen los porta objetos limpios para quitar la grasa de los mismos.

Sobre un porta objeto limpio se unto un pegamento de Haupt (1g de gelatina, 15cm³ de glicerina, 2g de metabisulfito de sodio por cada 100cm de agua destilada) y unas gotas de formaldehído al 4% y se coloco el tejido en 3 secciones y se le da calor suavemente hasta que se extienda la parafina y el tejido, esto se realiza con mucho cuidado para evitar que la parafina se derrita y el tejido se deshiciera. Se deja secar la muestra durante 5 días para que las muestras queden bien fijas.

5.4.12.7 Coloración de cortes del tejido

Se prepara una serie de reactivos en frascos coplin con capacidad para 8 porta objetos cada uno. Se colocan las preparaciones de manera que el tejido quede hacia la derecha, esto para identificar la muestra ya que al meterlo al alcohol y al estar todos orientados al mismo lado, al momento de tomar las muestras con las pinzas no se maltraten los tejidos de la preparación siguiente. Se utilizo la doble coloración safranina- fast green **cuadro No.15**.

Cuadro No.15 Doble coloración Safranina – Fast green

Safranina- Fast Green	
1. Xilol I, II, III (Desparafinar)	2-5 minutos c/u
2. Alcohol Etílico Absoluto	2-5 minutos
3. Alcohol Etílico de 96%	2-5 minutos
4. Alcohol Etílico de 85%	2-5 minutos
5. Alcohol Etílico de 70%	2-5 minutos
6. Alcohol Etílico de 50%	2-5 minutos
7. Agua Destilada	1-2 minutos
8. Safranina Acuosa al 1.0%	1-12 horas
9. Agua Destilada	Enjuague
10. Alcohol Etílico de 30%	Enjuague
11. Alcohol Etílico de 50%	Enjuague
12. Alcohol Etílico de 70%	Enjuague
13. Alcohol Etílico de 85%	Enjuague
14. Alcohol Etílico de 96%	Enjuague
15. Verde Rápido en Alcohol Etílico de 96%	5-30 segundos
16. Alcohol Etílico Absoluto I	Enjuague
17. Alcohol Etílico Absoluto II	Enjuague
18. Alcohol Etílico Absoluto III	Enjuague
19. Carbol – Xilol	Mínimo 10 minutos (Diferenciador)
20. Xilol I, II, III	10 minutos mínimo c/u
21. Resina y Cubreobjetos	

5.4.12.8 Selección de muestras para fotografía

Las preparaciones montadas y secas, se observan en el microscopio para seleccionar los mejores campos que van a fotografiar. Para esto se observo que los tejidos estuvieran completos, que no estuvieran doblados, que no presentaran

muchos daños donde se pudieran observar bien los tejidos y que las muestras no estuvieran muy coloreadas.

5.4.12.9 Microfotografías

A los tejidos seleccionados se les tomo micrografías con objetivo de 10x , por último se realizaron las comparaciones de las fotografías tomadas.

5.5 ANÁLISIS SENSORIAL

Para las determinaciones sensoriales se contó con un equipo de 60 jueces no entrenados, de la Universidad Autónoma Agraria “Antonio Narro”, donde participaron hombres y mujeres de diferentes edades (18-32 años) para la realización de este estudio.

Para la realización de este estudio se utilizaron dos tipos de escalas:

- 1.- ESCALA DE INTERVALO PARA CALIFICACIONES**
- 2.- ESCALA HEDÓNICA VERBAL.**

Para la evaluación de los parámetros de calidad de textura (dureza) y sabor se utilizo la escala de intervalo para calificaciones, en la cual se le pidió a el juez que degustara la muestra que se le presento e indicara con una " X" la dureza y la intensidad del sabor dulce que percibe del producto VER ANEXO I.

Para la evaluación de los parámetros de calidad de color y forma (del producto) se utilizo la escala hedónica verbal, aquí se le pidió al juez que degustara la muestra que se le presento e indique con una "X" de acuerdo a la escala, su opinión respecto a el color y la forma del producto.



Figura No. 9 Evaluación sensorial de dulces cristalizados de nopal

5.6 RESULTADOS DE LOS ANÁLISIS DEL PRODUCTO TERMINADO

5.6.1 Formulación del producto (Dulces de nopal cristalizado)

Para la formulación del producto terminado se utilizó la concentración de 1% de hidróxido de calcio, un tiempo de 4 horas y concentraciones de azúcar al 20, 50 y 80%.

Primeramente para la realización del producto se disolvió perfectamente el hidróxido de calcio en 1 litro de agua, se introdujeron los nopales en la solución durante un periodo de 4 horas, transcurrido el tiempo se sacaron, se lavaron para quitar el exceso de cal, y finalmente se escaldaron durante 15 minutos.

5.6.2 Etapas del proceso de elaboración del producto

Primera etapa:

- Pesar el nopal = 491.3g.
- Escaldar los nopales durante 15 minutos a partir de que el agua empiece a hervir.
- Poner a hervir el jarabe (Azúcar 20%, Ácido cítrico 1g, Agua 1litro).
- Introducir los nopales en el jarabe durante 5 minutos.
- Dejar reposar los nopales en el jarabe durante 24 horas para que el jarabe penetre en los nopales.

Segunda etapa:

- Sacar los nopales del jarabe
- Preparar el jarabe (Azúcar 50%, Ácido cítrico 1g, Agua 1litro)
- Poner a hervir el jarabe
- Introducir los nopales en el jarabe durante 5 minutos
- Dejar reposar los nopales durante 24 horas en el jarabe para que penetre en los nopales

Tercera etapa:

- Sacar los nopales del jarabe
- Preparar el jarabe (Azúcar 80%, Ácido cítrico 1g, Agua 1litro)
- Poner a hervir el jarabe
- Introducir los nopales en el jarabe durante 5 minutos
- Dejar reposar los nopales durante 24 horas en el jarabe para que penetre en los nopales

Cuarta etapa:

- Sacar los nopales del jarabe
- Escurrir los nopales
- Hervir 1 litro de agua
- Introducir los nopales de 2 a 3 segundos y sacarlos
- Escurrir.
- Espolvorear los nopales con azúcar glass.
- Empacar.

5.7 Diseño experimental

El diseño experimental es la secuencia completa de pasos tomados de antemano para asegurar que los datos apropiados se obtendrán de modo que permitan un análisis objetivo que conduzca a deducciones válidas con respecto al problema establecido. Tal definición implica, que la persona que formule el diseño entienda claramente los objetivos de la investigación propuesta (Rodríguez, 1991)

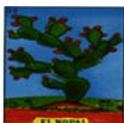
Se utilizó un diseño experimental completamente al azar con una prueba de medias de Fisher ($\alpha = 0.05$) para las variables de 1%, 2%, 3% de hidróxido de calcio y 4, 8, 12, 16 y 24 horas de inmersión del nopal en el hidróxido de calcio.

5.7.1 Diseño completamente al azar

Este tipo de diseño es el más simple de todos; en él se asignan al azar los tratamientos a un grupo de unidades experimentales previamente determinadas. Así mismo, todas las variables, excepto las que están en estudio, se mantienen constantes. Sin embargo, R.A. Fisher señala claramente que este tipo de diseño es inadecuado para muchos problemas de investigación, en virtud de que las leyes naturales – biológicas- de hecho son controladas e influidas por diferentes causas (variables).

En general, este diseño no es el más adecuado para la experimentación de campo con plantas o animales mayores, pero es el más funcional para la evaluación de ciertos tipos de tratamientos en laboratorio e invernadero, o cuando dichos

tratamientos son aplicados a unidades experimentales homogéneas (Rodríguez, 1991).



RESULTADOS Y DISCUSIONES

El presente capítulo muestra y analiza los resultados obtenidos durante las etapas de investigación sobre el efecto de la concentración del Hidróxido de calcio, sobre diferentes parámetros de calidad de dulce de nopal cristalizado.

6.1 Resultados de caracterización química del nopal (*Opuntia ssp*) en base seca.

Los resultados de la caracterización química de la materia prima se obtuvieron a través de un análisis bromatológico.

Se presentan a continuación los datos experimentales obtenidos en el cuadro No.16, donde podemos observar que estos se encuentran dentro de valores medios reportados en la literatura por diferentes autores cuadro No.3. (Hernández, E., 2003, Villarreal, P., 2005 y los datos reportados por la UANL Facultad de Ciencias Biológicas, 2002). Las diferencias se presentan en cuanto a la concentración en porcentaje de proteína y fibra cruda principalmente, esta discrepancia se puede presentar por diferencias en la materia prima, en cuanto a las condiciones de cultivo, temporada de cosecha, condiciones de almacenamiento, así como la edad de los cladodios, esto se refleja sobre todo en cuanto al contenido de fibra, los cladodios tiernos contienen un menor porcentaje de fibra cruda, como lo podemos apreciar para nuestras muestras. El menor contenido de fibra en nuestro material es una ventaja debido al intercambio de agua por soluto se presenta con mayor facilidad teóricamente, además de que la turgencia no se ve afectada por la cantidad de fibra en la materia prima.

Cuadro No. 16 Caracterización bromatológica del nopal base seca

Muestra	H%	M.S.T%	P%	G%	C%	F.C%	Az. g/g
Nopal	4.97	95.03	11.44	4.20	15.09	6.75	0.0013

H = Humedad, M.S.T = Materia Seca Total, P = Proteína, G = Grasa, C = Cenizas,

F.C = Fibra Cruda, Az.T = Azucares Totales

6.2 Determinación de la evaluación instrumental de color y textura de la materia prima

6.2.1 Evaluación instrumental de color

Para realizar la evaluación sensorial instrumental de color se utilizaron 170 piezas de nopal, las cuales fueron tratadas a diferentes condiciones (Nopal natural, nopal escaldado 15 minutos, concentraciones de hidróxido de calcio (1, 2, y 3%) y tiempos de inmersión (4, 8, 12, 16, 24 horas). La medición de color se realizó en dos puntos del cladodio en la parte superior (arriba) e inferior (abajo) las cuales son **L** (luminosidad), **a (-)** y **b** (coordenadas de cromaticidad). Los resultados que se muestran son los valores promedio de 10 mediciones de cada tratamiento cuadro No.17.

Para la interpretación de los resultados se usa el diagrama de cromaticidad en un solo plano para la intersección de las coordenadas para los valores de color **a*** **b***, figura No.10 que representa:

L: indica luminosidad

a y b: coordenadas de cromaticidad

a (+): indica color rojo b(+): indica color amarillo

a (-): indica color verde b (-): indica color azul

*A mayor valor numérico mayor coloración o luminosidad (brillo)

*A menor valor numérico menor intensidad de color o luminosidad (opaco) para cada caso.

Los resultados de color con respecto a la concentración de Hidróxido de calcio y tiempo de inmersión se muestran en la figura No.10, los resultados estadísticos no muestran diferencias significativas entre los tratamientos, pero si con respecto al control el cual presentó un mayor color y luminosidad.

Cuadro No.17 Resultados de color del nopal con diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y tiempo.

Tratamientos/ Concentraciones	L	-a	B
Testigo 0% Cal	42.22	-14.41	20.695
Testigo 0% Cal, escaldado 15 minutos	41.37	-2.543	16.078
1% Cal 4hrs	39.806	-2.149	14.617
2% Cal 4hrs	40.566	-3.846	16.505
3% Cal 4hrs	39.615	-3.889	15.789
1% Cal 8hrs	38.753	-2.123	13.362
2% Cal 8hrs	38.38	-1.768	14.177
3% Cal 8hrs	37.994	-1.779	13.656
1% Cal 12hrs	41.687	-3.764	16.037
2% Cal 12hrs	39.252	-2.514	14.393
3% Cal 12hrs	39.488	-2.216	13.981
1% Cal 16hrs	38.868	-2.098	13.86
2% Cal 16hrs	38.777	-2.186	14.317
2% Cal 16hrs	38.973	-2.053	13.539
1% Cal 24hrs	40.08	-2.528	15.408
2% Cal 24hrs	39.876	-2.664	15.329
3% Cal 24hrs	41.263	-3.376	15.41

NOTA: Los valores en el cuadro representan la media de dos repeticiones

En el cuadro se muestran los valores de **L**, **a** y **b** la mayor diferencia respecto a la cromaticidad es en **a**, sin embargo, el incremento de color verde oscuro se debe principalmente al tratamiento de escaldado y no a la inmersión en las soluciones de Ca(OH)_2 , ya que presentan todos los tratamientos valores similares a los del testigo escaldado por 15 minutos, en cuanto a la coordenada de cromaticidad **b** se aprecia una ligera disminución con respecto al testigo sin tratamiento, en cuanto a la **Luminosidad** no se aprecia ninguna diferencia importante, se mantiene con cierta constancia.

En la figura No.10 se representan algunos valores del cuadro No.17 como son los valores para: Testigo sin tratamiento*, Testigo escaldado+, 1% 4 horas^o, 2% 8 horas^H, se observa que los valores recaen en un mismo plano donde el nopal ya en pieza a tener el mismo color, a diferencia del nopal testigo que cae en un plano muy diferente.

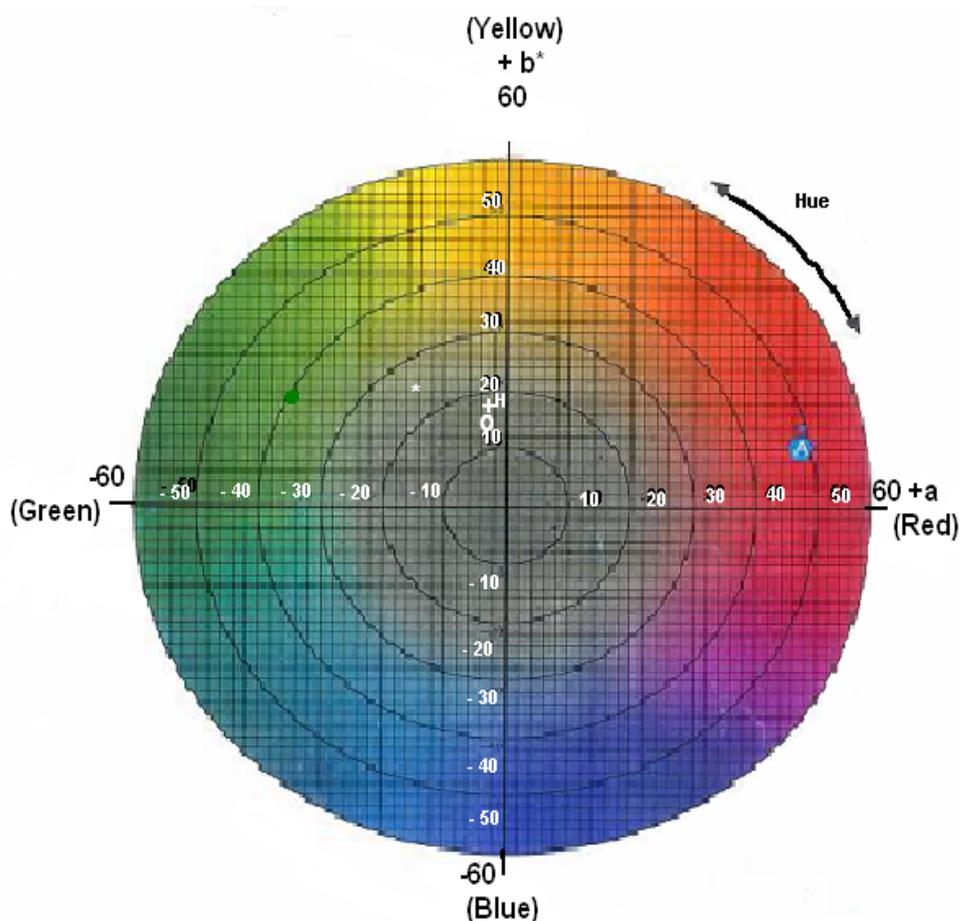


Figura No. 10 Diagrama de cromaticidad de a, b.

* = testigo sin tratamiento, + = testigo escaldado, O = 1% 4 Horas, H = 2% 8 Horas

6.2.2 Cuadros de los resultados estadísticos para el parámetro de color con las diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y tiempo

Para la variable **Luminosidad**, el análisis de varianza indicó diferencias significativas para los niveles del factor tiempo.

El cuadro No.18 presenta los promedios de luminosidad obtenidos para cada tiempo, no se presentaron diferencias entre el máximo tiempo del tratamiento de 24 horas y valores menores, por lo que se concluye que la intensidad del color no se ve afectada por el tiempo del tratamiento.

Cuadro No.18 Resultados promedio de Luminosidad contra el tiempo.

Tiempo	Promedio
4 horas	39.996ab
8 hora	38.376b
12 horas	40.142ab
16 horas	38.873b
24 horas	40.406a

Para la variable de **Cromaticidad a**, el análisis de varianza no indicó diferencias significativas en cuanto al tiempo.

En el cuadro No.19 presenta los promedios de cromaticidad **a** obtenidos para cada tiempo, en el cual nos muestra que la cromaticidad obtenida en cuanto a color es similar, en todos los tratamientos.

Cuadro No.19 Resultados promedio coordenada de Cromaticidad a (-) contra el tiempo

Tiempo	Promedio
4 horas	-3.295 ^a
8 horas	-1.890b
12 horas	-2.831ab
16 horas	-2.112b
24 horas	-2.856ab

Para la variable de **Cromaticidad b**, el análisis de varianza indicó diferencias significativas en cuanto al tiempo. En el cuadro No. 20 Presenta los promedios de cromaticidad **b** obtenidos para cada tiempo. De tal forma los valores de cromaticidad presentaron un mayor valor numérico, lo que nos indica que existe una tendencia hacia la coloración amarilla.

Cuadro No. 20 Resultados promedio coordenadas de Cromaticidad b contra el tiempo

Tiempo	Promedio
4 horas	15.637 ^a
8 horas	13.732 ^b
12 horas	14.804 ^{ab}
16 horas	13.905 ^b
24 horas	15.382 ^a

Para la variable de **Luminosidad contra concentración de hidróxido de calcio**, el análisis de varianza no presentó diferencias significativas en cuanto a la concentración. En el cuadro No. 21 Se presentan los promedios de luminosidad. Por lo que se concluye que la concentración de hidróxido de calcio no influye en la coloración de las muestras.

Cuadro No. 21 Resultados promedios de Luminosidad contra % de hidróxido de calcio

Concentración	Promedios
0 %	22.795 ^b
1 %	39.839 ^a
2 %	39.370 ^a
3 %	39.467 ^a

Para la variable de **Cromaticidad a (-) contra % de hidróxido de calcio**, cuadro No. 22 el análisis de varianza no presentó diferencias significativas, presentándose en la concentración 0 % una tendencia mayor hacia el color verde, no observándose en las otras concentraciones.

Cuadro No. 22 Resultados promedio de coordenada de Cromaticidad a (-) contra % de hidróxido de calcio

Concentración	Promedios
0 %	-8.477 ^a
1 %	-2.532 ^b
2 %	-2.596 ^b
3 %	-2.663 ^b

Para la variable de **Cromaticidad b** contra el **% de hidróxido de calcio**, el análisis de varianza indicó diferencias significativas.

En el cuadro No. 23 se presenta los promedios para la cromaticidad **b** observándose que en la concentración 0% presenta mayor valor numérico y esto indica una mayor tendencia hacia el color amarillo a diferencia de las otras concentraciones que tienen menor valor y menor coloración ANEXO II.

Cuadro No. 23 Resultados promedio coordenada de Cromaticidad b contra % de hidróxido de calcio

Concentración	Promedios
0 %	18.387 ^a
1 %	14.657 ^b
2 %	14.944 ^b
3 %	14.475 ^b

6.2.3 Evaluación instrumental de textura

Para realizar la evaluación instrumental de textura se utilizaron 170 piezas de nopal, las cuales fueron tratadas con diferentes tratamientos (Nopal natural, nopal escaldado 15 minutos, concentraciones de hidróxido de calcio (1, 2, y 3%) y de tiempo (4, 8, 12, 16, 24 horas) para hacer esta evaluación se utilizo un penetrometro manual marca EFFEGI con puntilla de 8 mm, para esto se hicieron punciones por los dos lados del nopal, en las partes **centro** (C), **frontal** (F) e **inferior** (I). Los resultados se muestran en el cuadro No. 24

Cuadro No.24 Resultados de fuerza punción (Kg) con los diferentes tratamientos de hidróxido de calcio y tiempo de inmersión para la parte centro, frontal e inferior.

Tratamientos/ Concentraciones	C Kg	F Kg	I Kg
Testigo 0% Cal	3.759	4.289	3.248
Testigo 0% Cal, escaldado 15 minutos	2.339	2.62	2.099
1% Cal 4hrs	2.063	2.557	1.911
2% Cal 4hrs	2.545	2.949	2.553
3% Cal 4hrs	2.01	2.573	2.117
1% Cal 8hrs	1.905	2.167	2.400
2% Cal 8hrs	2.037	2.357	2.096
3% Cal 8hrs	2.024	2.332	1.958
1% Cal 12hrs	2.072	2.203	2.147
2% Cal 12hrs	2.028	2.305	1.973
3% Cal 12hrs	2.211	2.402	2.106
1% Cal 16hrs	1.929	2.385	2.063
2% Cal 16hrs	2.063	2.36	1.92
3% Cal 16hrs	2.102	2.218	1.968
1% Cal 24hrs	2.200	2.364	2.154
2% Cal 24hrs	2.043	2.204	1.805
3% Cal 24hrs	2.339	2.419	1.859

NOTA: Los valores en el cuadro representan el promedio de dos repeticiones

FPC = Fuerza de punción centro

FPF = Fuerza de punción frontal

FPI = Fuerza de punción inferior

En el cuadro se muestran los resultados de **(FPC)** Fuerza de punción centro, **(FPF)** Fuerza de punción frontal y **(FPI)** Fuerza de punción inferior para el nopal.

Con los resultados obtenidos se puede apreciar que el nopal testigo región centro requiere de mayor fuerza para vencer la resistencia a la punción, con un valor de (3.759 Kg) y para el nopal escaldado 15 minutos requiere de menor fuerza para vencer la resistencia a la punción con un valor de (2.339 Kg).

Lo mismo sucede para la región frontal e inferior, observándose que el nopal testigo sin tratamiento requiere de mayor fuerza de punción, comparada con el nopal escaldado 15 minutos. Pero se observa que la resistencia a la fuerza de punción es similar en las diferentes concentraciones de hidróxido de calcio utilizadas.

6.2.4 Cuadros de los resultados estadísticos para el parámetro de punción con las diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y tiempo

Para la variable **FPC** el análisis de varianza no indicó diferencias significativas.

En el cuadro No. 25 Se presentan los promedios para **FPC**, de tal forma que el tiempo no influyó para esta variable.

Cuadro No. 25 Resultados promedios de FPC (Fuerza de punción centro) contra el tiempo

Tiempo	Promedios
4 horas	2.206 ^a
12 horas	2.104 ^a
16 horas	2.031 ^a
24 horas	2.194 ^a

Para la variable **FPF**, cuadro No. 26 el análisis de varianza indicó diferencias significativas en cuanto al tiempo. Por lo tanto para el tiempo de 4 horas se requirió de mayor fuerza a diferencia de los otros tiempos.

Cuadro No. 26 Resultados promedios de FPF (Fuerza de punción frontal) contra el tiempo

Tiempo	Promedios
4 horas	2.693 ^a
8 horas	2.285 ^b
12 horas	2.303 ^b
16 horas	2.321 ^b
24 horas	2.329 ^b

Para la variable FPI contra el tiempo, cuadro No. 27 el análisis de varianza no se encontró diferencias significativas para los tratamientos.

Cuadro No. 27 Resultados promedios de FPI (Fuerza de punción inferior) contra el tiempo

Tiempo	Promedios
4 horas	2.194 ^a
8 horas	2.151 ^a
12 horas	2.075 ^a
16 horas	1.984 ^a
24 horas	1.939 ^a

Para la variable **FPI contra % de hidróxido de calcio** el análisis de varianza se observó diferencias significativas entre los tratamientos cuadro No. 28.

Donde encontramos que para la concentración de 0% hidróxido de calcio se requirió de mayor fuerza para el rompimiento de la cutícula del nopal, observándose que al incrementar la concentración de hidróxido de calcio la fuerza requerida para el rompimiento es menor.

Cuadro No. 28 Resultados promedios de FPC (Fuerza de punción centro) contra % de hidróxido de calcio

Concentración	Promedios
0 %	3.049 ^a
1 %	2.034 ^b
2 %	2.143 ^b
3 %	2.137 ^b

Para la variable **FPF contra % de hidróxido de calcio** el análisis de varianza mostró diferencias significativas para las diferentes concentraciones cuadro No. 29

Sin embargo podemos apreciar que para la concentración 0% hidróxido de calcio se necesitó de mayor fuerza a la resistencia de punción, comparada con las otras concentraciones que se necesita de menor fuerza de punción al incrementarse la concentración de hidróxido de calcio.

**Cuadro No. 29 Resultados promedios de FPF
(Fuerza de punción frontal) contra % de hidróxido de calcio**

Concentración	Promedios
0 %	3.455 ^a
1 %	2.335 ^b
2 %	2.435 ^b
3 %	2.389 ^b

Para la variable **FPI contra % de hidróxido de calcio** el análisis de varianza no presentó diferencias significativas para las concentraciones cuadro No. 30

Por lo tanto se observa que para la concentración de 0% hidróxido de calcio se requiere de mayor fuerza de punción a diferencia de las otras concentraciones ANEXO III.

**Cuadro No. 30 Resultados promedios de FPI
(Fuerza de punción inferior) contra % de hidróxido de calcio**

Concentración	Promedios
0 %	2.674 ^a
1 %	2.135 ^{ab}
2 %	2.069 ^b
3 %	2.002 ^b

6.3 Resultados de las micrografías de los diferentes tratamientos y testigos

El daño tisular es un punto crítico en la elaboración de productos cristalizados debido a que el proceso de osmosis se lleva acabo del interior de la célula al medio que la rodea, por lo tanto es importante mantener la estructura celular intacta para que el proceso de equilibrio de la concentración de azúcar sea exitoso.

La figura No. 11, muestra la micrografía de testigo sin tratamiento, se puede observar el tejido celular intacto, con las células en su estructura nativa o natural. La figura No.12 presenta la micrografía del nopal testigo, escaldado por 15 minutos, se puede observar que el tratamiento térmico no afecta la estructura de las células con

respecto a la figura No.11, las figuras No.13, 14 y 15 muestran las micrografías de tratamiento con Ca(OH)_2 al 1% y 4, 8 y 12 horas de inmersión, respectivamente.

El menor daño tisular se aprecia en la figura No.13, donde se observan las membranas celulares sin una cantidad considerable de ruptura entre ellas, y lo mismo ocurre para las concentraciones de 2 y 3% y tiempo de 4 horas (figura No.16 y 19), sin embargo, en la figura No.19 se aprecia un ligero daño del tejido.

En las figuras No.14 y 15 (1% Ca(OH)_2 12 Y 24 horas), figuras No.17 y 18 (2% Ca(OH)_2 12 Y 24 horas), figuras No. 20 y 21 (3% Ca(OH)_2 12 Y 24 horas), se aprecia daño tisular severo con respecto a todos los tratamientos con 4 horas de inmersión, esto no beneficia el proceso de osmosis debido a que no existen las membranas celulares para la retención del soluto (azúcar), y se obtendría un producto de baja calidad.

Los resultados obtenidos en esta etapa dieron la pauta para elegir la concentración de 1% Ca(OH)_2 y 4 horas de inmersión para elaborar los dulces de nopal cristalizado. Esto representa un ahorro en el tiempo de elaboración del producto ya que la literatura informal mencionan tiempos de inmersión de 24, 12 y 8 horas para elaborar los dulces.

Las contribuciones de esta etapa sentaron la base para el inicio de la segunda etapa la cual consistió en la elaboración del dulce cristalizado y su evaluación sensorial e instrumental. Los resultados se presentan a continuación.

6.3.1 Figuras de los resultados de la técnica de microscopia con respecto a los tratamientos evaluados tomadas con objetivo de 10 X.

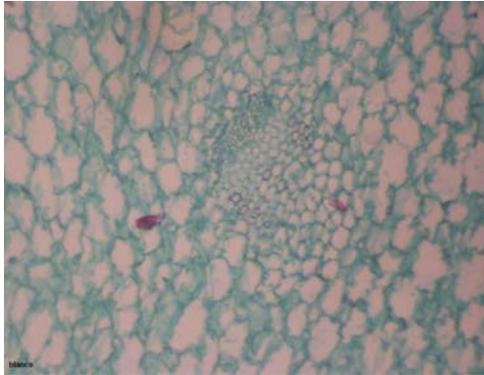


Fig No. 11 Nopal blanco

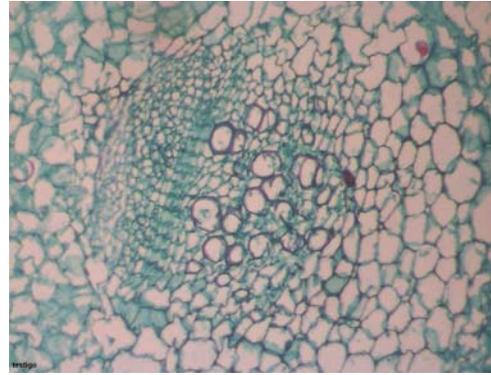


Fig No. 12 Nopal testigo

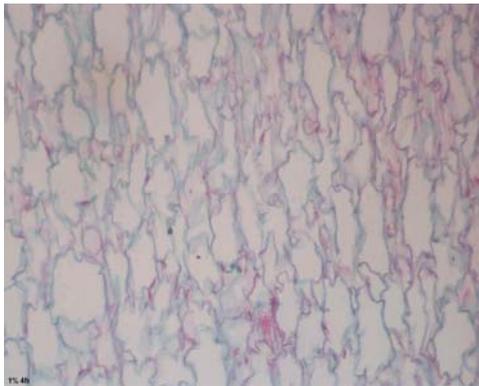


Fig No.13 1% 4 Horas



Fig No.14 1% 12 Horas

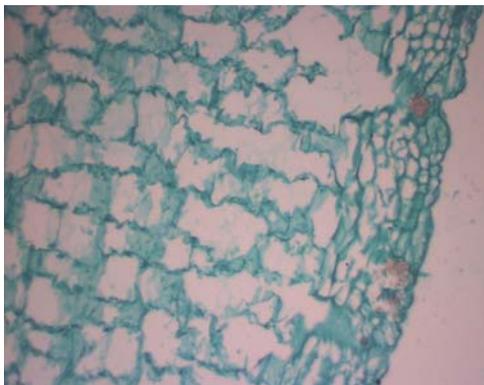


Fig No.15 1% 24 Horas

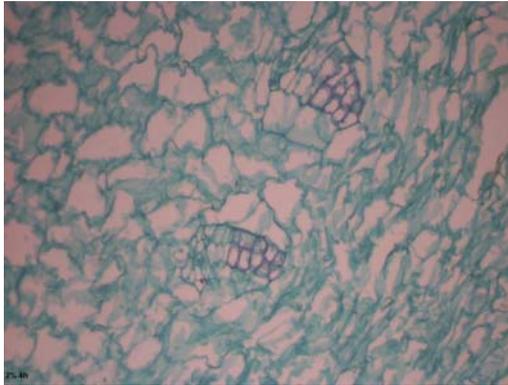


Fig No.16 2% 4 Horas

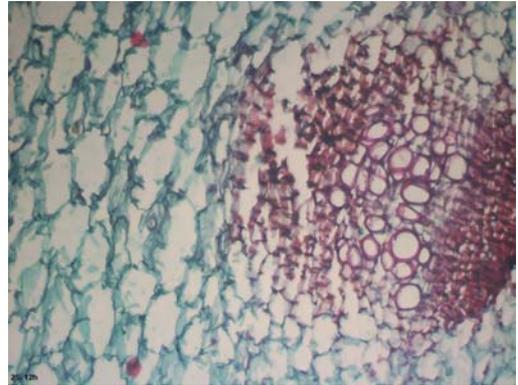


Fig No.17 2% 12 Horas

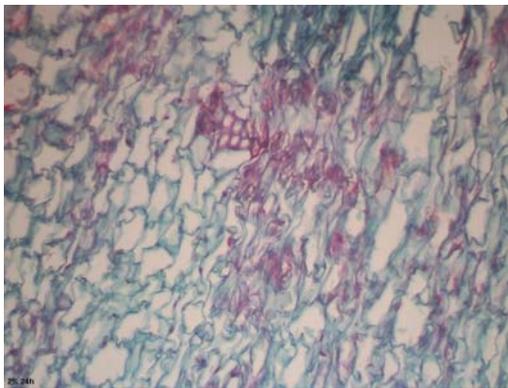


Fig No. 18 2% 24 horas

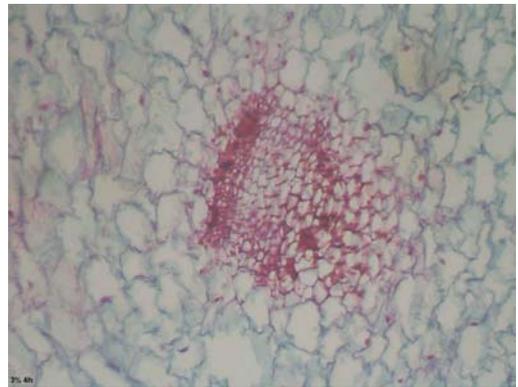


Fig No.19 3% 4 Horas

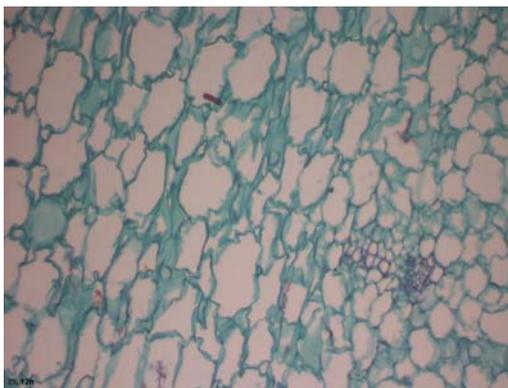


Fig No. 20 3% 12 Horas

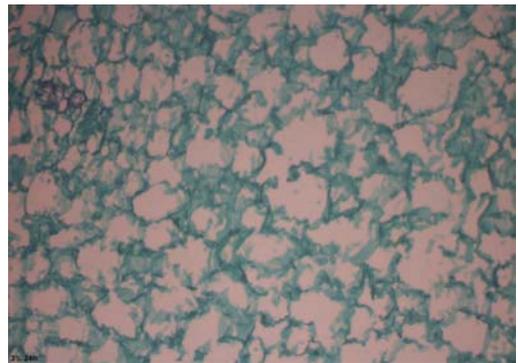


Figura No.21 3% 24 Horas

6.4 Resultados de caracterización química del producto terminado (Dulces de nopal cristalizado)

Para obtener los resultados sobre la caracterización química de los dulces de nopal cristalizado se realizó un análisis para determinar cantidad de azúcares totales, humedad, fibra cruda y energía calórica cuadro No. 31.

Cuadro No. 31 Caracterización bromatológica del producto (Dulces de nopal cristalizados)

DETERMINACIÓN	RESULTADOS
Energía	3.65Kcal-15.26KJ
Azúcares totales	0.524 g/g
Humedad	0.9%
Fibra cruda	1.04%

6.5 RESULTADOS DE EVALUACIÓN INSTRUMENTAL PARA LOS PARA METROS DE COLOR Y TEXTURA PARA LOS DULCES DE NOPAL CRISTALIZADO

6.5.1 Evaluación instrumental de color para los dulces de nopal cristalizado.

Para obtener los resultados cuadro No. 32 se le tomo el color a 15 nopales cristalizados. Los resultados se re presentan en la figura No. 22

Cuadro No. 32 Resultados de Evaluación instrumental de color para los dulces de nopal cristalizado

Nopal #	L	(-a	B
1.-	32.41	-0.5	8.48
2.-	26.94	0.16	5.12
3.-	26.08	0.18	6.48
4.-	29.85	0.25	5.24
5.-	28.3	0.13	5.03
6.-	31.79	-0.39	6.59
7.-	29.1	0.095	6.72
8.-	27.79	0.28	5.29
9.-	30.15	-0.45	5.33
10.-	29.4	-0.2	6.64
11.-	29.81	-0.27	6.91
12.-	29.44	0.08	8.06
13.-	32.52	0.35	6.62
14.-	31.47	0.19	7.06
15.-	33.6	0.045	6.98

Como podemos observar en el cuadro No. 32, el nopal No.1 presenta el valor de (-0.5) para la coordenada (a) y para la coordenada (b) presenta un valor de (8.48), y en los siguientes nopales para la coordenada (a) los valores recaen en el valor de (0) y para la coordenada (b) hay pocas diferencias en los resultados por lo que se puede decir que todo los valores muestran las mismas características de color, los cuales se muestran en la figura No. 22

Este incremento en la intensidad de color o sea el color verde se torna más oscuro, esto se debe a la concentración de los componentes celulares

pigmentados por la pérdida de agua de las células, la mayoría de los productos cristalizados muestran esta tendencia al oscurecimiento de su color natural.

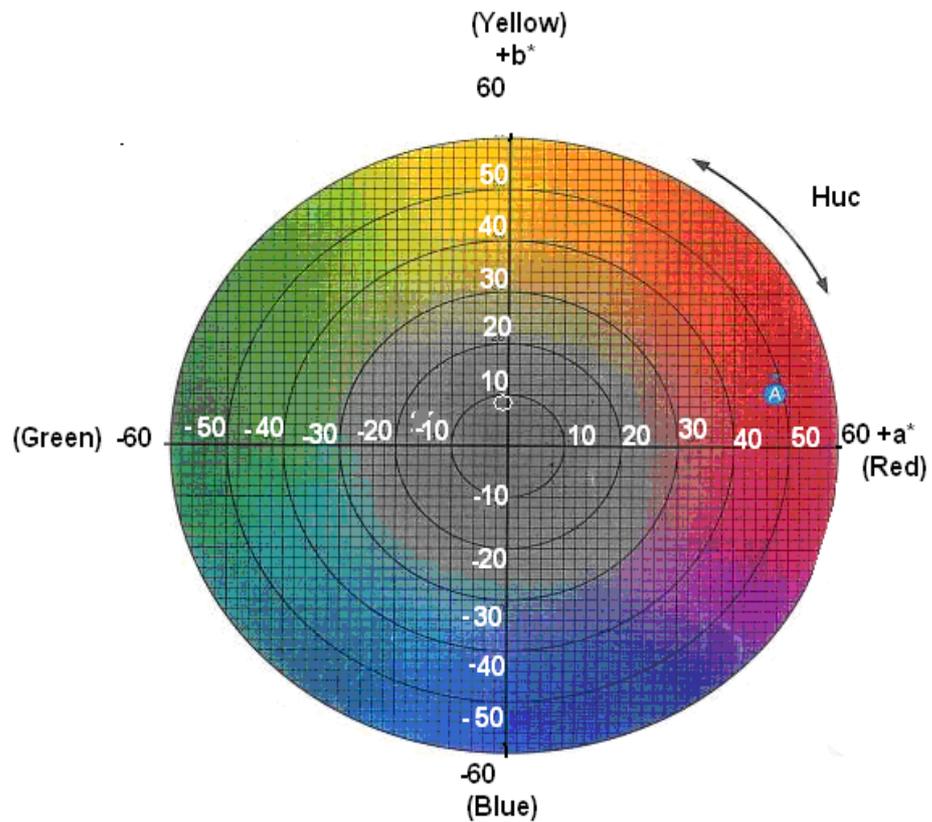


Figura No. 22 Diagrama de cromaticidad.

○ = color del nopal cristalizado

6.5.2 Evaluación instrumental de textura para los dulces de nopal cristalizados

Para realizar la evaluación instrumental de textura se utilizaron 15 nopales, y se utilizó una puntilla de 8 mm, los resultados se muestran en el cuadro No. 33

Cuadro No. 33 Resultados de Evaluación instrumental de textura para los dulces de nopal cristalizados

Nopal	C (kg)	F(kg)	I (kg)
1.-	6.1	7.3	5.25
2.-	7.3	8.9	5.35
3.-	5.55	8.5	4.6
4.-	9.75	11.25	7.8
5.-	7.5	7.85	5.8
6.-	8.65	10.6	6.4
7.-	9.45	9.8	6.85
8.-	9	11.3	7.9
9.-	7.5	11.2	7.1
10.-	8	11.2	6.55
11.-	7.3	11.6	7.3
12.-	10.25	12.3	8.1
13.-	8.9	11.4	6.65
14.-	7.8	8.65	5.7
15.-	6.4	8.3	4.9

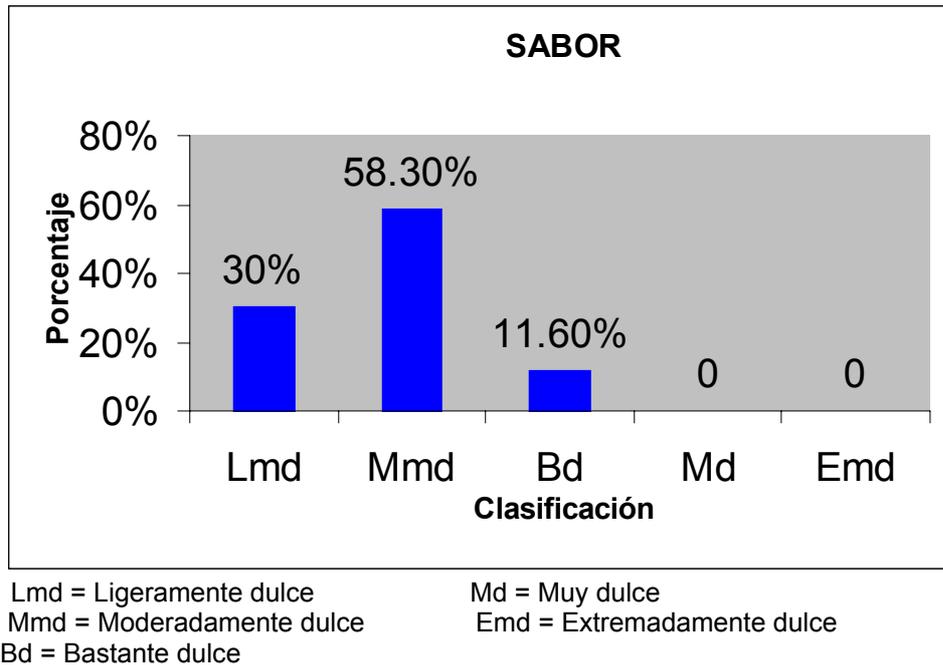
En el cuadro se observa que la fuerza de punción para los tres puntos centro, frontal e inferior es mucho mayor comparada con la FP cuadro No. 24 esto debido a que en estos nopales se utilizaron las concentraciones de azúcar al 20, 50 y 80%, lo cual hace que las células se saturen de azúcar y debido a esto se requiere de una mayor fuerza a la resistencia a la punción, esto es favorable ya que el producto obtiene una mayor firmeza y por lo tanto el producto tendrá una mejor presentación.

6.6 Resultados de evaluación sensorial para los parámetros de calidad (sabor, textura (dureza), forma del producto y color) para los dulces de nopal cristalizado.

Los resultados de la evaluación sensorial para los parámetros de calidad: sabor, textura, forma y color se realizaron con la participación de 60 personas de diferentes edades y sexo.

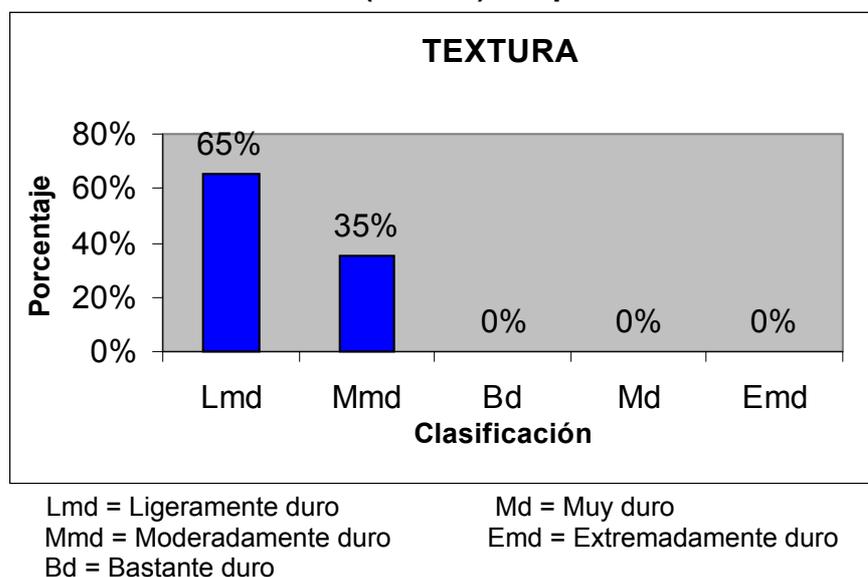
Como podemos observar en la figura No. 23 para el parámetro de sabor se obtuvo un 30% para el nivel ligeramente dulce (**Lmd**), sin embargo, el 58.30% coincidió que el producto es moderadamente dulce (**Mmd**), y el 11.6% restante lo considera bastante dulce (**Bd**) por lo tanto se puede decir que el sabor del producto fue agradable para el mayor número de las personas evaluadas.

Figura No. 23 Resultados de las pruebas sensoriales de sabor del producto



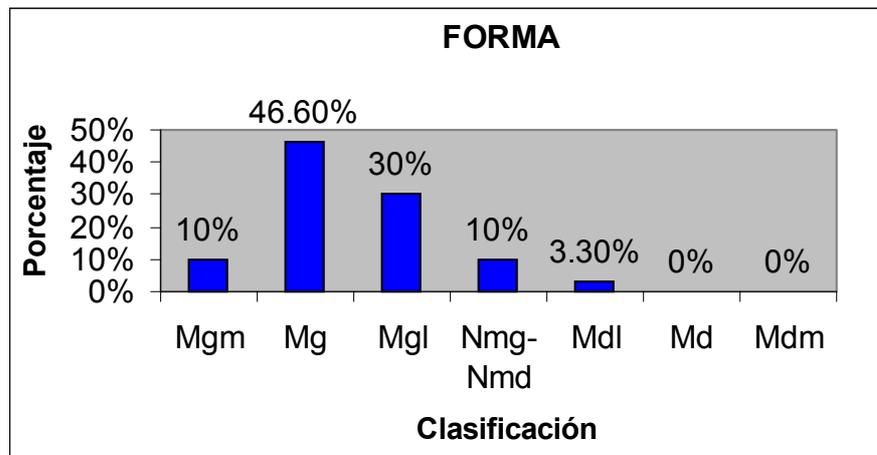
Para la figura No. 24 para el parámetro de textura se observa que la clasificación **Lmd** tubo muy buena aceptación por parte de los jueces ya que se obtuvo un 65% de aceptabilidad y para la clasificación **Mmd** se obtuvo un 35 % por lo tanto el producto tiene una textura agradable para la masticación.

Figura No. 24 Resultados de las pruebas sensoriales de textura (dureza) del producto



Como se observa en la figura No. 25 para el parámetro forma del producto, los resultados se dispersan en las diferentes clasificaciones, pero en la clasificación **Mg** se observa que hay diferencias muy marcadas respecto a las otras clasificaciones con un 46.60% de aceptación en este sentido se puede decir que la forma del producto fue agradable para los jueces evaluados.

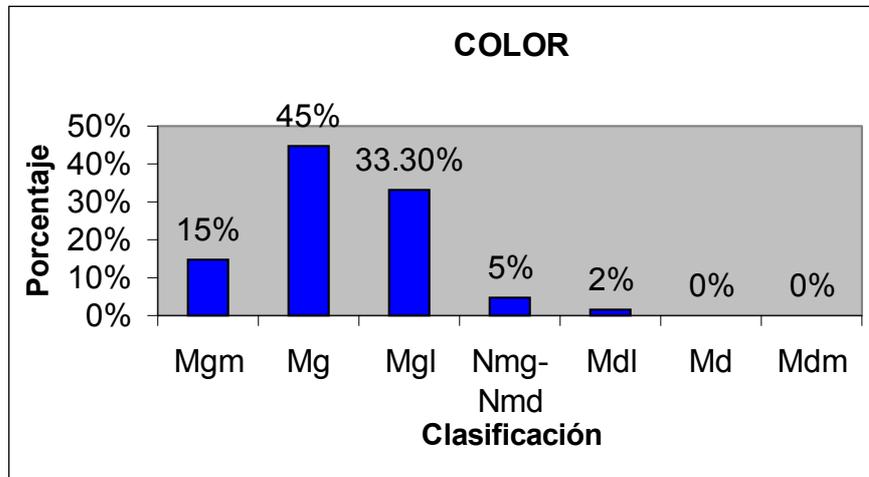
Figura No. 25 Resultados de las pruebas sensoriales de forma del producto



Mgm = Me gusta mucho
 Mg = Me gusta
 Mgl = Me gusta ligeramente
 Nmg-Nmd = Ni me gusta-Ni me disgusta
 Mdl = Me disgusta ligeramente
 Md = Me disgusta
 Mdm = Me disgusta mucho

En la figura No. 26 Para el parámetro de color se observa que los mayores porcentajes repuntan en las clasificaciones de **Mg** y **Mgl** con 45 y 33.30% respectivamente, con estos valores obtenidos se tiene que el color del producto al igual que las otras pruebas sensoriales tienen buena aceptabilidad por parte de las personas evaluadas.

Figura No.26 Resultados de las pruebas sensoriales del color del producto



Mgm = Me gusta mucho
 Mg = Me gusta
 Mgl = Me gusta ligeramente
 Nmg-Nmd = Ni me gusta-Ni me disgusta
 Mdl = Me disgusta ligeramente
 Md = Me disgusta
 Mdm = Me disgusta mucho

En conclusión se puede decir que el producto elaborado (dulces de nopal cristalizado) fue de de gran aceptabilidad ya en las pruebas sensoriales evaluadas, se apreció un buen grado de aceptación por parte de los jueces.



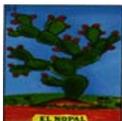
CONCLUSIONES

Con los resultados obtenidos en este estudio se concluye lo siguiente:

- En cuanto al análisis bromatológico realizado a los cladodios (nopalitos), se concluye que existe una similitud con los resultados obtenidos por otros autores citados en el trabajo.
- Con respecto a los resultados obtenidos de la evaluación instrumental se concluye que la concentración de 1% de Ca(OH)_2 y el tiempo de inmersión de 4 horas, son suficientes para disminuir la resistencia a la fuerza de punción y se promueve un menor rompimiento celular, facilitando el proceso de osmosis.
- Con lo que respecta a los resultados de la técnica de microscopia, se puede decir que el mejor tratamiento fue el de 1% hidróxido de calcio y el tiempo de 4 horas, ya que aquí los cortes del nopal no presentan daños comparados con los otros tratamientos que presentan mayores daños al incrementar la concentración y el tiempo de inmersión y corrobora la conclusión anterior.
- Con los resultados obtenidos de la evaluación sensorial de los dulces de nopal cristalizado, para los parámetros de calidad de sabor, color, textura y forma del producto, se concluye que el producto es de la aceptación de los jueces.
- De los resultados del análisis instrumental del producto, se apreció una concentración del color verde tornándose más oscuro y en cuanto a la punción se incremento, sin embargo, el producto tuvo muy buena aceptación por parte de los jueces.

- **CONCLUSION GENERAL**

La concentración de 1% de Ca(OH)_2 y un tiempo de 4 horas, son suficientes para permitir el ablandamiento del tejido del nopal y obtener un proceso de osmosis adecuado para la elaboración de dulces cristalizados de nopal.



REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- A.O.A.C.1980.** *Official Methods of Analysis.* Association of Official Agricultural Chemists.Washington,D.C
- Amerine, M, Pangborn, R y Roessler, E. 1965.** *Principles of sensory evaluation of foods.* Academic Press. N.Y.
- Anzaldúa M, Lever, C y Vernon, E. 1983.** *Nuevos métodos de evaluación sensorial y su aplicación en la reología y textura.* Tecnología de alimentos
- Anzaldúa Morales, A. 1984a.** *Reología y textura en la industria de la confitería.* Curso impartido a personal de la Cia. Chiclos Adams, S.A. México, D.F.
- Anzaldúa M. 1994.** *La evaluación sensorial de los alimentos en la teoría y práctica.* Editorial. Acribia, S.A .Zaragoza, España
- Arthey, D; Dennis. C. 1992.** *Procesado de hortalizas.* Editorial Acribia, S.A. Zaragoza, España. 146, 182pp
- Barbera, G.1995.** *History, economic and agro-ecological importance. In Agro-ecology, cultivation and uses of cactus pear–* G.Barbera; P. Inglese; E. Pimienta-Barrios (Eds). FAO. Plant Production and Protection Paper. 132.pp. 1-11p
- Barbera, G. Y P. Inglese, 1993.** *La coltura del ficodindia.* Calderini Edagricole Bologna, Italiy. Pp189.

- Barbera, G. 1999.** *Historia e Importancia Económica. In: Agro ecología, cultivo y usos del nopal* (Eds) Barbera G., P. Inglese y E. Pimienta B. FAO. Pp222.
- Bourne, M. 1982a.** *Reología y textura de los alimentos.* Curso organizado por la asociación de técnicos en alimentos en México, México, D.F.
- Bravo, H. 1978.** *Las cactáceas de México.* Universidad Nacional Autónoma de México.
- Bravo, H. H ; H. Sánchez- Mejorada R. 1991.** *Las cactáceas de México.* UNAM. México, D.F. Volumen I1, pp 404.
- Berger, A., 1912.** Kakteen. Verlag von Eugen Ulmer in Stuttgart.
- Cámara-Cabrales, L; A. Higareda-Ruiz; M. Coronado-Herrera; M. Rosales-Domínguez; M. G. Moriño y M. Darbouze-Trejo, 1990.** *Conservación Postcosecha del Nopal (Opuntia ficus indica) como Verdura.* Memorias 3ª Reunión Nacional y 1ª Reunión Internacional, El Nopal: su conocimiento y aprovechamiento, UAAAN, Saltillo, Coahuila, México.
- Cantwell, M; A. Rodríguez-Félix and F. Robles- Contreras.1992.** *Postharvest Physiology of Prickly Pear Cactus Stems.* Scientia Hort. 1-4pp.
- Callejas, R. M. 1999.** *Trabajo de Investigación, Estudio y Obtención de Información.* Tesis de Licenciatura. UAAAN, Buenavista Saltillo, Coahuila. México.
- Corrales, G. J. 1992.** *Perspectivas de Industrialización de Nopalito y Tuna. Programa sobre Producción, Procesamiento y Comercialización del Nopal.* CIESTAAM- UACH. Chapingo, México.

Cervantes, M. R., M .C Juárez G., A. Sánchez C. 2000. *Vegetación de las Zonas Áridas del Centro Norte de México, Estados de Aguascalientes, Zacatecas, Durango, Chihuahua.* In: VIII Coloquio de Geografía de Campo, UNAM, México. P20.

CONAZA. 1994. *Nopal Verdura. Opuntia spp.* 31p.

Desrosier, N. W. 1987. *Conservación de alimentos.* Décima sexta impresión, Edición CECOSA S.A. de C.V México DF. 328pp

Domínguez- López, A. 1995. Review: *Use of the fruits and stems of the prickly pear cactus (Opuntia spp) in human food.* Food Science and Technology International. Pp 65-67.

Donkin R.A. 1977. *Spanish red.* An ethnogeographical study of cochineal and the Opuntia Cactus. Transactions of the American Philosophical Societic Vol. 67

Flores, V y R. Aguirre. 1989. *El nopal como forraje.* CIESTAAM-UACH. Chapingo. Edo de México, 22 reimpresión. 80pp

Flores, A. 1992. *Producción de Vino y Aguardiente de Tuna, Alternativa en el Aprovechamiento del Nopal.* Ciencia y Desarrollo.56-58pp

Flores, V. C. 1992a. *Historia del uso del nopal en México y en el Mundo* En Samano R (Ed) Historia de la Agricultura en México. UACH, Chapingo, Estado de México Pp .155-160

Flores V.C 1992b . Growing. *Commercializing and Marketing Cactus Leaves in Mexico*
En Felker P. y J.R Moos (Ed) Proceeding Third Annual Texas Prickly Pear Council
Kingsville. Texas. USA. PP56-65.

Flores V; C.A. y C. Gallegos V. 1994a. *Sistema producto tuna*. Subsecretaria de
Agricultura, Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos, Centro de Investigaciones
Económicas, Sociales y Tecnológicas de la Agroindustria y de la Agricultura Mundial,
UACH, Chapingo, México. 91pp.

Flores, V; C. A. J. Olvera, M. 1994b. *El Sistema Producto Nopal Verdura en México*.
Secretaria de Agricultura y Recursos Hidráulicos. UACH. CIESTAAM. 150pp.

Flores V .C ., M de Luna J ., P. Ramírez P. 1995. *Mercado Mundial del Nopalito*.
ACERCA-UACH-CIESTAAM .Chapingo, México- 115pp

Flores V, C.A. 2002. *Producción, Industrialización y Comercialización de Nopalito*. En:
Schwentenius. R.R. I. Covarrubias G. Coordinadores. Frutas y Hortalizas. Estado
actual y nuevas alternativas en México. PIAI- CIESTAAM. Chapingo, México. 115pp

**Gallegos, V., C. y S. D J. Méndez G. 2000. *La tuna. Criterios y Técnicas para su
Producción Comercial*.** Universidad Autónoma Chapingo – Fundación Produce
Zacatecas, A.C. y Colegio de Postgraduados. Universidad Autónoma Chapingo.
México. pp164.

**Granados, S.,D. y A.D . Castañeda P. 1996. *El nopal. Historia, fisiología, genética e
importancia frutícola*.** Ed Trillas .México DF.

- Guisepppe, B y Paolo I. 1999.** *Agoecologia, cultivo y usos del nopal*. Roma. Ed. FAO.
- Green R.C y C. Plummer S. 1992.** *U.S Imports of Fruit and Vegetables Under Plant Quarantine Regulations*. Fiscal year 1991. Statical. Bulletin Number 859. Economic Research Service United States Department of Agriculture. USA. Pp8-9.
- Hernández, H.E. 2003.** *Evaluación del Efecto de la Adición de Harina de Nopal (Opuntia spp) Natural y Libre de Clorofila en la Elaboración de Tortillas de Maíz*. Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buena vista Saltillo, Coahuila, México. Abril, 2003.
- Jamieson, M; Jubber, P. 1975.** *Manejo de los alimentos. Volumen 2, Técnicas de conservación (Elaboración, envasado y empaque)* Edición PAX- MÉXICO, México, DF. 229pp
- Kramer, A y Twigg, B. 1972.** *Quality control in the food industry*. The AVI publishing. Co., Inc. Westpart, Conn
- Larmond, E. 1977.** *Laboratory methods for sensory evaluation of foods*. Can. Dept. Agriculture.
- Murillo Amador, B; Troyo-Diegues, E; García-Hernández, J. (2003)** *El nopal, alternativa para la agricultura de zonas áridas del siglo XXI*. Ed. Centro de Investigaciones Biológicas del Norte, La Paz, B.C.S, México.
- Mick, R.J. 1991.** *Growing variety 1308 for year around nopalito production*. En: P. Felker (Ed). 2nd. Annual Texas Prickly Pear Council Convention Proceedings. McAllen, Texas, USA. Pp32-34.

Neri, C; E. Pimienta, B. Y C. Robles, M. 1992. *Cambios fisiológicos durante el proceso de senescencia en cladodios jóvenes de nopal (Opuntia ficus indica (L.) Miller).* Resúmenes 5º Congreso Nacional y 3er Congreso Internacional, Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal, Chapingo, México. 107pp.

Negrete, H.S.1999.*Curso taller sobre conocimiento y aprovechamiento del nopal.* Asociación de Productores de Nopal, Facultad de Agronomía, UANL. Programa Universitario de Investigación y Servicio en Nopal y Tuna, CIESTAAM-UACH. 6 a 7 Marzo 1999. pp42,46.

Negrete, H.S. 2000. *Perspectiva del mercado nacional e internacional del nopal verdura.* En: Flores V., C. Ed. Memorias del curso taller sobre el conocimiento y aprovechamiento del nopal. Chapingo, Edo. México. Pp102.

Pimienta, E., 1990, *Nopal tunero,* Universidad de Guadalajara, México.

Pimienta B., E. 1993. *El nopal (Opuntia spp); Una alternativa ecológica productiva para las zonas áridas y semiáridas.* Ciencia 44: Pp339-350.

Pimienta B. E. 1994. *Perspectiva general de la producción de tuna en el mercado.* En: G. Esparza F y S. de J. Méndez g, Eds. Aportaciones técnicas y experiencias de la producción de tuna en Zacatecas (Memoria).Morelos, Zacatecas. México. 25-25pp

Ramayo-Ramírez, L.C. Saucedo-Veloz y Lakshminorayana. 1978 a. *Prolongación de la vida de almacenamiento del nopal hortaliza (Opuntia inermis Coulter) por refrigeración.* Chapingo, Nueva Época. 33-36pp

Ramayo- Ramírez, L . C. Saucedo, Veloz y L. Lakshminorayana, 1978b. *Causa de altas perdidas en nopal hortaliza (Opuntia inermis Coulter) por refrigeración.* Chapingo, Nueva Época. 33-36pp.

- Rodríguez- Félix, A y M. Cantwell, 1988.** *Developmental changes in the composition and quality of prickly pear cactus cladodes (nopalitos)*. Plants food for human nutrition. 83-85pp.
- Rodríguez-Félix, A y H. Soto-Valdez,1992.** *Quality changes of diced nopal during storage in polyethylene bags*. Proc. 3rd Annual Texas Prickly Pear Conference, Texas Prickly Pear Council, McAllen, Texas.
- Rodríguez del Ángel J.M, 1991.** *Métodos de investigación PECUARIA*. Editorial Trillas. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro, México.
- Reyes, M., 1993.** *Aprovechamiento y comercialización del nopal tapón (Opuntia robusta Wendland) en el Estado de San Luis Potosí*. Tesis. División de Ciencias Forestales UACH. Chapingo, México. 87p.
- Reinhard, Matissek; Frank-M. Schnepel; Gabriele Steiner, 1992.** *Análisis de los Alimentos. Fundamentos – Métodos – Aplicaciones*. Ed. Acribia, S.A. Zaragoza España. Pp.9.
- SAGARPA-CEA. 1999.** *Anuario Estadístico de la Producción Agrícola en los Estados Unidos Mexicanos*, México. DF.
- SNIM. 1998.** *Sistema Nacional de Información de Mercados*, México, DF.
- Tejada, I. 1985.** *Manual de laboratorio para análisis de ingredientes utilizados en la alimentación animal*. 1º Ed. 1983.
- Trachtenberg, S. y A.M. Mayer. 1982.** *Biophysical properties of opuntia ficus indica mucilage*. Phytochem.

Vigueras, G., A. L. L Portillo, M.1995. *Recetario de cocina, cactáceas y suculentas.* Nakari, Sociedad Jalisciense de Cactología, A. C. Guadalajara, Jalisco. México.

Villarreal, P. 2005. *Evaluación de mezclas de harina de nopal natural y harina de trigo para la elaboración de pan con bajo contenido calórico.* Tesis de licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista, Saltillo, Coahuila, México. Septiembre 2005.

Zamora, F.I. 2004. *Trabajo de observación, estudio y obtención de información.* Tesis de Licenciatura. Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro. Buenavista Saltillo Coahuila, México. 14pp.

Paginas de Internet

[http://www.abcdietas.com/glosario/actividad de agua.html](http://www.abcdietas.com/glosario/actividad_de_agua.html) 17/10/05 3: 20 PM

<http://club.telepolis.com/ohcop/adobleve.html> 17/10/05 3:25PM

[http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=osmosis&redirect=no.](http://es.wikipedia.org/w/index.php?title=osmosis&redirect=no) 17/10/05 3:15 PM

<http://www.cinvestav.mx/publicaciones/avayper/sepoct02/DESHIDRATACION.PDF>
17/10/05 3:15 PM

<http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/agronomia/2006228/teoria/obfrudes/p3.htm> 17/10/05 3:30PM

ANEXO I

EJEMPLO: ESCALA DE INTERVALO PARA CALIFICACIONES

Nombre: _____ Edad: _____

Fecha de evaluación: _____

PRODUCTO: DULCES CRISTALIZADOS DE NOPAL

INSTRUCCIONES: Pruebe la muestra que se le presenta e indique con una “X” la dureza del producto que percibe.

ESCALA

Ligeramente duro

Moderadamente duro

Bastante duro

Muy duro

Extremadamente duro

TEXTURA (DUREZA)

COMENTARIOS _____

¡GRACIAS POR PARTICIPAR!

EJEMPLO: ESCALA DE INTERVALO PARA CALIFICACIONES

Nombre: _____ Edad: _____

Fecha de evaluación: _____

PRODUCTO: DULCES CRISTALIZADOS DE NOPAL

INSTRUCCIONES: Deguste la muestra que se le presenta, e indique con una “X” la intensidad del sabor dulce del producto.

ESCALA

SABOR

Ligeramente dulce

Moderadamente dulce

Bastante dulce

Muy dulce

Extremadamente dulce

COMENTARIOS

¡GRACIAS POR PARTICIPAR!

EJEMPLO: ESCALA HEDÓNICA VERBAL

Nombre: _____ Edad: _____

Fecha de evaluación: _____

PRODUCTO: DULCES CRISTALIZADOS DE NOPAL

INSTRUCCIONES: Pruebe la muestra que se le presenta, e indique con una “X” de acuerdo a la escala, su opinión respecto al color y la forma del producto.

ESCALA	COLOR	FORMA
Me gusta mucho	_____	_____
Me gusta	_____	_____
Me gusta ligeramente	_____	_____
Ni me gusta ni me disgusta	_____	_____
Me disgusta ligeramente	_____	_____
Me disgusta	_____	_____
Me disgusta mucho	_____	_____

COMENTARIOS _____

¡GRACIAS POR PARTICIPAR!

ANEXO II.- Resultados estadísticos para el parámetro de color con las diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y tiempo

analysed with: analyse-it + General 1.71

Test	1-Way between subjects ANOVA	
Comparison Performed by	L by cal: 0, 1, 2, 3	Date 26 Octubre 2004

n	17			
L by cal	n	Mean	SD	SE
0	2	22.795	26.269	18.5750
1	5	39.839	1.183	0.5290
2	5	39.370	0.871	0.3894
3	5	39.467	1.190	0.5321

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Cal	496.523	3	165.508	3.05	0.0663
Within cells	704.352	13	54.181		
Total	1200.875	16			

		LDS	
Contrast	difference	95% ci	
0 v 1	-17.044	-30.348 to -3.739	(significant)
0 v 2	-16.575	-29.880 to -3.271	(significant)
0 v 3	-16.672	-29.976 to -3.367	(significant)
1 v 2	0.469	-9.587 to 10.526	
1 v 3	0.372	-9.685 to 10.429	
2 v 3	- 0.096	-10.154 to 9.961	

Test 1-Way between subjects ANOVA

Comparison a by cal: 0, 1, 2, 3
Performed by

Date 26 Octobre 2004

n 17

a by cal	n	Mean	SD	SE
0	2	-8.477	8.391	5.9335
1	5	-2.532	0.711	0.3178
2	5	-2.596	0.779	0.3484
3	5	-2.663	0.917	0.4102

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Cal	61.048	3	20.349	3.38	0.0511
Within cells	78.225	13	6.017		
Total	139.274	16			

Contrast	difference	LDS		
		95% ci		
0 v 1	-5.944	-10.378 to -1.510	(significant)	
0 v 2	-5.888	-10.315 to -1.447	(significant)	
0 v 3	-5.814	-10.248 to -1.380	(significant)	
1 v 2	0.063	-3.288 to 3.415		
1 v 3	0.130	-3.221 to 3.482		
2 v 3	0.067	-3.285 to 3.419		

Test 1-Way between subjects ANOVA

Comparison b kg by cal: 0, 1, 2, 3
Performed by

Date 26 Octobre 2004

n 17

b by cal	n	Mean	S	SE
0	2	18.387	3.265	2.3085
1	5	14.657	1.093	0.4890
2	5	14.944	0.984	0.4399
3	5	14.475	1.048	0.4686

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Cal	24.647	3	8.216	4.51	0.0224
Within cells	23.702	13	1.823		
Total	48.349	16			

Contrast	difference	LDS 95% ci	
0 v 1	3.730	1.289 to 6.170	(significant)
0 v 2	3.442	1.002 to 5.883	(significant)
0 v 3	3.912	1.471 to 6.352	(significant)
1 v 2	-0.287	-2.132 to 1.558	
1 v 3	0.182	-1.663 to 2.027	
2 v 3	0.469	-1.376 to 2.314	

Test 1-Way between subjects ANOVA

Comparison Performed by

L 1 by tiempo 1: 4, 8, 12, 16, 24

Date 26 Octubre 2004

n		15		
L1 by tiempo 1	n	Mean	SD	SE
4	3	39.996	0.503	0.2904
8	3	38.376	0.380	0.2191
12	3	40.142	1.343	0.7753
16	3	38.873	0.098	0.0566
24	3	40.406	0.749	0.4324

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Tiempo 1	9.361	4	2.340	4.22	0.02940
Within cells	5.542	10	0.554		
Total	14.903	14			

Contrast	difference	LDS 95% ci	
4 v 8	1.620	0.266 to 2.974	(significant)
4 v 12	-0.147	-1.501 to 1.208	
4 v 16	1.123	-0.231 to 2.477	
4 v 24	-0.411	-1.765 to 0.944	
8 v 12	-1.767	-3.121 to -0.412	(significant)
8 v 16	-0.497	-1.851 to 0.857	
8 v 24	-2.031	-3.385 to -0.676	(significant)
12 v 16	1.270	-0.085 to 2.624	
12 v 24	-0.264	-1.618 to 1.090	
16 v 24	-1.534	-2.888 to -0.179	(significant)

Test 1-Way between subjects ANOVA

**Comparison
Performed by**

a 1 by tiempo 1: 4, 8, 12, 16, 24

Date 26 Octubre 2004

n	15			
a1 by tiempo1	n	Mean	SD	SE
4	3	-3.295	0.992	0.5730
8	3	-1.890	0.202	0.1165
12	3	-2.831	0.821	0.4742
16	3	-2.112	0.068	0.0391
24	3	-2.856	0.455	0.2629

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Tiempo 1	4.030	4	1.008	2.63	0.09760
Within cells	3.824	10	0.382		
Total	7.855	14			

Contrast	difference	LDS 95% ci	
4 v 8	-1.405	-2.530 to -0.280	(significant)
4 v 12	-0.463	-1.588 to 0.662	
4 v 16	-1.12	-2.307 to -0.057	(significant)
4 v 24	-0.439	-1.564 to 0.686	
8 v 12	-0.941	-0.184 to 2.066	
8 v 16	-0.222	-0.903 to 1.347	
8 v 24	-0.966	-0.159 to 2.091	
12 v 16	-0.719	-1.844 to 0.406	
12 v 24	0.025	-1.100 to 1.150	
16 v 24	0.744	-0.381 to 1.1869	

Test 1-Way between subjects ANOVA

**Comparison
Performed by**

b 1 by tiempo 1: 4, 8, 12, 16, 24

Date 26 Octubre 2004

n | 15

b1 by tiempo 1	n	Mean	SD	SE
4	3	15.637	0.953	0.5503
8	3	13.732	0.413	0.2384
12	3	14.804	1.088	0.6280
16	3	13.905	0.391	0.2257
24	3	15.382	0.046	0.0267

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Tiempo 1	8.769	4	2.192	4.54	0.0239
Within cells	4.834	10	0.483		
Total	13.604	14			

Contrast	difference	LDS 95% ci	
4 v 8	1.905	0.640 to 3.170	(significant)
4 v 12	0.833	-0.432 to 2.098	
4 v 16	1.732	0.467 to 2.997	(significant)
4 v 24	0.255	-1.010 to 1.520	
8 v 12	-1.072	-2.337 to 0.193	
8 v 16	-0.174	-1.439 to 1.091	
8 v 24	-1.651	-2.916 to -0.386	(significant)
12 v 16	0.898	-0.367 to 2.163	
12 v 24	-0.579	-1.844 to 0.686	
16 v 24	-1.477	-2.742 to -0.212	(significant)

ANEXO III.- Resultados estadísticos para el parámetro de punción con las diferentes concentraciones de hidróxido de calcio y tiempo

analysed with: analyse-it + General 1.71

Test	1-Way between subjects ANOVA	
Comparison Performed by	FPCkg by cal: 0, 1, 2, 3	Date 26 Octubre 2004

FPC by cal	n	Mean	SD	SE
0	2	3.049	1.004	0.7100
1	5	2.034	0.120	0.0536
2	5	2.143	0.225	0.1006
3	5	2.138	0.138	0.0618

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Cal	1.611	3	0.537	5.19	0.0141
Within cells	1.345	13	0.103		
Total	2.956	16			

Contrast	difference	LDS 95% ci	
0 v 1	1.015	0.434 to 1.596	(significant)
0 v 2	0.906	0.325 to 1.487	(significant)
0 v 3	0.912	0.331 to 1.493	(significant)
1 v 2	-0.109	-0.549 to 0.330	
1 v 3	-0.103	-0.534 to 0.336	
2 v 3	0.006	-0.433 to 0.445	

Test	1-Way between subjects ANOVA	
Comparison Performed by	FPFkg by cal: 0, 1, 2, 3	Date 26 Octobre 2004

n		17		
FPFkg by cal	n	Mean	SD	SE
0	2	3.455	1.180	0.8345
1	5	2.335	0.157	0.0701
2	5	2.435	0.294	0.1316
3	5	2.389	0.130	0.0581

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Cal	2.038	3	0.679	4.64	0.0204
Within cells	1.905	13	0.147		
Total	3.943	16			

Contrast	difference	LDS 95% ci	
0 v 1	1.119	0.427 to 1.811	(significant)
0 v 2	1.020	0.328 to 1.711	(significant)
0 v 3	1.066	0.374 to 1.758	(significant)
1 v 2	-0.100	-0.623to 0.423	
1 v 3	-0.054	-0.577 to 0.469	
2 v 3	0.046	-0.477 to 0.569	

Test	1-Way between subjects ANOVA	
Comparison Performed by	FPIkg by cal: 0, 1, 2, 3	Date 26 Octobre 2004

n		17		
FPIkg by cal	n	Mean	SD	SE
0	2	2.674	0.812	0.5745
1	5	2.135	0.178	0.0794
2	5	2.069	0.290	0.1296
3	5	2.002	0.109	0.0488

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Cal	0.690	3	0.230	2.56	0.1004
Within cells	1.170	13	0.090		
Total	2.860	16			

Contrast	difference	LDS 95% ci	
0 v 1	0.539	-0.004 to 1.081	
0 v 2	0.604	0.062 to 1.146	(significant)
0 v 3	0.672	0.130 to 1.214	(significant)
1 v 2	0.066	-0.344 to 0.475	
1 v 3	0.133	-0.276 to 0.543	
2 v 3	0.068	-0.342 to 0.478	

Test 1-Way between subjects ANOVA

Comparison FPCKg 1 by tiempo 1: 4, 8, 12, 16, 24
Performed by

Date 26 Octubre 2004

n | 15

FPCKg 1 by cal	n	Mean	SD	SE
4	3	2.206	0.295	0.1702
8	3	1.989	0.073	0.0420
12	3	2.104	0.096	0.0551
16	3	2.031	0.091	0.0524
24	3	2.194	0.148	0.0855

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Tiempo 1	0.111	4	0.028	1.06	0.4260
Within cells	0.263	10	0.026		
Total	0.374	14			

Contrast	difference	LDS 95% ci
4 v 8	0.217	-0.078 to 0.512
4 v 12	0.102	-0.193 to 0.397
4 v 16	0.175	-0.120 to 0.470
4 v 24	0.012	-0.238 to 0.307
8 v 12	-0.115	-0.410 to 0.180
8 v 16	-0.043	-0.338 to 0.252
8 v 24	-0.205	-0.500 to 0.090
12 v 16	0.072	-0.223 to 0.367
12 v 24	-0.090	-0.385 to 0.205
16 v 24	-0.163	-0.458 to 0.132

Test 1-Way between subjects ANOVA

Comparison Performed by FPFkg 1 by tiempo 1: 4, 8, 12, 16, 24

Date 26 Octubre 2004

	n	Mean	SD	SE
FPFkg 1 by tiempo				
4	3	2.693	0.222	0.1281
8	3	2.285	0.103	0.0596
12	3	2.303	0.100	0.0575
16	3	2.321	0.090	0.0520
24	3	2.329	0.112	0.0645

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Tiempo 1	0.356	4	0.089	4.93	0.01870
Within cells	0.181	10	0.018		
Total	0.537	14			

Contrast	difference	LDS 95% ci	
4 v 8	0.408	0.163 to 0.652	(significant)
4 v 12	0.390	0.145 to 0.634	(significant)
4 v 16	0.372	0.127 to 0.617	(significant)
4 v 24	0.364	0.119 to 0.609	(significant)
8 v 12	-0.018	-0.263 to 0.227	
8 v 16	-0.036	-0.280 to 0.209	
8 v 24	-0.044	-0.288 to 0.201	
12 v 16	-0.018	-0.262 to 0.227	
12 v 24	-0.026	-0.270 to 0.219	
16 v 24	-0.008	-0.253 to 0.237	

Test 1-Way between subjects ANOVA

Comparison FPlkg 1 by tiempo 1: 4, 8, 12, 16, 24
Performed by

Date 26 Octubre 2004

n | 15

FPlkg 1 by tiempo 1	n	Mean	SD	SE
4	3	2.194	0.328	0.1893
8	3	2.151	0.226	0.1306
12	3	2.075	0.091	0.0525
16	3	1.984	0.073	0.0420
24	3	1.939	0.188	0.1085

Source of variation	SSq	DF	MSq	F	P
Tiempo 1	0.139	4	0.035	0.84	0.53050
Within cells	0.415	10	0.041		
Total	0.554	14			

Contrast	difference	LDS 95% ci
4 v 8	0.042	-0.328 to 0.413
4 v 12	0.118	-0.252 to 0.489
4 v 16	0.210	-0.161 to 0.581
4 v 24	0.254	-0.116 to 0.625
8 v 12	0.076	-0.295 to 0.447
8 v 16	0.168	-0.203 to 0.538
8 v 24	0.212	-0.159 to 0.583
12 v 16	0.092	-0.279 to 0.462
12 v 24	0.136	-0.235 to 0.507
16 v 24	0.044	-0.326 to 0.415



RESUMEN

El presente trabajo de investigación muestra la evaluación del efecto de la concentración del hidróxido de calcio y del tiempo de inmersión durante el proceso de elaboración de dulces de nopal cristalizado. Para este estudio se evaluaron diferentes concentraciones de hidróxido de calcio (1, 2, y 3%) y tiempos (4, 8, 12, 16 y 24 horas).

Para la realización de este trabajo lo primero que se practicó fue un análisis bromatológico a los cladodios (nopalitas) para conocer su composición nutricional; posteriormente, a los nopales se les realizó el análisis instrumental de (color y punción). Además de realizar técnicas de microscopia para ver el comportamiento de las células después de haber estado sometidos a los tratamientos de (hidróxido de calcio y tiempo); con los resultados obtenidos y con el análisis estadístico practicado se llegó a la conclusión de que el mejor tratamiento fue el de 1% de hidróxido de calcio y el tiempo de 4 horas, ya que aquí las células del nopal no sufren daños significativos. Por lo tanto para la elaboración del producto DULCES DE NOPAL CRISTALIZADO se utilizó este tratamiento.

Cabe señalar que para la elaboración del producto los nopales tuvieron un previo escalde de 15 minutos, de igual forma a los DULCES DE NOPAL CRISTALIZADO se les realizó un análisis para determinar cantidad de azúcares totales, humedad, fibra cruda y energía calórica, instrumental (color y punción) y sensorial donde se evaluaron los parámetros de calidad (sabor, color, textura y forma del producto) a 60 jueces no entrenados, obteniéndose un producto de buena calidad.

Por lo tanto se puede decir que para elaborar el producto es recomendable trabajar con el tratamiento de 1% / 4 horas, ya que se reducen los costos de procesamiento.

