



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA DE MEXICO

FACULTAD DE QUIMICA



**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA**

**ALTERNATIVAS PARA LA CONSERVACION
DE NOPAL DESESPINADO**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
QUIMICA EN ALIMENTOS**

PRESENTA

SUSANA ZAMORA YEDRA



MEXICO D.F.



2004.

**EXAMENES PROFESIONALES
FACULTAD DE QUIMICA**



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

ESTA TESIS NO SALE
DE LA BIBLIOTECA

Jurado asignado:

Presidente
Vocal
Secretario
1^{er}. Suplente
2^o. Suplente

Prof. FEDERICO GALDEANO BIENZOBAS
Prof. ARTURO NAVARRO OCAÑA
Prof. LUIS ORLANDO ABRAJAN VILLASEÑOR
Prof. JUAN DIEGO ORTIZ PALMA
Prof. CARLOS MANUEL SHELLY ALVAREZ TOSTADO

Sitio donde se desarrolló el tema:

UNAM

Facultad de Química

Laboratorio 4-A



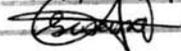
Q.F.B. LUIS ORLANDO ABRAJAN VILLASEÑOR

Asesor del tema

Autorizo a la Dirección General de Bibliotecas de la UNAM a difundir en formato electrónico e impreso el contenido de mi trabajo recepcional.

NOMBRE: Susana Zamora Yedra

FECHA: 27/05/04

FIRMA: 



SUSANA ZAMORA YEDRA

Sustentante

Dedicatoria

Esta tesis esta dirigida con todo cariño y agradecimiento a: la UNAM, maestros, familia, padrinos y amigos, que siempre estuvieron conmigo para apoyarme.

El siguiente pensamiento es algo que quiero compartir con todos ustedes, pues a mí en lo personal me ha servido de inspiración para continuar mi superación personal y profesional:

Cree siempre en tus sueños

***E**n tu trayecto por este mundo, mira siempre hacia el futuro... hacia todo lo que podría ser... no permitas que te frenen viejos errores o desgracias: aprende de ellos, perdónate o perdona a los demás y sigue por tu camino.*

No te dejes desalentar por las adversidades. Enfréntalas, como un reto. Déjate impulsar por la valentía que exige superar obstáculos. Aprende. Aprende algo nuevo cada día. Interésate en los demás y en lo que de ellos podrías aprender.

Pero no te busques en el espejo de los demás. No definas quien eres por la aprobación de los demás. Si quieres saber quien eres y a donde vas, la respuesta la encontrarás siempre dentro de ti, pero tampoco te olvides de agradecer y apoyar a los demás. Trata de no ser un ser mezquino.

Cree en ti. Sigue los anhelos de tu corazón, sigue tus sueños. Como todos los demás, tú también cometerás errores. Pero siempre que le seas fiel a la fortaleza de tu propio corazón... no te equivocarás.

Ashley Rice

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	1
2	OBJETIVOS.....	3
3	JUSTIFICACIÓN.....	4
4	ANTECEDENTES.....	5
4.1	GENERALIDADES DEL NOPAL-VERDURA.....	5
4.1.1	Origen e historia.....	5
4.1.2	Taxonomía.....	5
4.1.3	Características morfológicas.....	6
4.1.4	Condiciones fisiográficas.....	8
4.1.5	Distribución en México.....	8
4.1.6	Países que cultivan nopal verdura.....	8
4.1.7	Producción y superficie cultivada de nopal en México.....	9
4.1.8	Características biológicas, químicas y nutricionales del nopal verdura (cladodio).....	9
4.1.9	Acidez y comportamiento metabólico del nopal.....	12
4.1.10	Comportamiento fisiológico del nopal.....	13
4.1.11	Grados de calidad.....	14
4.2	IMPORTANCIA DEL NOPAL.....	16
4.2.1	Aportaciones a la economía.....	16
4.2.2	Beneficios socioeconómicos.....	16
4.2.3	Importancia, usos y productos.....	16
4.2.4	Exportación.....	17
4.3	OPERACIONES POSTCOSECHA DEL NOPAL VERDURA.....	19
4.3.1	Cosecha del nopal.....	19
4.3.2	Acomodamiento y empaque.....	20
4.3.3	Comercialización del nopal desespinado y cortado.....	21
4.3.4	Factores de deterioro del nopal.....	21
4.4	TECNOLOGÍA POST-COSECHA DEL NOPAL EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA.....	22
4.4.1	Origen de la tecnología post-cosecha.....	22
4.4.2	Tecnología post-cosecha del nopal con espinas.....	22
4.4.3	Tecnología post-cosecha en el nopal desespinado.....	24
4.5	PROCESAMIENTO MÍNIMO.....	25
4.5.1	Definición y origen.....	25
4.5.2	Factores que alteran la calidad de los productos mínimamente procesados.....	26
4.5.2.1	Pardeamiento enzimático.....	26
4.5.2.2	Pérdida de la textura.....	28
4.5.2.3	Pigmentos y causas de su modificación.....	31
4.5.2.4	Pérdida del sabor.....	35
4.5.2.5	Cambios de acidez.....	36
4.5.2.6	Factores físicos, químicos y biológicos que aceleran el deterioro del producto.....	36
4.5.3	Métodos de control.....	37

4.6	ENVASADO DE LOS PRODUCTOS HORTÍCOLAS.....	43
4.6.1	Generalidades e importancia.....	43
4.6.2	Factores que determinan la composición atmosférica de un tejido vivo.....	44
4.6.3	Envasado mediante películas plásticas.....	48
4.6.4	Características de permeabilidad de los plásticos.....	52
4.6.4.1	Movimiento de los gases y vapor de agua a través de las películas plásticas.....	53
4.6.4.2	Atmósfera creada en el interior del empaque.....	53
4.6.4.2.1	Características de las atmósferas modificadas y controladas.....	54
4.6.4.2.2	Características de la atmósfera controlada (EAC).....	54
4.6.4.2.3	Envasado en atmósfera modificada (EAM).....	55
4.6.4.2.4	Ventajas e inconvenientes de las atmósferas controlada y modificada.....	58
4.6.4.2.5	Factores importantes para crear y mantener las atmósferas modificadas o controladas.....	59
4.6.4.3	Ventilación de los envases.....	60
4.7	RECUBRIMIENTOS SUPERFICIALES.....	60
4.7.1	Componentes de los Recubrimientos.....	61
4.7.2	Tipos de recubrimientos y películas de acuerdo a su componente mayoritario.....	61
4.7.2.1	Tipos de emulsión.....	63
4.7.3	Métodos de aplicación de películas y recubrimientos.....	63
4.7.4	Funciones de los recubrimientos comestibles en alimentos.....	66
4.7.5	Efectos Fisiológicos de los Recubrimientos.....	67
4.7.6	Efecto en el Control de Fisiopatías.....	68
4.7.7	Recubrimiento CMAM.....	69
4.7.7.1	Antecedentes.....	69
4.7.7.2	Descripción del recubrimiento MCAM.....	70
4.8	CONTROL DE CALIDAD.....	71
4.8.1	Aspectos generales.....	71
4.8.1.1	Importancia.....	71
4.8.2	Técnicas de control a nivel laboratorio.....	71
4.8.2.1	Análisis microbiológico.....	71
4.8.2.2	Microorganismos presentes en el nopal.....	73
4.8.2.3	Bacillus sp.....	73
4.8.2.3.1	Bacillus cereus.....	74
4.8.3	Análisis químico.....	74
4.8.4	Evaluación sensorial.....	75
4.8.4.1	Importancia.....	75
5	HIPÓTESIS.....	76
6	MATERIALES Y METODOLOGÍA.....	77
6.1	Especificaciones de materia prima.....	77
6.2	Material.....	77
6.3	Equipo usado para el almacenamiento del producto.....	78
6.4	Planteamiento de la Metodología.....	78
6.5	Etapas I de experimentación.....	79
6.5.1	Descripción de la Etapa I de experimentación.....	81
6.6	Etapas II de experimentación.....	84
6.6.1	Descripción de la Etapa II de experimentación.....	86

7	RESULTADOS EXPERIMENTALES.....	90
7.1	Etapa I de experimentación.....	90
7.2	Etapa II de experimentación.....	94
8	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	99
8.1	Etapa I de experimentación.....	99
8.2	Etapa II de experimentación.....	104
9	CONCLUSIÓN.....	111
10	RECOMENDACIONES.....	112
11	BIBLIOGRAFÍA.....	113

1. INTRODUCCIÓN

A pesar de que las cactáceas son nativas del continente Americano, México es considerado el centro de origen de estas plantas, al poseer una gran diversidad de especie y género de cactáceas. Más de 100 especies son del género *Opuntia*, de las que *Opuntia ficus-indica* (L.) Miller, es la más cultivada por tener mayor importancia comercial (Pimienta-Barrios, 1993), siendo Milpa Alta, D.F el productor más importante a nivel nacional al aportar aproximadamente el 80% de la producción nacional (Flores V. et al., 1995), empezando a cultivarlo mayoritariamente por la década de los cincuenta, pero no sería hasta los años ochenta cuando éste tendría mayor auge económico.^{9,10,16,18,33} El consumo per capita del nopal estimado en México es de 6.36 kg. / año (Flores V. Et al., 1995), a pesar de que sus plantaciones comerciales cubren una superficie de 10,400 ha. con una producción aproximada de 572,625 ton. / año. Los cladodios de nopal son tallos aplanados llamados nopales son consumidos tradicionalmente como una hortaliza en la dieta de los mexicanos y sirven para elaborar: a) productos alimenticios: como nopales en escabeche, ensaladas, sopas, guisados, antojitos panes, postres, bebidas y mermeladas b) cosméticos: shampoos, enjuagues, acondicionadores, cremas limpiadoras y humectantes y c) Productos medicinales: encapsulados principalmente.^{9, 10, 16, 18, 32,33}

Los nopales han sido fuente alimenticia en México por cientos de años, pero actualmente su mercado se ha expandido al extranjero a países como: E.U.A, Canadá, Japón y Europa, donde se comercializa en diversas formas o presentaciones como: a) Nopal fresco con espina b) Nopal desespinado c) Nopal en salmuera o en escabeche d) Nopal Precocido y congelado e) En mermelada etc.^{9, 10, 16,33}

No obstante las personas prefieren consumir el nopal fresco desespinado que procesado debido a que presenta mayor frescura, calidad nutricional y propiedades medicinales, por lo que para suministrar este producto con buena calidad durante todo el año tanto a nivel nacional y extranjero, se siguen buscando alternativas de conservación para alargar su vida de anaquel, ya que los nopales

desespinaados son más perecederos al durar sólo de 2-3 días a diferencia de los nopales con espinas que duran 5-7 días, debido a que el desespinado provoca daños en las células estructurales del tejido causando con mayor rapidez reblandecimiento, pudrición microbiana y pardeamiento enzimático en la superficie del corte, los cuales se aceleran aún más cuando el producto es almacenado a altas temperaturas y humedad.^{16,20,49,33,44}

Actualmente la información científica de la tecnológica post-cosecha del nopal desespinado en fresco todavía es escasa, de ahí que en el presente estudio se apliquen a distintas muestras de nopal tratamientos combinados de conservación como: la inmersión en agentes químicos con el almacenamiento en refrigeración ó congelación con y sin escaldado, envasando algunas muestras en bolsas plásticas de distinto material y aplicando el recubrimiento CMAM con y sin empaque a otras muestras.



*Recetario del nopal de Milpa ARA,
D.F. y Colima.
Foto: Melitón Tapia*

2. OBJETIVOS

OBJETIVO GENERAL:

Aplicar una combinación de agentes químicos con la refrigeración y/o congelación al nopal desespinado, para posteriormente envasarlo en un empaque adecuado de tal forma que podamos alargar por más tiempo su vida de anaquel y así intensificar su comercialización tanto a nivel nacional como en el extranjero.

OBJETIVOS PARTICULARES:

- ♣ Conocer de que manera influye el grado de acidez del nopal en su conservación.
- ♣ Retardar la absorción de oxígeno hacia el tejido del producto, para controlar la aparición de manchas por pardeamiento enzimático mediante su inmersión en combinaciones de agentes químicos propuestas.
- ♣ Evaluar si es conveniente sustituir el empleo de bisulfito de sodio en la conservación del nopal mínimamente procesado y refrigerado por otra combinación de agentes químicos propuesta.
- ♣ Verificar si al utilizar $\text{Ca}(\text{OH})_2$ comercial en solución se obtiene una textura, firmeza, sabor y coloración aceptables para el consumidor en el producto en comparación del uso de soluciones de $\text{Ca}(\text{OH})_2$ grado analítico.
- ♣ Buscar un material que proteja y conserve las características organolépticas del producto de forma adecuada, mediante su envasado en las bolsas plásticas a utilizar y el recubrimiento CMAM donado por la M.C. Elsa Bosquez Medina, Investigadora del Departamento de Fisiología y Tecnología Post-cosecha Vegetal de la U.A.M. Iztapalapa.

3. JUSTIFICACIÓN

De la producción anual de nopal verdura se pierde alrededor del 50 % durante su comercialización debido a la aparición del pardeamiento enzimático y reblandecimiento principalmente, cuyos síntomas se presentan más rápido (24 h) en el nopal desespinado que con espinas (2-3 d), sin embargo al ser el nopal desespinado una presentación comercial más práctica para su preparación culinaria, surge la necesidad de encontrar alternativas de conservación económicas y sencillas que permitan ampliar su comercialización tanto a nivel nacional como en el extranjero.^{9,10,16,18,19,20,28,29,32,33,38,39,44,49}

4. ANTECEDENTES

4.1 GENERALIDADES DEL NOPAL VERDURA.

4.1.1 Origen e historia.

El nopal (*Opuntia* spp) es una planta que pertenece a la familia de las Cactáceas, la cual es endémica y característica del Continente Americano sin existir en Europa, África, Asia y Australia (Borrego, 1984). Sin embargo México es considerado como el centro de su origen, al tener gran variedad de géneros y especies de nopal en su territorio, lo cual permitió que los mexicanos utilizaran desde antes las tunas y cladodios del nopal con fines alimenticios, medicinales y de magia (Borrego y Burgos, 1984), encontrándose evidencias de ello en: los códices, pinturas de las vasijas y monumentos de las culturas prehispánicas como los Aztecas, además de las fibras de pencas de nopal, semillas y cáscaras de tuna fosilizadas hallados en las excavaciones de Tamaulipas y Puebla, con una antigüedad de 7,000 años a.C. (Granados y Castañeda, 1991).^{9,10,16,18,33}

Algunas de las especies y variedades de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* de nopal ya estaban domesticados por los pueblos prehispánicos a la llegada de los españoles por lo que a partir de la conquista las mejores variedades fueron llevadas por los conquistadores a Sudamérica y al resto del mundo mediante el comercio e intercambio de plantas y animales, permitiendo así que el nopal se expandiera a distintas regiones del mundo al ser una planta que se adapta bien a condiciones áridas y semiáridas, a excepción de las regiones cercanas a los polos y algunos desiertos (Granados y Castañeda, 1991).^{9,10,16,18,33}

4.1.2 Taxonomía.

En México se le llama nopal a varias especies del género “*Opuntia*” de la familia “*Cactaceae*”, pero los verdaderos nopales pertenecen al género *Opuntia*, subgénero *Playopuntia* caracterizados por tener cladodios planos que incluye un gran número de especies que no han sido definidas por completo debido a su gran poliformismo, de ahí que todavía haya cierta confusión en su clasificación taxonómica dando origen a diferentes nombres a una misma especie (Borrego y Burgos 1986).^{9,10,16,18,19,20,33}

En el libro *Cactáceas de México*, de Helia Bravo (1978), los nopales presentan 2 géneros *Opuntia* y *Nopalea*, donde el género *Opuntia* en México presenta 5 subgéneros, 17 series y 104 especies, en cambio

el género *Nopalea* presenta 24 especies que se utilizan para lo siguiente: 15 especies para forraje, 6 para tuna y 3 para verdura.

El nopal verdura que se comercializa en México pertenece a 2 especies del género *Opuntia* y 1 especie del género *Nopalea*, siendo *Opuntia ficus indica* L. Miller la especie con mayor demanda comercial.^{9,10,16,18,33}

La clasificación taxonómica del nopal verdura del género *Opuntia* de Helia Bravo (1978), es con base en el sistema Britton y Rose, citado por Borrego (1984), y es la siguiente:^{9,10,16,18,19,20,33}

Reino	Vegetal
SubReino	Embryophita
División	Angiospermae
Clase	Dicotyledonea
Subclase	Dialipetalas
Orden	Opuntiales
Familia	Cactaceae
Subfamilia	Opuntioideae
Tribu	Opuntiae
Género	Opuntia

4.1.3 Características morfológicas.

Los nopales son plantas fanerógamas, angiospermas, dicotiledóneas, perennes y xerófitas adaptadas al clima cálido-seco, porque tienen en su composición agua en un 90% - 92% del peso total, que disminuye en los periodos de sequía, a diferencia los periodos de lluvia en donde el agua puede llegar a un valor del 95% por la hidratación del nopal. Las características morfológicas de la parte aérea del nopal se describen considerando las aportaciones de los autores Borrego - Burgos (1991) y de los Agricultores de nopal originarios de la delegación Milpa Alta, D.F., que se entrevistaron en la visita de campo realizada en el 2003 y que consiste en lo siguiente:^{9,10,18,33,44}

RAÍZ: Al plantar la tercera parte de la penca se observa el desarrollo de una raíz principal y raíces secundarias como cualquier otra dicotiledónea. La raíz principal que penetra de 10 a 20 cm sirve como uno de los sostenes de la planta y es difícil de distinguir de las raíces secundarias que son muy largas y ramificadas al formar una red en el terreno con poco espesor y humedad.^{9,10,18,33,44}

TALLO: Sobre los bordes de la penca plantada (penca madre) nacen uno ó varios renuevos que crecen hasta adquirir la forma, resistencia y tamaño adecuados para soportar a la planta, formándose entre ambas una articulación ó coyuntura, ya que con el tiempo tanto las pencas inferiores como las que conforman el tallo forman un tronco cilíndrico grueso y leñoso que al eliminarle las pencas innecesarias mediante la poda se favorece la brotación de los nopales conocidos también como cladodios sin provocarles problemas en su cosecha. Los cladodios presentan ahuates con espinas los cuales se van haciendo poco visibles a medida que madura más la planta.^{9,10,18,33,44}

Las espinas representan hojas ó ramas modificadas, por adaptación de la planta a las condiciones atmosféricas, clasificándose en centrales y marginales ó radiales, según su colocación en la areola; las primeras están en el centro de ésta, en un número reducido siendo gruesas y largas, rectas ó curvadas, situadas en distintos ángulos con respecto a la superficie de la penca, las radiales son más numerosas, menos largas y gruesas siendo más pegadas a la superficie de la penca. La función de las espinas es proteger a la planta de la acción directa de los rayos solares y tatuar los cambios bruscos de temperatura entre el día y la noche.^{9,10,18,33,44}

FLOR: Las yemas florales son solitarias y en el caso de *O. ficus indica* L. Miller, nacen en muchísimo menor proporción respecto a los cladodios de las areolas del borde superior de las pencas, aunque a veces nacen en las areolas del limbo, hacia el extremo apical y al principio son carnosidades rudimentarias, con ahuates y espinillas en sus propias areolas pudiendo ser sésiles o dentadas, las cuales tienen un cáliz que esta integrado de numerosos sépalos y una corola de varios pétalos ovoides soldados a una base, que también contiene muchos estambres localizados sobre la superficie del receptáculo, cuyos filamentos son casi siempre libres y enteramente oblongos, con anteras que producen gran cantidad de polen que maduran antes que los óvulos.^{9,10,18,33,44}

El ovario es un órgano que tiene una sola cavidad formada por varios carpelos; estilo cilíndrico y estigma tripartido u octapartido, que contiene numerosos óvulos antrópicos con funículos muy largos que cuando se desarrollan se tornan carnosos y forman una pulpa azucarada y jugosa con semillas, cubierta de una cutícula cerosa de varias capas (cáscara) con excrecencias pilosas (espinas, ahuates, cerdas, borra), la cual se describe a continuación.^{9,10,18,33,44}

FRUTO: Es una baya unicolor polisperma y carnosa llamada tuna de forma ovoide o esférica entre los 8-12 cm. de longitud, donde el color de la pulpa y cáscara que contiene ahuates con espinas que varían en función de la especie y grado de madurez. En el caso de *O. ficus indica* L. Miller, el tamaño de las tunas oscila de los 8-10 cm., la coloración de la pulpa es ámbar-anaranjado y la cáscara es verde cuando esta inmadura para posteriormente tornarse a amarillo-naranja cuando el fruto ha madurado.^{9,10,18,33,44}

4.1.4 Condiciones fisiográficas.

El nopal crece bien en suelos con pH alcalino, temperaturas entre los 18°C y 26°C y altitudes de 800 msnm. hasta 2500 msnm., aunque se ha encontrado que el nopal también puede crecer en lugares con temperaturas inferiores o superiores a las mencionadas y altitudes comprendidas entre los 2 msnm. y 2675 msnm.⁴⁴

4.1.5 Distribución en México.

Los nopales silvestres se han extendido hacia el norte y sur del país, lo cual ha sido provechoso por los habitantes de esas regiones que los consumen, sin embargo actualmente existen especies de nopal que son más preferidas entre los mexicanos como: el nopal tapón (*Opuntia robusta*) y sus diferentes variedades, el nopal cardón (*O. streptacantha*), el nopal rastrero (*O. rastrera*), el nopal duraznillo (*Opuntia leucotricha*), el nopal Chavero (*O. hyptiancantha*) y el nopal verdura (*O. ficus indica* L. Miller) que es la especie con mayor demanda y que se cultiva en los estados de San Luis Potosí, Oaxaca, Jalisco, Puebla, Michoacán, Aguascalientes, Baja California, Zacatecas y Distrito Federal.^{18,33}

4.1.6 Países que cultivan nopal verdura.

Únicamente son dos los de mayor importancia: México, que cuenta con 10 000 ha. en plantaciones y Estados Unidos de América (E. U. A.), con 100 ha. cultivadas en los estados de Texas y California. Las

variedades que se cultivan en México pertenecen principalmente a los género *Opuntia* y sólo dos ó tres variedades del género *Nopalea* los cuales a pesar de tener una cutícula más gruesa y pocos ahuates con espinas que facilitan su desespinado no tienen mejor sabor que los nopales del género *Opuntia*, siendo esto una ventaja competitiva para México contra E.U.A donde se cultivan especies de nopales con menor número de espinas y cantidad de mucílago.^{9,10,18,33}

4.1.7 Producción y superficie cultivada de nopal en México.

En México, los cultivos de nopal ocupan poco más de 210 mil ha., de las cuales 150, 000 son para forraje, 50, 000 ha. para tuna; 10 400 ha. para nopal verdura y 100 ha. para producir grana de cochinilla. (Flores, 1994).¹⁶

En la producción de nopal verdura participan 18 Estados de la República Mexicana con 10, 500 ha. de superficie de cultivo y una producción anual de 575, 575 ton., de los cuales, Milpa Alta, D.F., pues participa con el 71.4% de la superficie de cultivo y el 78.2 % de la producción nacional, seguida por el Estado de Morelos con 4.3 % de la superficie de cultivo y el 5.5% de la producción nacional. El consumo aparente de nopal es 6.35 kg. por habitante al año (Flores, 1994).^{16,18,33}

4.1.8 Características biológicas, químicas y nutricionales del nopal verdura (cladodio).

Los nopales tienen pH = 4.60 y son considerados como órganos suculentos de los brotes tiernos de las pencas de nopal, que no son hojas sino tallos aplanados llamados cladodios de color verde opaco con areolas que contienen ahuates y espinas, pero que durante sus primeras etapas de crecimiento están presentes vestigios de hojas verdaderas subtendidas por espinas donde las hojas usualmente empiezan a caer cuando los nopales alcanzan su tamaño comercial (Cantwell, 1995).^{2, 9,10,18,33,44}

Los nopales poseen una epidermis integrada por una capa de células epidérmicas y de 6 a 7 capas de células hipodermales de pared celular muy gruesa, ayudando al cladodio a: 1) regular el movimiento del dióxido de carbono hacia su interior y exterior, 2) retener el agua para evitar su insolación y 3) protegerlo del ataque de hongos, bacterias, insectos y otras plagas (Mauseth, 1984, citado por Sudki, 1995).^{9,18,38,44}

La parte más externa de la epidermis del nopal es una cutícula de grosor de 8-20 µm que está formada por capas de cutina, que es una sustancia blanca lipóide formada por una mezcla de ácidos grasos que se

polimerizan espontáneamente en presencia de oxígeno para formar una consistencia cerosa que ayude al nopal a repeler el agua (Sudki, 1995), minimizar la transpiración del vapor de agua hacia el medio, reflejar gran parte de la radiación solar para mantener baja su temperatura y protegerlo del ataque microbiano (Gibson y Nobel, 1986, citados por Sudzuki, 1995).^{9,18,33,38,44}

El análisis proximal que es: Porción comestible (0.78%), Energía kcal (27%), Materia seca (7.6), Humedad (90-93%), Proteína (1-2%), Lípidos (0.2-0.4%), Fibra cruda (1.1-1.5%), carbohidratos totales (4.5%), cenizas (1.1-1.3%), Calcio (1%), Hierro (1.6 mg/100g), Fósforo (21 mg/100g), vitamina C (10-15 mg/100 g), vitamina A (50-70 UI), Tiamina (0.02 mg/100g), Riboflavina (0.06mg/100g), Niacina (0.44 mg/100g) (Feitosa-Tales et. al., 1984; Rodríguez-Félix y Cantwell, 1998), nos permite conocer que el nopal al tener un alto contenido de humedad es un alimento susceptible al ataque de los microorganismos que afectan su conservación, pero que ofrece grandes beneficios a la salud del consumidor los cuales serán mencionados más adelante.^{9,18,33,39,42,44,48}

El porcentaje de aminoácidos en 100 g de peso neto de Nopal es el siguiente: Lisina (4.00%), Isoleucina (4.00%), Treonina(4.8%), Valina (3.80%), Leucina (5.20%), Triptófano (0.80%), Metionina (0.70%) y Fenilalanina (5.40%).^{18,20,33,44}

Otros componentes químicos del nopal son: ácidos orgánicos, saponinas, sustancias pécticas, gomas y mucílagos de los cuales sólo serán descritos los de mayor relevancia comercial a continuación.^{18,21,30,31}

a) Gomas: son polisacáridos producidos de las exudaciones provocadas por alguna lesión física o el ataque de insectos en el nopal, y están formados por una parte de ácido galacturónico, 6 partes de L-arabinosa, 2 partes de D-xilosa, 3 partes de galactosa y trazas de L-ramnosa (Revista de tecnología de alimentos, 1993).^{18,21,30,31}

b) Mucílago: es un polisacárido ácido viscoso, complejo e indigerible que posee una estructura ampliamente ramificada con unidades de galactosa con enlaces β (1-3), en el carbono 6 de ácido galacturónico, D-galactosa, D-xilosa y L-Ramnosa en la forma piranosa y unidades L-Arabinofuranosa (Gibson y Nobel, 1986; citados por Sudzuki, 1995) que se encuentra contenido dentro de grandes células vesiculares de los parénquimas.^{18,21,30,31}

La fórmula molecular que se dedujo con microscopía electrónica por Mayer y Trachtenberg (1981) para este compuesto es $(\text{CH}_2\text{O})_n$, ya que está formado por C (42.57%), H (6.31%), O (51.2%), Ca (0.22%) y Mg (0.013%), sin presentar proteínas y aminoácidos en su composición. El mucílago presenta un $\text{pK} =$ de 4.8 determinado por titulación al purificarlo y un peso molecular de 46 g.^{18,21,30,31}

El mucílago tiene como función retener el agua en el nopal y puede ser modificada por: el pH de la célula, la presencia de azúcares y/o las diferentes concentraciones de cationes como el calcio que están en una relación igual a 1, respecto a las características de hidratación y deshidratación.^{9,18,21,30,31,33,44,48}

Las gomas y mucílagos (conocidos como la baba del nopal) a pesar de ser componentes característicos causan problemas en la conservación, procesamiento, estabilidad y aceptación del producto por parte del consumidor.^{18,21,30,31,}

c) Pectina: en el nopal está presente en (1.91% B.H.) y (13.84 % B.S.), de la que (0.097% B.H.) y (3.56% B.S.) es protopectina y (1.418% B.H.) y (10.28 B.S.) es pectina soluble. La pectina tiene gran importancia comercial en la industria alimenticia en la elaboración de geles mediante la adición de sales de calcio, que se utilizan para elaborar productos lácteos, confitería etc., de buena calidad, de ahí que el nopal se considere como una muy buena alternativa como fuente de extracción de este compuesto.^{18,21,30,31}

Las posibilidades de unión de las moléculas pécticas y su conversión en protopectina insoluble fueron mencionadas por Pallman (1944) y propuestas inicialmente por Neukon et al., (1949), citadas por Doesburg (1965), y discutidas por Joslyn (1962), pudiendo resumirse en los siguientes puntos:^{18,21,30,31,33}

1° Enlaces covalentes entre las moléculas pécticas y otros constituyentes celulares (especialmente hemicelulosas), y una asociación de otros polímeros celulares mediante enlaces secundarios.^{18,21,30,31}

2ª Puentes de hidrógeno entre poligalacturónidos y otros componentes.^{18,21,30,31}

3° Uniones entre cationes divalentes especialmente Ca^{2+} y las funciones ácidas que producen la insolubilización de las sustancias pécticas poco esterificadas y una reducción en el aumento de las altamente esterificadas.^{18,21,30,31}

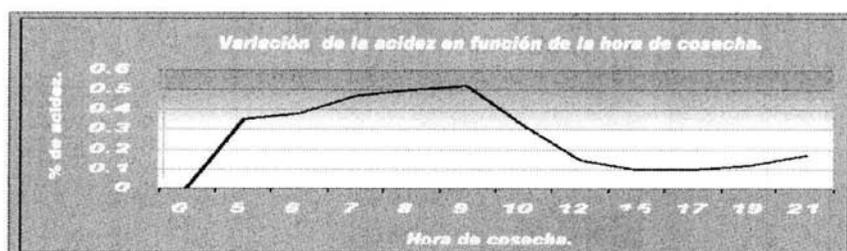
4° Un entramado físico-mecánico entre las macro moléculas pécticas o con otros polímeros de la célula.

4.1.9 Acidez y comportamiento metabólico del nopal.

El nopal es una planta que sigue el metabolismo del ácido crasuláceo (MAC), es decir que al efectuar la fotosíntesis de día, absorbe el CO_2 y lo fija en forma de ácido málico durante la noche en donde la temperatura es baja, la pérdida de agua es mínima y los estomas se encuentran abiertos, ocurriendo la degradación del almidón por glucólisis hasta fosfoenol piruvato (PEP) para reaccionar con el CO_2 absorbido y formar el oxalacetato que es reducido a ácido málico y se acumula en las vacuolas de las células del tejido parenquimático pudiendo alcanzar una concentración de 0.3 M o más hasta que sale el sol, de ahí que los nopales sean más ácidos por la mañana que por la tarde y al final del día, pues en estos dos últimos casos el ácido málico se fija para convertirse en carbohidratos (Feitosa-Teles et al. 1984, citado por Cantwell, 1995).^{2,9,18,21,30,31,33,39,44}

La acidez del nopal esta dada por: ácido málico (84%), ácido cítrico (15%) y ácido malónico y fórbico en un (1%) (Feitosa-Teles et al. 1984, citado por Cantwell, 1995), la cual presenta variaciones entre (0.1-0.6% de acidez titulable) dependiendo de la hora en que se coseche (Ver Figura 1) por el metabolismo del ácido crasuláceo (MAC).^{2,9,18,21,30,31,33,39,44}

Figura 1. Variación de la acidez en función de la hora de cosecha.



Fuente: Cantwell, 1998.

La acumulación del ácido málico hace muy negativo el potencial osmótico de las células epidérmicas de manera que los nopales puedan absorber más agua y almacenarla aún cuando se encuentren en suelo salino o con poca humedad, pues con la luz del día el ácido málico se difunde pasivamente hacia fuera de las vacuolas y se descarboxila liberando CO_2 , el cual se concentra mucho en las células y se vuelve a fijar al reaccionar con la ribulosa 5-fosfato para formar dos moléculas de ácido fosfoglicérico, que inician las

al reaccionar con la ribulosa 5-fosfato para formar dos moléculas de ácido fosfoglicérico, que inician las reacciones del ciclo de Calvin y conducen a la formación de azúcares como: glucosa, sacarosa, almidón, entre otros productos fotosintéticos (Salisbury y Ross, 1994; Smith y Word, 1998), gracias a la disponibilidad de la energía luminosa en el nopal, a pesar de que los estomas en él se encuentren cerrados para evitar la pérdida de agua por transpiración.³⁰

El mecanismo de control del MAC se basa en la degradación de los polisacáridos mediante la luz del día quien determina la actividad o inactividad de las enzimas involucradas en los diferentes procesos de degradación por un control de retroalimentación “feed-back” en el que una elevada concentración de sustratos inhibe alostéricamente las enzimas.³⁰

El efecto buffer producido en el nopal por alguno o varios ácidos orgánicos o bases débiles como la piridina no ha sido muy estudiado, aunque se ha encontrado que los nopales cosechados por la mañana tienen este efecto más prolongado dentro de región ácida que los nopales que son cosechados por la tarde.³⁰

4.1.10 Comportamiento fisiológico del nopal.

Los nopales tienen una tasa de velocidad de respiración moderada, pues a 20°C presentan un coeficiente de respiración de 25 $\mu\text{L CO}_2/\text{g-h}$ y una producción de etileno de 0.2 $\text{nL C}_2\text{H}_4/\text{g-h}$ (Cantwell et al., 1992), sin presentar cambios significativos en dichos valores, a no ser que haya un aumento de temperatura durante su almacenamiento o a que el producto sea lesionado.^{2,39}

Las tasas de respiración de los nopales de 10cm de longitud son 25-50% más altas que las tasas de producción de CO_2 , en comparación de los nopales más desarrollados (20 cm de longitud) que presentan el metabolismo MAC más activo, lo cual ocasiona que los nopales de 10cm de longitud tengan contenidos de acidez más bajos.^{2,9,39}

El nopal recién cosechado no muere por lo que sus procesos biológicos, fisicoquímicos y fisiológicos de la maduración continúan. La maduración es un proceso normal no reversible que se limita a la senescencia del producto mediante los cambios bioquímicos por: el rompimiento celular, la muerte de los tejidos, altas temperaturas de almacenamiento, entre otros factores que serán discutidos más adelante.^{2,9,18,38,39}

Al inicio del almacenamiento del nopal tenemos que el sustrato metabólico es la glucosa de ahí que el coeficiente respiratorio sea < 1 , en cambio cuando el coeficiente respiratorio = 1 ocurre la hidrólisis de biopolímeros que suministran los azúcares necesarios para su energía y cuando el coeficiente respiratorio > 1 tenemos que la energía del nopal es aportada por los ácidos orgánicos.^{15,38}

Los requerimientos de oxígeno al inicio del almacenamiento del nopal tenemos que son iguales a los del CO_2 liberado, pero luego estos requerimientos aumentan (coeficiente respiratorio < 1) y posteriormente se emparejan nuevamente con los requerimientos iniciales por un periodo breve de tiempo, ya que se repite esta variación cuando el nopal está próximo a su deterioro o cuando aumenta su temperatura de almacenamiento, que ocasiona un incremento en la presión de vapor que se acompaña con un desplazamiento hacia la producción de almidón del equilibrio almidón-azúcar y una disminución de la humedad relativa de la atmósfera exterior al producto provocando que el cociente respiratorio también aumente, en cambio si la temperatura disminuye el equilibrio almidón-azúcar se desplaza hacia la producción de azúcar y la humedad relativa externa a la atmósfera del producto se mantiene estable.^{15,38}

4.1.11 Grados de calidad.

De acuerdo a la NMX-FF-068-1988 tenemos que las características más importantes de calidad del nopal con espinas son aspecto: sano, entero, bien formado, color verde claro brillante, uniformidad en consistencia, madurez y tamaño, además de presentar frescura, sabor y olor característico a su especie y variedad, sin presentar: humedad exterior, descomposición o pudrición y defectos de origen mecánico, entomológico, microbiológico, meteorológico, genético, fisiológico, u otros.^{24,33}

Los nopales se clasifican con base a los defectos mencionados en la Tabla 1 y los tamaños mencionados en la Tabla 2:

Tabla 1. Clasificación de los nopales de acuerdo al tipo de defectos.

Tipo de defecto	Calidad		
	México extra	México 1	México 2
Menor	No se permite	Se permite	Se permite
Mayor	No se permite	No se permite	Se permite
Crítico	No se permite	No se permite	No se permite

Fuente: NMX-FF-068-1988.

Entendiéndose por:

- a) Defecto menor a aquel que afecta realmente la apariencia y calidad de consumo o calidad de mercado del cladodio, ejemplos:

Daños por plagas y pájaros que afecten máximo un 5% de su superficie, ataques microbianos que provoquen ligeros engrosamientos, daños por heladas y granizo que afecten máximo un 7% su superficie, magulladuras máximo en un 5% de su superficie y malformaciones que alteren ligeramente su apariencia.^{24,33}

- b) Defecto mayor a aquel que afecta seriamente la apariencia y calidad de consumo o calidad de mercado del cladodio, ejemplos:

Daños por plagas y pájaros que afecten máximo un 10% de su superficie, ataques microbianos que provoquen mucho engrosamiento, daños por heladas y granizo que afecten máximo un 12% su superficie, magulladuras máximo en un 10% de su superficie y malformaciones que alteren de forma evidente su apariencia.^{24,33}

- c) Defecto crítico como aquel que afecta muy seriamente la apariencia y calidad de consumo o de mercado del cladodio, ejemplos:

Daños por plagas y pájaros mayor a un 10% de su superficie, ataques microbianos que provoquen graves engrosamientos, daños por heladas y granizo que sean mayores a un 12% su superficie, magulladuras mayores a un 10% de su superficie y malformaciones que alteren de forma seria su apariencia.^{24,33}

Tabla 2. Clasificación del nopal respecto a su tamaño.

Tamaño	Longitud (cm)
A	25-30.0
B	21-24.9
C	17-20.9
D	13-16.9
E	9-12.9

Fuente: NMX-FF-068-1988.

Por su parte, la Norma Codex Stan 185-1993 (Codex Alimentarius-FAO) establece que los nopales deben estar libres de espinas, daños por las bajas temperaturas de almacenamiento, manchas, olores y/o

sabores extraños, mediante el establecimiento de los niveles de tolerancia de calidad y tamaño que guardan cierta similitud con la Norma Mexicana, pero con la diferencia de que la Norma Mexicana especifica diferentes niveles de tolerancias para el nopal en función del punto de inspección, punto de embarque y punto de arribo y brinda información relacionada con el material y la capacidad de fabricación de los diferentes tipos de envases que comúnmente se utilizan durante su transporte y comercialización, en cambio la Norma Codex publica: a) un apartado completo sobre higiene y residuos tóxicos de pesticidas y metales pesados, b) información relacionada con el muestreo, toma de muestra y método de prueba para el nopal que no son tratados en la Norma Mexicana y c) recomendaciones y sugerencias para el material de empaque del nopal, el cual debe ser nuevo, limpio y de composición fisicoquímica adecuada, para que no cause ningún daño interno ni externo al producto.^{12,33}

4.2 IMPORTANCIA DEL NOPAL.

4.2.1 Aportaciones a la economía.

El cultivo del nopal favorece la generación de empleos y diversos productos que al comercializarse a nivel nacional como en el extranjero producen mayores ingresos a la economía del país sin dañar a la ecología, pues se sabe que el nopal ayuda a conservar el suelo en áreas susceptibles de desertización.^{9,10,16,18,28,33,44}

4.2.2 Beneficios socioeconómicos.

El cultivo del nopal verdura ha permitido mejorar la economía de las comunidades dedicadas a dicho cultivo por ser un producto de calidad nutricional comercializado a precios razonables, además de la rentabilidad del propio cultivo, ya que la cosecha del producto tiene lugar durante todo el año. lo cual propicia el arraigo de las comunidades en las regiones productoras.^{9,10,16,18,28,33,44}

4.2.3 Importancia, usos y productos.

El nopal es considerado como un recurso de gran valor económico para México el cual ha sido utilizado tradicionalmente como: cerco de huertos familiares, fijador de pinturas, agente clarificante de agua, adherente para encalados (Corrales, 1992) y para elaborar los siguientes productos:^{9,10,16,18,33,44}

a) Alimentos como: salmueras, escabeches, sopas, ensaladas, tacos, asados, guisados, vinagretas, panes, gelatinas, helados, dulces, pasteles, mermeladas y bebidas.^{9,10,16,18,33,44}

b) Cosméticos: donde el nopal es un ingrediente de la formulación y no un elemento base de jabones, geles, cremas, lociones, mascarillas, humectantes, shampoos etc. .^{9,10,16,18,33,44}

c) Medicamentos: la primera noticia sobre el uso medicinal de una cactácea la brinda Fernández de Oviedo y Valdés dentro de la obra "De la natural historia de las Indias", en 1535 quien relata el empleo de un *Cereus* para el tratamiento de huesos rotos entre los antillanos. Los indígenas de México usaban las pencas del nopal sin espinas y asadas como: a) apósito caliente para aliviar los dolores musculares e inflamaciones y b) emplasto para mitigar dolor de muelas y cicatrizar las heridas.^{9,10,16,18,33,44,45}

El nopal sin procesar tiene propiedades curativas de lo más variadas ya que por ejemplo: combate el exceso de colesterol en la sangre e impide el aumento en los niveles de glucosa en sangre (lo cuál convierte al nopal en auxiliar eficaz para el tratamiento de la diabetes); estimula la circulación y por su alto contenido en fibra optimiza el funcionamiento del sistema digestivo, etc., de ahí que últimamente hayan surgido industrias fabricantes de harina de nopal para la elaboración de cápsulas y comprimidos con propiedades medicinales, que a juicio de algunos médicos el efecto de estos productos no es tan efectivo como el ingerir al nopal natural, en virtud de que su procesamiento no es el adecuado pues se destruyen los principios activos naturales o a que la cantidad ingerida bajo el esquema de las cápsulas resulta ser tan baja respecto al principio activo requerido por una posible dilución del principio activo.^{18,43,44,45}

d) Artesanías: mediante la deshidratación empírica de las pencas para obtener una base fibrosa adecuada para fabricar artesanías con colores vistosos que tienen potencial como artesanías regionales de algunas zonas del Estado de México e Hidalgo (Corrales, 1992).⁹

e) Productos de la industria extractiva y biotecnológica: de acuerdo con Colín (1976) citado por Corrales (1992) del nopal se pueden obtener productos como mucílagos, celulosa, colorantes y azúcares que se emplean para la elaboración de proteína unicelular, alcohol y aguardiente.^{9,10}

4.2.4 Exportación.

A finales de los años setenta se inician las exportaciones de nopal a los E.U.A., orientadas a población de origen mexicano inmigrante durante los meses de invierno debido a que cesa la producción de nopal de California y de Texas.³³

En cambio, en los años ochenta comenzó: a) la producción de nopal en Baja California y la Huasteca Potosina para abastecer el mercado californiano y texano y b) la exportación de nopal procesado en salmuera o en escabeche hacia Canadá y países europeos.³³

Actualmente se exportan alrededor de 3,500 ton. a E.U.A. y Canadá y unas 500 ton. a Europa, incorporándose Chile a partir de los años noventa como exportador en pequeña escala de nopal en fresco hacia los E.U.A.³³

El mercado internacional de nopal se efectúa en fresco con 2.5 millones de dólares y procesado con 7.5 millones de dólares por lo que el tamaño actual del negocio es de unos 10 millones de dólares, de los cuales el nopal en fresco tiene poca significación respecto al nopal procesado.³³

El nopal se exporta fresco o procesado en diferentes formas (Morales, M., 1992 y Flores V., 1992a) como se describe a continuación:

- a) Nopal fresco con espinas: que es exportado casi todo el año principalmente por productores del norte del país como Baja California y Zacatecas, aunque en invierno que es cuando baja la producción se tiene la participación de comerciantes de la Central de Abastos de la ciudad de México en dicha actividad.^{16,33}
- b) Nopal fresco desespinado: el nopal se desespina y/o pica en trozos pequeños en las ciudades fronterizas (Tijuana, Baja California y Reynosa, Tamaulipas) con mano de obra barata, para posteriormente colocarlo en bolsas de polietileno que serán distribuidas mediante camiones refrigerados a los distintos supermercados de ciudades como: Los Ángeles California, Houston, Dallas, Texas, etc.^{16,33}
- c) Nopal procesado en Salmuera o escabeche: que es realizado por gran cantidad de empresas, ya que se trata de productos con demanda comercial que tienen una vida de anaquel larga, pero que tienen que cumplir con las normas sanitarias y arancelarias de los países destino.^{16,33}
- d) Nopal precocido y congelado: recientemente cuando menos dos empresas han comenzado a preparar al nopal precocido y congelado, empacándolo en bolsas de polietileno para posteriormente venderlo tanto a nivel nacional como al extranjero.^{16,33}

- e) Mermelada de nopal: que se realiza en cantidades muy pequeñas, debido a que su color y viscosidad tiene poca aceptación en el mercado.^{16,33}

4.3 OPERACIONES POSTCOSECHA DEL NOPAL VERDURA.

4.3.1 Cosecha del nopal.

La producción de nopal verdura tiene lugar durante todo el año con fluctuaciones a la baja en invierno debido a las bajas temperaturas que promueven la aparición de las heladas las cuales disminuyen aún más la producción ocasionando el alza de su precio, a diferencia de los meses calurosos donde la producción es mayor y por ende el precio del producto es bajo.^{9,16,18,33}

La cosecha de nopal se realiza generalmente por la mañana en forma manual, cubriéndose las manos con guantes de cuero o tela gruesa y se realiza mediante dos modalidades (Corrales, 1992; Agricultores de nopal originarios de la delegación Milpa Alta, D.F., 2003):^{9,18,33}

a) Corte manual: el cosechador toma con la mano al nopal de su parte inferior y le da un giro de más de 90°C hasta desprenderlo de la penca madre, por lo que si esta operación no se realiza adecuadamente los tejidos pueden desgarrarse dejando porciones de cladodio en la penca madre pudiendo ocasionarle un peligro de infección.^{9,18,33}

b) Corte auxiliado de cuchillo, aquí el cosechador sostiene al nopal con una mano y con la otra realiza el corte con el cuchillo a nivel de la base logrando así una separación más uniforme y completa sin ocasionarle desgarres al tejido que dejen residuos a la penca madre, sin embargo esta forma de cosecha no es muy practicada por lo agricultores de Milpa Alta debido a que es lenta.^{9,18,33}

La cosecha del nopal se realiza principalmente de acuerdo a los requerimientos del cliente y en base a los tres tamaños más comerciales: chico (cambray) de 8-11 cm, mediano de 12-16 cm. y grande 17-23 cm., aunque en época de sequías, granizadas y heladas los agricultores también suelen cosechar y comercializar las "armadas" que son cladodios gruesos de color verde cenizo con lesiones o malformaciones en su estructura ocasionados por elementos naturales como: heladas, granizadas, plagas, etc., para eliminarlas de la planta y así obtener nuevamente la brotación de cladodios sanos y de buena calidad.^{9,18,33}

4.3.2 Acomodamiento y empaque.

Una vez realizada la cosecha, los nopales son llevados a los mercados locales sin ningún tipo de acondicionamiento, a menos que se comercialicen a mercados más distantes donde únicamente se les resguarda del sol y se les acomoda en los recipientes o unidades de transporte de acuerdo a lo siguiente (Corrales, 1992; Agricultores de nopal originarios de la delegación Milpa Alta, D.F., 2003):^{18,33}

- a) Canastos o colotes: para su comercialización en mercados locales y de estados cercanos al D.F.^{18,33}
- b) Costales o bolsas de polietileno: cuando su comercialización se realiza a los diferentes mercados del D.F. mediante transporte público y su tamaño están en función principalmente de la cantidad a comercializar.^{18,33}
- c) Pacas: surgieron a mediados de la década de los setenta en forma cuadrada aunque actualmente son cilíndricas y verticales con 1.6 a 1.75 m. de altura y 0.7-0.8 m. de diámetro las cuales permiten comercializar hasta por tres días grandes cantidades de nopal a la Central de Abastos y mercados urbanos o aledaños al D.F.^{18,33}
- d) Cajas de madera o cartón: son utilizadas para comercializar el nopal de una forma a distintas partes de la república y algunos regiones de E.U.A. con una capacidad de 10-15 kg., no obstante el uso de las cajas de plástico con aberturas (taras) ha ido incrementándose durante la distribución y comercialización del producto debido a que son más resistentes y duraderas que las cajas de madera o cartón.^{18,33}
- f) Peroles, botes y cubetas de plástico: son usados en los mercados locales, donde en el caso de los botes y cubetas de plástico hay una mayor diversidad de tamaños para la comercialización de pequeñas cantidades de nopal, a diferencia de los peroles (botes de metal), los cuales a pesar de tener un poco más de capacidad que los canastos, son usados solamente por unos cuantos agricultores a pesar de que duran más debido a que son más incómodos para transportar que el canasto.^{18,33}

En menor proporción se puede observar que algunos pequeños productores de nopal de la delegación de Milpa Alta optan por acomodar su producto directamente en las carretillas para comercializarlo en el mercado local, donde también algunos de los compradores lo acomodan en la carrocera de sus camionetas o en la cajuela del coche para comercializarlo en los mercados y zonas aledañas al D.F. (aportación

realizada por los Agricultores de nopal originarios de la delegación Milpa Alta, D.F., durante la visita de campo realizada en el 2003).

El medio de transporte del nopal ya empacado consiste principalmente en: a) Camionetas de distintos tonelajes y trailers: para grandes comerciantes y b) autos y transporte público para: pequeños comerciantes. (aportación realizada por los Agricultores de nopal originarios de la delegación Milpa Alta, D.F., que se entrevistaron en la visita de campo realizada en el 2003).

4.3.3 Comercialización del nopal desespinado y cortado.

Otra de las formas de comercializar el nopal en el D.F. es: a) en fresco, desespinado y entero o desespinado y cortado en cuadros o tiras, b) desespinado, cortado y cocido y c) desespinado, picado, pero como ingrediente en diversos guisados, aunque últimamente se comercializan nopales desespinaos, picados y en vinagreta en los centros comerciales como: Wall-Mart Super Center.^{2,10,33,34}

En algunos estados del norte de México como Coahuila el nopal únicamente se desespina y corta en rombos de 1x2 cm, en cambio en Sonora el nopal se vende limpio, picado y cocido (Flores, 1995).¹⁶

Aunque debido a que el nopal fresco y desespinado únicamente se refrigera en los centros comerciales durante su comercialización, algunos productores han comenzado a distribuir al nopal desespinado en bolsas de polietileno o charolas de PVC recubiertas con películas de polietileno, para conservar al producto con buena calidad por más tiempo, ya que esta presentación resultan más práctica de utilizar tanto para las amas de casa como para los restaurantes.^{2,10,33,34}

4.3.4 Factores de deterioro del nopal.

El nopal es un producto muy perecedero porque presenta procesos degradativos acelerados e irreversibles debido a lesiones físicas como las rasgadas de tejido producidas por un mal corte, lo cual hace que este quede expuesto al medio ambiente y sea más fácil de infectarse por microorganismos, lo cual se favorece aún más con el desespinado ya sea manual o mecánico, debido a que se elimina su epidermis que actúa como una barrera protectora natural contra los microorganismos causantes de la pudrición y el oxígeno que favorece la oxidación del producto.^{18,39}

Dentro de los principales microorganismos que causan la pudrición microbiana del nopal tenemos principalmente a *Penicillium* sp, *Alternaria* sp y *Bacillus* sp. (Ramayo-Ramírez et al 1978) y como factores de deterioro de origen abiótico a las altas y bajas temperaturas de almacenamiento, la baja humedad relativa y la aireación excesiva porque producen en el nopal desespinado: deshidratación, reblandecimiento, pardeamiento enzimático y alteración del color verde brillante por la migración del ión magnesio de la clorofila.⁹

4.4 TECNOLOGÍA POST-COSECHA DEL NOPAL EN LA INDUSTRIA ALIMENTICIA.

4.4.1 Origen de la tecnología post-cosecha.

La tecnología de la conservación tiene como objetivos: incrementar la vida útil, prevenir la rápida descomposición, mejorar y retener la calidad sensorial y nutricional de los productos alimenticios que son provistos al consumidor a un precio razonable, por lo que su aplicación requiere de conocer la naturaleza, composición bioquímica y fisiológica del producto, además de conocer los efectos de la aplicación de un método de conservación en el mismo.³⁸

La importancia comercial que ha adquirido el nopal ha promovido el desarrollo de diversas investigaciones en Instituciones dedicadas a la Investigación tanto nacionales como extranjeras para aportar datos que mejoren su conservación y procesamiento.^{9,32}

La investigación en fisiología y tecnología post-cosecha del nopal se inició hace 20 años aproximadamente, pero no había sido tan desarrollada debido a que en México gran parte de su comercialización ha sido siempre de manera improvisada y empírica, en virtud de que aún no se cuenta con información técnica suficiente para aplicar métodos de conservación prácticos y a bajo costo.⁹

4.4.2 Tecnología post-cosecha del nopal con espinas.

A continuación se describen brevemente algunas experimentaciones realizadas en el nopal con espinas:

Ramayo et al. (1978) citado por Rodríguez (1992) almacenó los nopales (*Opuntia* spp) a 10 °C con una humedad relativa entre el 80 y 85%, lo cual le permitió obtener una vida de anaquel de 30 días en el producto.¹⁸

Yabuta Osorio, Laura Elena Yoshiko (1988) realizó diferentes estudios en el nopal (*O. ficus indica*) y propuso los siguientes tratamientos: a) Inmersión en ácido ascórbico a 0.03%(p/v) en el área de corte, para posteriormente envolverlos en papel aluminio y periódico, empacándolos en costales a temperatura ambiente, lo cual le permitió obtener una vida de anaquel de 6-8 días. b) Aplicación de cera de candelilla a temperatura ambiente para evitar que el producto pierda: agua, textura y el color verde característico en un tiempo muy acelerado obteniendo una vida de anaquel de aproximadamente 14 días. c) Refrigerando al nopal a 10°C en el cual la vida de anaquel no es mayor a 8 días. d) Almacenamiento en congelación la cual no brindó una vida de anaquel óptima en el nopal debido a que pierde color y textura al ser descongelado. Por otro lado la autora también plantea que: si se usan películas plásticas para envasar el nopal, éste se deterioraría por el crecimiento de microorganismos como: hongos, levaduras y bacterias lácticas, al incrementarse la humedad del medio por la condensación del vapor de agua en agua líquida.^{28,38}

Guevara Arauza (2000) realizó a los nopales (*O. ficus indica*) una desinfección, preenfriamiento e inmersión en la zona del corte del nopal en ácido ascórbico 300 ppm, para posteriormente envasarlos en una bolsa llamada EMAM y almacenarlos en una atmósferas modificadas a 10°C con nivel máximo de CO₂ al 20%, debido a que esto le permitió lograr 32 días como vida de anaquel en el producto que reportó libre de riesgos a la salud del consumidor al no identificar microorganismos patógenos en las pruebas microbiológicas que realizó.²⁰

Las experimentaciones realizadas por estos autores permitieron conocer que se recomienda su rápida transportación y procesamiento en la metodología de conservación a fin de no alterar su eficiencia, además de que con el empleo de desinfectantes podemos disminuir la carga microbiana que se encarga de degradar al producto, pero también puede ser ventajoso aplicar un preenfriamiento antes de procesarlos para disminuir la velocidad de las reacciones de deterioro causantes del reblandecimiento, pardeamiento y del color verde olivo.

4.4.3 Tecnología post-cosecha en el nopal desespinado.

Dentro de las experimentaciones realizadas para su conservación en fresco tenemos que **Estrella Bolio (1977)** citado por Borbolla y Ayala (1987) encontró que al almacenar los nopales (*Opuntia* sp) por debajo de 10°C, estos presentan daños por frío y que los daños mecánicos efectuados durante el corte propiciaron su pudrición de ahí que autores como Borbolla y Ayala (1987) utilizaran una película plástica autoadherible de polietileno de baja densidad para formar paquetes con una atmósfera gaseosa modificada adecuada al producto, el cual al almacenarse en condiciones de refrigeración se logre también el efecto de una atmósfera controlada para retardar la senescencia del producto y así obtener una vida de anaquel de 15 días, porque se retardan: la respiración, formación de manchas de pardeamiento enzimático, los cambios de sabor, textura y color verde brillante a verde oliva en el nopal sin espinas en el que se ha encontrado que la operación del desespinado también causa un detrimento en la coloración del producto.^{18,28}

Cantwell et. al (1992) realizó un estudio comparativo de la fisiología post-cosecha de los nopales en diferentes estados de desarrollo y almacenados a diferentes temperaturas de refrigeración, encontrando que los nopales (*Opuntia* sp) mantenían su calidad visual hasta por tres semanas a 5° y 10°C y que los nopales menos desarrollados (10 cm de largo) mostraban fluctuaciones diurnas en su contenido de acidez durante su almacenamiento a temperaturas de 5°C y 10°C de refrigeración.^{2,9,18,39}

Cámara et al. (1992) realizó trabajos de conservación de nopal verdura (*O. punctata ficus indica*) en refrigeración a una humedad de 92%, desespínandolo manualmente, escaldándolo a 80°C por dos minutos y sumergiéndolo en una solución con 0.02% de bisulfito de sodio y 0.6% de ácido ascórbico, para posteriormente empaclarlo en bolsas de polipropileno y almacenarlo a una temperatura de 4°C, lo cual le permitió obtener una conservación del producto de 17 días, sin presentar daños por frío, oscurecimiento enzimático y una acumulación de mucílago excesiva en el empaque, ya que después de ese tiempo, el producto presenta cambios desagradables en su textura, sabor, color, acidez y liberación de mucílago.¹⁸

Rodríguez-Félix, Armida y Villegas-Ochoa, Mónica (1998) encontraron que los nopales desespínados y cortados al aplicarles una inmersión en ácido ascórbico, empacados en bolsas de polietileno de baja ó alta,

en condiciones a vacío y sin él, pero almacenados en refrigeración a 5°C, no presentan diferencias significativas en cuanto a su conservación, debido a que la vida de anaquel del producto se prolonga muy poco, por una liberación excesiva de mucílago, pardeamiento enzimático y reblandecimiento, dando una vida de anaquel de 9 días a una temperatura de 5°C.³⁹

Guevara Arauza (1998) encontró que al escaldar químicamente a 90°C por 5 minutos los nopales desespinaos y cortados (*O. ficus indica*) en soluciones como zinc, manganeso y alúmina de forma aislada o combinada, para posteriormente empacarlos en bolsas plásticas en condiciones a vacío y sin él y refrigerarlos a 4°C o congelarlos a -12°C, si es posible obtener una vida de anaquel de tres meses en el producto cuando este es escaldado químicamente mediante la combinación de sales de Mg1(100ppm)+Mn2(10ppm)+Zn1(100ppm) porque se conservan por más tiempo el color y textura del producto sin presentar manchas de pardeamiento enzimático, ya que el envasado a vacío realizado disminuye la cantidad de oxígeno en el envase y la refrigeración a 4°C no produce daños por frío al producto.¹⁹

Perez Navarrete (2001) evaluó el comportamiento de los nopales (*O. spp*) irradiados con rayos gamma de cobalto 60 a dosis de 1.5 kGy y 2.0 kGy, envasadas con y sin nitrógeno para disminuir: la actividad de las enzimas responsables del deterioro enzimático y la flora microbiana presente en el producto, obteniendo una vida de anaquel de 20 días debido a que aunque la cantidad de microorganismos disminuye, el nopal se deteriora por deshidratación, reblandecimiento y cambios en su coloración.²⁹

Larios Medrano y Parra Rodríguez (2003) dieron a conocer que la deshidratación por liofilización resulta ser una muy buena alternativa para conservar por tiempos prolongados a temperatura ambiente al nopal (*O. ficus indica* L. Miller) con sus propiedades organolépticas, biológicas y nutricionales de forma inalterada, sin encontrar aún el tiempo óptimo para liofilizar el nopal.³⁴

4.5 PROCESAMIENTO MÍNIMO

4.5.1 Definición y origen.

Los alimentos mínimamente procesados son los que han sido cosechados, lavados, cortados, posiblemente escaldados y almacenados a bajas temperatura para prolongar la retención de: su frescura, calidad

sensorial y nutricional durante su consumo mediante su distribución en condiciones controladas (Avena, 1996).^{18,27}

Kerbel (1992) menciona que el procesamiento mínimo es una industria que apenas crece, debido a que son productos listos para consumirse o para cocinarse lo cual resulta atractivo para las amas de casa, restaurantes y cadenas comerciales, de ahí que cada vez más se necesiten mejores técnicas de envasado, manipulación y distribución en estos productos para evitar la aparición de los defectos de calidad por los daños físicos causados a los tejidos durante operaciones como el pelado y rebanado y la presencia de microorganismos patógenos y de pudrición en el producto.¹⁸

4.5.2 Factores que alteran la calidad de los productos mínimamente procesados.

Durante el pelado y rebanado hay una mayor exposición de los tejidos hacia el oxígeno favoreciendo las condiciones oxidantes, producción de etileno e incremento de la tasa respiratoria que aceleran la actividad enzimática, microbiológica y metabólica en el producto; sin embargo los daños en las células de los tejidos estructurales por estas operaciones también hacen que el producto presente reblandecimiento, pérdida del color, sabores y olores desagradables, por la liberación hacia el exterior de los líquidos intracelulares que contienen:^{3,4,11,1518,27,37}

- a) Iones metálicos como el ión magnesio que esta presente en la clorofila.^{4,15,18,27}
- b) Nutrientes que pueden servir de alimento a los microorganismos causantes de la pudrición o sustratos que promueven las reacciones enzimáticas de degradación por enzimas como: pectinasas, peroxidasas, clorofilasas, polifenoloxidasas las cuales serán detalladas más adelante^{4,15,18,27}
- c) Ácidos orgánicos que incrementen el sabor ácido del producto.^{4,15,18,27}

4.5.2.1 Pardeamiento enzimático

Es de tipo oxidativo y es catalizado por varias enzimas con sus respectivas isoenzimas que provocan la aparición de manchas oscuras o pardas en la mayoría de frutas y verduras no muy ácidas como la papa, nopal, manzana, plátano, durazno, tabaco, té, café, chícharo, aguacate, etc cuando sus tejidos han sufrido daños físicos y han sido expuestos al oxígeno, pues en las células intactas del fruto o vegetal hay un

microambiente anaeróbico y una separación de la enzima y sustrato al encontrarse en compartimientos celulares separados lo cual inhibe el mecanismo de reacción.^{3,4,7,11,8,15,18,19,20,27,37,38,50}

Las enzimas que catalizan esta transformación pertenecen a las oxidoreductasas E.C. 1.10.3.1 y se conocen con diferentes nombres: fenoloxidasas, tirosinasas, catecolasas, polifenoloxidasas, polifenolasas, fenolasas etc. tendiendo como sustratos compuestos insaturados con estructuras de monofenoles o de o-difenoles entre los que se destacan la tirosina en la papa, los flavonoides y los taninos en el café y el cacao, las antocianinas en diversas frutas, el ácido clorogénico en la manzana y pera, el ácido cafeico, la 3,4-dihidroxi-fenilalanina (L-dopa), la dopamina, el p-cresol, la adrenalina, la catequina o catecol etc. Los m-difenoles como el resorcinol, no participan, y actúan como inhibidores competitivos de la reacción, al igual que los derivados metílicos del fenol como el guayacol.^{3,4,7,8,15,18,27,37,50}

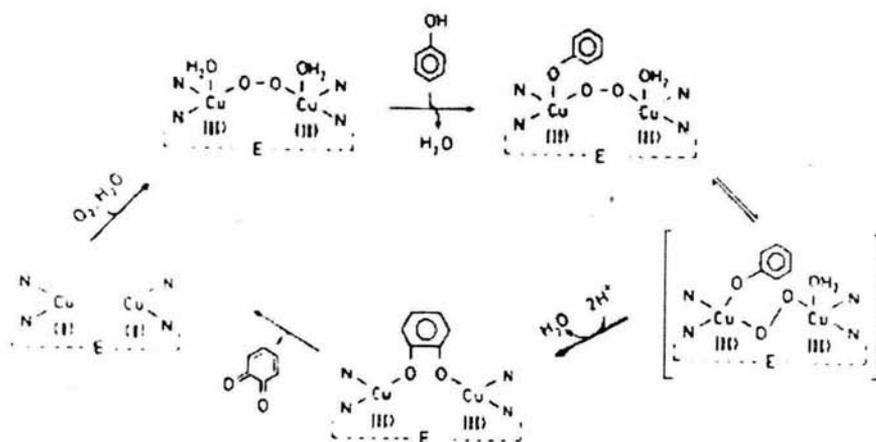
Las enzimas causantes del pardeamiento enzimático tienen estructuras oligoméricas en las que cada monómero contiene su cofactor correspondiente pero requiere de iones cobre como cofactor ya sea en estado monovalente como ocurre en el champiñón o divalente como ocurre en las de las papas, para presentar cualquiera de los dos tipos de actividad catalítica que se llevan a cabo en las reacciones de pardeamiento y son: a) hidroxilación de los sustratos monofenoles en posición orto para producir difenoles o fenoles orto-hidroxilados en presencia de oxígeno que actúa como aceptor de iones hidrógeno y b) la oxidación de los difenoles previamente formados en orto-quinonas.^{3,4,7,8,15,18,27,37,50}

La intensidad de una u otra actividad enzimática depende del sustrato, de tal manera que algunos productos que tienen orto-fenoles en estado natural no efectúan la hidroxilación, tal es el caso del catecol que siendo un difenol en orto, se transforma directamente a la correspondiente benzoquinona por acción de la polifenoloxidasas que tiene en su centro activo dos iones Cu^{1+} con un campo de ligandos que constan de dos restos de histidina.^{3,4,7,8,15,18,27,37,50}

El mecanismo que se efectúa se inicia cuando la enzima liga primero al oxígeno y luego al monofenol, por lo que se produce un cambio de valencia de los iones cobre (Cu^{1+} a Cu^{2+}), formándose un complejo en el que el enlace O-O está tan polarizado que se produce su hidroxilación a o-difenilo, para posteriormente formar las o-quinonas que se pueden polimerizar fácilmente para producir las correspondientes melaninas,

o interactuar con las hidroxiquinonas para formar igualmente polímeros coloridos sin la participación de la enzima sólo en función de las condiciones adecuadas de temperatura, pH, potencial de oxidación-reducción, etc. Las melaninas son los productos finales con estructuras químicas muy complejas por el resultado de la copolimerización de diversos compuestos, donde dependiendo de la intensidad de esta transformación, tenemos que las melaninas varían su color desde un ligero amarillo, café oscuro hasta el negro.^{4,15}

Figura 2. Mecanismo de la polifenoloxidasas.



Fuente: Belitz, 1997.

4.5.2.2 Pérdida de la textura.

Cuantitativamente los cambios bioquímicos más importantes que ocurren en los vegetales tras su recolección son los que catabolizan los polisacáridos de la pared celular ocasionando su rápida maduración y reblandecimiento.⁴

La pectina es un heteropolisacárido estructural de las paredes vegetales cuyos bloques principales están formados con unidades de ácido α -D-galacturónico (derivado ácido de la galactosa) que están ligadas por enlaces α -1,4-glucosídicos. La cadena principal posee segmentos que contiene abundantes restos de L-ramnosa y pequeñas cantidades de D-galactanos, L-arabinanos y arabinogalactanos unidos por un enlace covalente al galacturano. Los grupos carboxilo de los restos galacturónicos están esterificados en diferentes proporciones con metanol (Grado de esterificación) y los grupos OH de las posiciones 2 y 3 pueden ser acetilados.^{3,4,7,11,8,15,18,19,20,27,37,50}

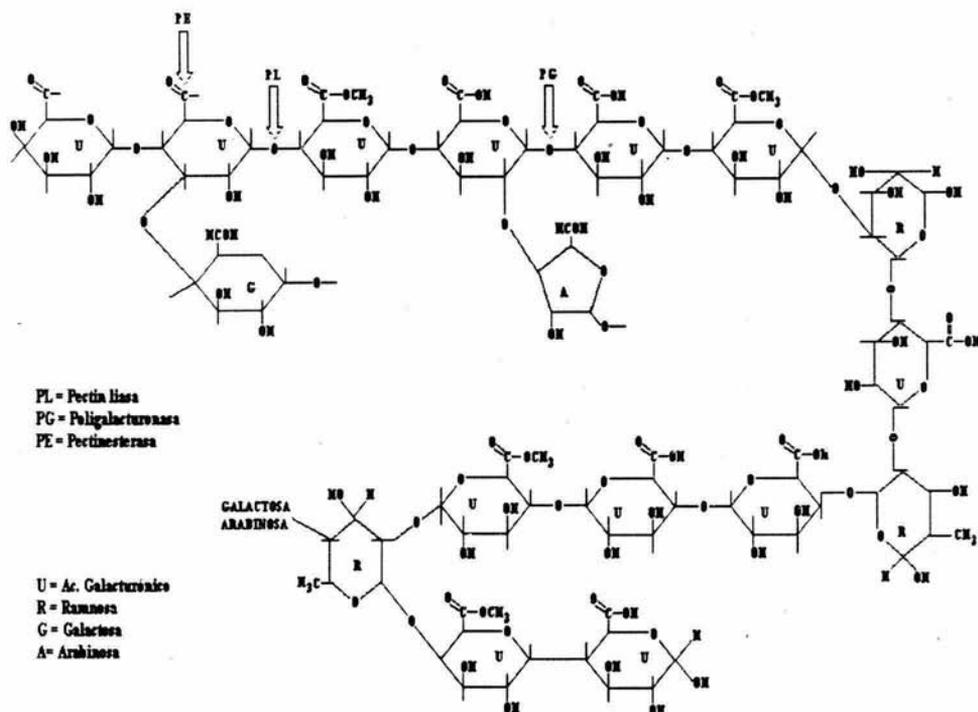
La degradación de la pectina es la actividad enzimática sobre el enlace α -1,4-poligalacturonpiranosido de diversas enzimas pécticas específicas que dependen en parte de la esterificación metílica (Kerbel, 1992; Avena, 1996).¹⁸

Los polímeros altamente esterificados (pectinas muy metoxiladas) son los mejores sustratos para las pectinliasas (pectintranseliminadas) que rompen los enlaces glucosídicos adyacentes a un éster metílico por una reacción de β -eliminación, dando un doble enlace por cada enlace glucosídico roto. Son producidas por hongos y no se encuentran en bacterias o vegetales superiores.^{4,15,41}

Las pectinas en las que los grupos metoxilo han sido parcialmente hidrolizados (pectinas poco metoxiladas) o completamente metoxiladas (ácido poligalacturónico) son los mejores sustratos para las pectatoliasas. En este caso la reacción de β -eliminación tiene lugar en la posición adyacente a un grupo carboxilo libre. Las pectatoliasas son enzimas típicamente bacterianas donde sólo unos pocos mohos las producen y no existen en los vegetales superiores.¹⁵

Las pectinesterasas remueven los grupos metilo de los grupos carboxilo esterificados dando pectinas poco metoxiladas, ácido poligalacturónico y metanol, de ahí que se le denomine enzima demetoxilante, en cambio la endopoligalacturonasa actúa solamente si la pectina ha sido previamente desprovista de los metilos por acción de las pectinesterasas hidrolizando los enlaces glucosídicos internos con ayuda de la exopoligalacturonasas que degrada los enlaces glucosídicos, las pectato liasas y pectinesterasas para completar la degradación de una pectina de alto metoxilo.¹⁵

Figura 3. Acción de la pectinesterasa (P E), pectinliasa (P L) y poligalacturonasa (P G) sobre la pectina.



Fuente: Campos D., 2001

Al ser las sustancias pécticas elementos estructurales de las capas intermedias y primaria de la pared celular de los vegetales superiores, las alteraciones en su grado de polimerización y esterificación pueden producir cambios en la textura de las frutas y hortalizas durante la maduración, almacenamiento o procesado, ya que las pectinesterasas y poligalacturonasas nativas pueden alterar las sustancias pécticas endógenas. Si bien la presencia de la actividad de la poligalacturonasa sólo ha podido demostrarse en algunos frutos (tomate, piña y aguacate), la actividad de la pectinesterasa es muy común en los productos hortícolas y se ha observado que aumenta durante la maduración, en cambio la actividad de las pectinmetilesterasas sobre la textura de estos productos es indirecta pues desmetilan los grupos carboxilato de las sustancias pécticas permitiéndoles participar en el entrecruzamiento, vía el Ca^{2+} que incrementa la firmeza de productos como las judías.^{4,15}

Durante el reblandecimiento de los productos vegetales hay un decrecimiento en el desarrollo de esterificación de la lamela-media pectínica debido a la acción de la pectinmetilesterasa presente en abundancia en el tejido mucho antes de que el reblandecimiento se produzca (Hobson, 1963) haciendo a la pectina más susceptible a la acción de las endopoligalacturonasas. La pectinmetilesterasa es inactiva in situ a menos que el tejido esté traumatizado por procesos como choque térmico, congelación o maceración.¹⁵

En la degradación de la pectina hay una solubilización de esta a medida que la maduración progresa, pues hay un incremento en la proporción de pectina soluble en agua (Gross y Wallner, 1979), este incremento de pectina soluble en agua se adscribe a la acción de las poligalacturonasas (Pressley et al. 1971) con ayuda de enzimas como las pectinmetilesterasas y varias glucosidasas.^{4,15,41}

Otras enzimas que degradan la pared celular de los productos hortícolas son las celulasas y hemicelulasas que se encuentran activas en los tejidos vegetales y su acción respecto a la textura en alimentos no se conoce lo suficientemente. Si bien aunque la actividad de las celulasas en el tomate aumenta durante la maduración, no se les considera como responsables del reblandecimiento del fruto, pero sí como uno de los tipos de enzimas que actúan intensamente sobre los polisacáridos de la pared celular de algunos productos hortícolas frutos cítricos y otros alimentos con un contenido despreciable de almidón para liberar grandes cantidades de azúcares durante su periodo de post-cosecha.¹⁵

4.5.2.3 Pigmentos y causas de su modificación.

El color de las frutas y verduras en su estado natural es un sistema estructuralmente complejo y característico de cada especie o variedad, debido a que al ser recién recolectados para su mercadeo exhiben su piel con el brillo y color característico a diferencia de cuando han sido procesados, pues la separación de la cáscara o tejido epidérmico ocasiona lesiones en las células del tejido que exponen a la luz y oxígeno el producto y liberan los ácidos orgánicos y ciertos iones metálicos de los líquidos intracelulares al exterior del producto y provocarle la pérdida de coloración.^{3,4,7,8,15,18,27,37,50}

Los pigmentos responsables de la absorción selectiva de luz en frutas y hortalizas son comúnmente: carotenoides, antocianos, betalainas y clorofilas, de los cuales el de mayor importancia para nuestro estudio es la clorofila al ser el pigmento característico del nopal.^{3,4,7,8,11,15,18,27,37,50}

El término clorofila se usó originalmente para describir a aquellos pigmentos verdes implicados en las fotosíntesis de las plantas superiores y recientemente se ha extendido a toda clase de pigmentos porfirínicos fotosintéticos en los que se han descrito diversidad de clorofilas como: la *a*, *b*, *c* y *d* y bacteriofilas *a* y *b* entre otras especies, de las cuales únicamente describiremos a las clorofilas *a* y *b* por ser compuestos que están presentes en las plantas superiores alimenticias como el nopal.^{4,15}

El color verde de las hojas y frutos sin madurar se debe a las clorofilas *a* (verde azulado) y *b* (verde amarillento) que se encuentra en proporción 3:1 aprox. La fórmula empírica de la clorofila *a* es $C_{55}H_{70}O_5-N_4Mg$ y es una estructura tetrapirrólica que forma un quelato con el magnesio con sustituciones del metilo en las posiciones 1,3,5 y 8; vinilo en la posición 2; etilo en la posición 4 y el propiolato esterificado con el resto fitilo en la posición 7; la posición 9 tiene un grupo ceto y la 10 un grupo carbometoxi. La fórmula empírica de la clorofila *b* es $C_{55}H_{70}O_6N_4Mg$ y tiene la misma configuración que la clorofila *a*, con la excepción de que en la posición 3 existe un grupo formilo en vez de un grupo metilo.^{4,15}

Las clorofilas *a* y *b* son verdes, liposolubles y están localizadas entre capas en forma de disco de aproximadamente 0,1 nm. de diámetro de los lípidos y proteínas de la membrana tilacoide de los cloroplastos, sus moléculas constan de dos partes: 1) estructura de tetrapirrol quelando al magnesio asociada con la proteína y 2) una cadena de fitol liposoluble, asociado a la capa lipídica. Las clorofilas son solubles en alcohol, éter, benceno y acetona, pero cuando estas puras son ligeramente solubles en éter de petróleo e insolubles en agua y químicamente se pueden alterar en el procesado de los alimentos o almacenamiento por la feofitinización que es la sustitución del ión magnesio por un ión hidrógeno que se libera fácilmente en medio ácido y a un posible desplazamiento de la estructura de resonancia de la feofitina provocando una coloración verde olivo.¹⁵

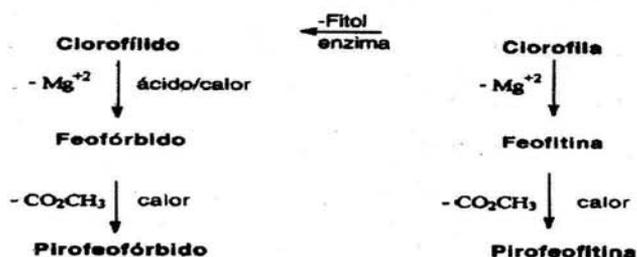
feofórbidos son la contrapartida de las clorofilas porque carecen solamente de la cadena del fitol y son sustancias insolubles en los aceites, pero solubles en agua.¹⁵

Otras reacciones ocasionales de la degradación de la clorofila son las que se deben a los grupos funcionales laterales de las clorofilas, en las que el anillo isocíclico se puede oxidar para formar una clorofila allomerizada que tiene un anillo tetrapirrólico que se puede romper para formar productos finales de reacción que son incoloros, amarillos, pardos.

Los procesos de degradación de la clorofila por la senescencia de vegetales han sido estudiados por diferentes autores y los mecanismos no son del todo claros. Algunos estudios parecen reflejar que la acción de oxígeno molecular y atómico está involucrada en el proceso (Baardseth et al., 1989), aunque este proceso puede ir acompañado de diversos pigmentos por la exposición a la luz, temperatura y humedad y el efecto es diferente en cada especie vegetal, así por ejemplo, la luz acelera la degradación de la clorofila del tomate durante su maduración y activa la formación de pigmentos durante la patata.^{4,15}

La aparición de la clorofilasa en los tejidos de las plantas esta asociada a la acumulación del etileno endógeno. La clorofilasa es una enzima hidrolítica que convierte las clorofilas en sus respectivos clorofilicos, sin establecerse aún que sea la responsable de la pérdida del color durante las primeras etapas de la senescencia del producto, ya que se sabe que la lipooxigenasa es más activa degradando los lípidos y liberando radicales libres e hidroperóxidos cuando los vegetales son procesados sin incluir un escaldado, pero que puede evitarse su actividad al adicionar antioxidantes y ácidos orgánicos al elaborar el producto (Zhuang et al., 1994).¹⁵

Figura 5. Factores y algunos productos de degradación de las clorofilas.



Fuente: Fennema, 1995.

Los tratamientos térmicos prolongados ocasionan la pérdida del ión Mg^{2+} de la clorofila porque es una especie química muy sensible al calor y el medio ácido que se forma por la liberación de los ácidos orgánicos de los líquidos intracelulares, ya que los protones H^{1+} pueden reemplazar al Mg^{2+} del anillo tetrapirrólico de la clorofila dando lugar a la formación de feofitinas de color pardo en el producto, el cual presenta una coloración verde oliva. En los alimentos deshidratados la conversión de clorofila en feofitina se relaciona principalmente por la disminución del a_w y el daño que sufren los tejidos alimenticios por el escaldado realizado antes de su deshidratación.^{4,15}

En la actualidad los procesos industriales mantienen la estabilidad de la clorofila cuando se añaden sales de magnesio, calcio o agentes quelantes como el EDTA al producto (Sanchez et al. 1991), teniendo cuidado de no ablandarlo, para posteriormente almacenarlo a bajas temperaturas, controlando los niveles de CO_2 en los envases (Simpson, 1985) o de a_w en el producto (Simpson, 1985).¹⁵

4.5.2.4 Pérdida del sabor.

El sabor es una característica organoléptica de calidad difícil de mantener en las frutas y hortalizas mínimamente procesadas por factores como: a) la pérdida de compuestos volátiles al emplear un empaque demasiado permeable, b) la acumulación de etanol y acetaldehído en el producto por su degradación microbiana o al generarse un ambiente demasiado anaerobio en empaques poco permeables que no permiten el intercambio gaseoso de los productos metabólicos de la degradación de los carbohidratos por las vías glucolíticas en el producto, c) la actividad enzimática del almidón y/o los lípidos del producto que favorecen la liberación de aldehídos, hidoperóxidos entre otros productos con sabores indeseables y d) la alteración del equilibrio almidón-azúcar por las fluctuaciones de temperaturas de almacenamiento, pues la síntesis del almidón se produce a temperaturas mayores a las ambientales y va acompañada con la reducción de carbohidratos como los azúcares, los cuales también pueden disminuir por su oxidación que tiene lugar en las mitocondrias y que afecta la calidad del producto. En cambio cuando el almacenamiento del producto es a temperaturas inferiores a los $5^{\circ}C$ el almidón se transforma en sacarosa, azúcares y carbohidratos que tienden a acumularse en este causándole alteraciones en su sabor.^{3,4,11,15}

4.5.2.5 Cambios de acidez.

Los cambios de acidez en el producto están relacionados con la alteración del sabor, color y el envejecimiento de diversos tejidos vegetales que se realizan durante: a) la recolección de los productos hortícolas porque los ácidos orgánicos como: el ácido málico, cítrico, ascórbico y pirúvico son oxidados y por ende disminuyen su valor en estos por la aceleración de su respiración, dando un coeficiente respiratorio > 1 , pues cuando el coeficiente respiratorio = 1 el sustrato metabólico son los carbohidratos como la glucosa.¹⁵

b) el descenso del contenido de ácidos grasos poliinsaturados por la autólisis de las membranas celulares que causan la pérdida de la integridad estructural del tejido y c) un incremento en el valor de acidez del producto que se explica por la liberación de los ácidos orgánicos contenidos en el líquido intracelular al exterior del producto por la formación de cristales grandes de hielo al romperse las células estructurales de los tejidos durante el congelamiento o descongelamiento a velocidad lenta o por las operaciones del pelado y rebanado realizadas de forma inadecuada en la elaboración del producto mínimamente procesado.^{3,15,18,27,37}

4.5.3 Factores físicos, químicos y biológicos que aceleran el deterioro del producto.

De acuerdo al autor Santos (1995) son principalmente:

- a) Variedad de especie y grado de madurez: pues en el caso de las variedades Hass y Fuerte de aguacates, enzimas como la polifenoloxidasas se encuentran en diferentes concentraciones, provocando diferencias en la intensidad del pardeamiento de estos productos. y en el caso de los productos agrícolas muy maduros la aparición de las manchas oscuras es mayor.¹⁸
- b) Temperatura: alrededor de los 40°C resulta ser óptima para la actividad enzimática de enzimas como la polifenol oxidasa y el crecimiento microbiano, además de que si esta aumenta los procesos metabólicos y degradativos se aceleran.^{15,18}
- c) pH: valores cercanos a la neutralidad resultan ideales para el crecimiento microbiano y la actividad enzimática, a diferencia de los valores de pH muy ácidos o alcalinos.^{15,18}

- d) Oxígeno: altas concentraciones de este gas favorecen las reacciones de oxidación y crecimiento microbiano que requieren de condiciones oxidantes para llevarse a cabo.^{15,18}
- e) Humedad: a valores muy altos se favorece el crecimiento microbiano y las reacciones enzimáticas y químicas, porque hay mayor contacto entre las sustancias reaccionantes, enzimas y sustratos.^{15,18}

4.5.4 Métodos de control.

Las técnicas de conservación más comerciales que se aplican a los productos mínimamente procesados, ya sea en su forma aislada o combinada son los siguientes:^{3,4,7,8,11,15,18,27,37,50}

A) Escaldado térmico: es una operación previa a la refrigeración, congelación, deshidratación y liofilización que se fundamenta en aplicar tratamientos térmicos a altas temperaturas: 70 y 90°C durante un corto tiempo para inhibir la actividad de las enzimas causantes del deterioro.^{3,19,37}

La técnica de escaldado más utilizada es la de vapor, ya que causa menos daños al tejido, a diferencia de los escaldados en agua, donde se añaden aditivos y por microondas, donde las radiaciones del calentamiento son heterogéneas.^{3,8,37}

El tiempo y temperatura de escaldado están en función del tamaño y tipo de producto, siendo recomendable aplicar tiempos cortos y altas temperaturas para lograr un mejor control en la oxidación del producto, disminuyendo: la carga microbiana, gases ocluidos en el tejido, migración de los nutrientes, formación de olores y sabores extraños en el tejido.^{3,8,19,37}

Actualmente la aplicación del escaldado durante el procesamiento mínimo está en discusión, ya que la susceptibilidad del producto a una posible recontaminación es mayor, al igual que la pérdida de su frescura por la alteración de sus características organolépticas, además de que los problemas por una reactividad enzimática son más frecuentes.^{3,8,27}

B) Refrigeración: Algunos investigadores como Jay (1986a) prefieren denominar a las temperaturas entre 10° y 15°C como temperaturas de enfriamiento y entre 0°-7°C a las temperaturas de refrigeración que retrasan la velocidad de las reacciones de deterioro y crecimiento microbiano en forma directamente proporcional a su disminución, pues generalmente por cada 10°C de disminución de la temperatura, la tasa de respiración se puede disminuir de 2 a 4 veces según el tipo de producto sin producir la muerte celular,

por otro lado al tener los microorganismos presentes en el producto una temperatura óptima y una temperatura límite mínima, ya no pueden crecer si es que se rebasan aunque su actividad metabólica pueda continuar (Frazier, 1972).^{3,7,8,27,37}

C) Congelación: Se basa en la disminución de la temperatura y transformación de toda o casi toda el agua del producto en hielo a temperaturas de almacenamiento de -10°C en adelante, para retardar la velocidad de los procesos metabólicos y degradativos causantes de los cambios desagradables en las características organolépticas como sabor o color, lo cual afecta la vida de anaquel del producto.^{3,7,8,27,32,37}

La congelación permite conservar por mucho más tiempo el producto a diferencia de la refrigeración, porque favorece la muerte de algunos microorganismos, al evitarles el consumo de agua del medio que se solidifica en hielo, permitiendo también retardar algunas de las reacciones químicas y enzimáticas al evitar que entren en contacto: las sustancias reaccionantes, cofactores y/o sustratos en el sitio activo, etc.

La eficiencia de la congelación se afecta por factores como: a) el rompimiento de la cadena del frío del producto durante su distribución, transporte, almacenamiento y venta al menudeo o mayoreo antes de su consumo al exponerlo a altas temperaturas, b) Reactivación enzimática ocasional de algunas reacciones al incrementarse la humedad del producto, lo cual será discutido más adelante y c) crecimiento microbiano de: microorganismos psicrófilos alterantes de los alimentos como: algunas levaduras, bacterias mucilaginosas y hongos o microorganismos patógenos como: *C. botulinum* tipo B y E, *V. parahaemolyticus* y *Y. enterocolitica* que crecen a las bajas temperaturas de almacenamiento y en medios con pH cercano a la neutralidad (Jay, 1986a).^{3,4,7,8,11,15,17,27,32,37,50}

Actualmente los productos congelados se encuentran en discusión sobre si deben considerarse productos frescos o semifrescos, ya que su frescura y calidad nutricional puede ser dañada considerablemente por la liberación de los líquidos intracelulares hacia el medio, provocando: la pérdida de nutrientes, incremento de humedad, acidez y muerte celular de los tejidos debido a la formación de grandes cristales de hielo por las fluctuaciones de la temperatura de almacenamiento y velocidad lenta de congelación, de ahí que se tengan que añadir: a) sustancias crioprotectoras que son sustancias de bajo peso molecular como los azúcares y polioles o b) sustancias criostabilizadoras que son sustancias con alto peso molecular como:

gomas vegetales o hidrocoloides, ya que ambas reducen la cantidad de agua congelable y tienen un efecto de depresión en el punto de congelación favoreciendo una congelación homogénea y suave por medio de la formación de cristales de hielo pequeños en el producto.^{3,7,8,18,27,37,50}

Sin embargo también se ha encontrado que la descongelación del producto tanto a nivel consumidor como industrial debe controlarse adecuadamente respecto a la temperatura y velocidad, para no alterar la calidad organoléptica y nutricional del producto, mediante el sobre calentamiento, desarrollo y contaminación microbiana y pérdida de peso por goteo al formarse los cristales de hielo, de ahí que se recomiende descongelar al producto mediante: a) refrigeración a pesar de ser lento y b) microondas donde la energía de calentamiento penetra eficientemente a tiempos cortos en el tejido y evita la aparición de los defectos de calidad anteriormente mencionados en el producto.²⁷

D) Radiaciones ionizantes. Las únicas fuentes de radionúclidos permitidas son las del cobalto-60 y el cesio-137, que emiten rayos gamma y tienen buena capacidad de penetración en el producto, pero debido a que las frutas y hortalizas son sensibles a la aplicación de estas radiaciones, los problemas degradativos producidos tanto en las operaciones utilizadas durante su preparación (Kader, 1986), como los producidos por reactividad enzimática son mayores, ya que para inactivar la mayoría de las enzimas causantes del deterioro se requieren dosis que oscilan de 1 100 000 a 100 kGy y no todas son permitidas en alimentos, de ahí que este tratamiento de conservación se considere como una técnica suplementaria de la refrigeración u otros tratamientos de conservación post-cosecha Kader (1986), haciéndola poco rentable por la alta infraestructura del equipo y por el rechazo de las personas hacia los productos que tienen impreso el símbolo de irradiación en su envase, ya que los consideran dañinos a la salud.^{18,29,37}

E) Metilación de sustratos de polifenoloxidasas consiste en colocar al producto en una solución acuosa de pH ligeramente alcalino que contenga a la enzima metiltransferasa y el metil donador, para posteriormente mantenerlo en anaerobiosis de 3 a 5 min de 20°C a 40°C, donde una vez concluido esto se realiza un enjuague para conservar el pH del producto.³⁷

F) Conservación química. El empleo de aditivos (agentes químicos) combinados o de forma individual es una práctica muy antigua para inhibir procesos de fermentación, enmohecimiento, pigmentación,

putrefacción, etc. tanto en alimentos y bebidas, por lo que de acuerdo a su uso se clasifican en: a) los de tratamiento externo y b) los de incorporación directa al producto, sin embargo pese a la aplicación de estos agentes químicos a los productos alimenticios tenemos que su vida de anaquel es limitada, ya que su grado de conservación final depende del tipo de sustancia, concentración y la forma química que esté presente en estos productos.^{4,8,15,37,40}

El procesamiento de conservación de frutas y hortalizas ha promovido el empleo de agentes químicos de mayor eficiencia, a bajos costos y mayor disponibilidad en el mercado, buscando siempre efectos sinérgicos, de ahí que el uso de guayacol y ácido ferúlico que inhiben el pardeamiento enzimático, haya sido reemplazado por las siguientes soluciones de inmersión que por lo general se aplican antes de realizar operaciones como: escaldado a vapor, deshidratado, congelado ó refrigerado y son:^{4,8,15,37,40}

Solución de ácido cítrico 200 ppm con ácido ascórbico 300 ppm. Donde el ácido cítrico actúa como: conservador en función de su capacidad: sinérgico hacia los antioxidantes, acidulante al donar H^{1+} al medio y quelante al formar complejos con agentes prooxidantes como iones hierro y cobre a través de un par de electrones no apareado en sus estructuras moleculares, para evitar la desestabilización del aroma, color y textura en el producto, a diferencia del ácido ascórbico que actúa como: acidulante del medio, antioxidante y agente reductor al tomar las moléculas de oxígeno del medio y donar protones fuertes que evitan la oxidación del producto y lo adicionan de vitamina C (Willey, Robert 1992).^{4,15,37}

Solución de bisulfito o metabisulfito de sodio en máximo 100 ppm con ácido cítrico en 200 ppm. Donde el ácido cítrico confiere sus propiedades: quelantes, acidulantes y sinérgicos a la acción del sulfito (Belitz 1997; Willey 1992), en tanto que el dióxido de azufre y las sales comerciales que generan SO_2 se añaden a los alimentos para brindarles una apariencia más fresca mediante su acción conservante, antioxidantes y antimicrobianos que inhibe los problemas de pardeamiento enzimático, al impedir que la quinona se polimerice, aunque algunos autores mencionan que el sulfito evita la hidroxilación oxidativa de la L-tirosina a 3-4 dihidroxifenilalanina y otros plantean que el sulfito interactúa directamente con la o-quinona.^{4,15,37}

La inhibición del crecimiento de hongos, levaduras y bacterias de los sulfitos se realiza eficientemente a pH ácido debido a que el SO_2 o las sales adicionadas se encuentran en forma de ácido sulfuroso que penetra más fácilmente a las membranas y reacciona con los grupos carbonilos de los carbohidratos evitando su uso como fuente de energía a los microorganismos, además de que el sulfito puede inhibir los mecanismos de respiración microbiana que requieren de la nicotinamida dinucleótido (NAD).^{4,14,15,37,27}

El sulfito posee un DL_{50} de 1-2 g/kg peso corporal de rata y una IDA de 0.70 mg/kg de peso corporal de rata y los humanos tienen una tolerancia variada de hasta 4 g, de ahí que sus efectos toxicológicos no ocurran quizás a los niveles de exposición usuales en el hombre, sin embargo la inocuidad de los sulfitos es todavía objeto de debate debido a ciertas observaciones que sugieren riesgos sanitarios potenciales. El más significativo es la sensibilización de ciertos individuos, especialmente asmáticos que presentan espasmos bronquiales al consumir alimentos en dosis por arriba de los límites máximos permisibles establecidos para cada producto y país. Los síntomas clínicos más comunes son la languidez, debilidad, tirantez del pecho, reacciones intestinales, urticaria, angioedema, hipotensión y sensaciones de picor, que se manifiestan inmediatamente después de su ingestión. Aunque de acuerdo a evidencias más recientes, menos del 10% de los individuos asmáticos, son sensibles al sulfito ingerido.^{4,13,14,15,23,35,36}

Los mecanismos responsables de este problema no se conocen lo suficiente, pero estudios experimentales han demostrado claramente que la exposición al SO_2 puede originar una suave constricción bronquial, incluso en las personas normales a diferencia de los asmáticos que presentan una sintomatología más llamativa, a menores dosis (40 ppm) al igual que las personas deficientes en sulfito oxidasa. La sulfito oxidasa es la enzima responsable de la conversión de los sulfitos en sulfatos que se desechan fácilmente por la orina. Los efectos mutagénicos, genotóxicos y sinérgicos de las sustancias cancerígenas de los sulfitos aún no han podido ser demostrados en la experimentación animal (García Roché, 2000).^{4,13,14,15,23,35,36}

Los sulfitos destruyen la tiamina, sin embargo desde el punto de vista nutricional el impacto de la pérdida de tiamina en personas que consumen una dieta corriente es mínimo, además de que se ha encontrado que el sulfito ayuda a conservar la vitamina C (ácido ascórbico), aunque si esta sustancia se añade junto con el

ácido ascórbico para utilizarlo como solución de inmersión conservadora, el SO_2 no es tan efectivo debido a que se realiza su oxidación indirecta por un mecanismo poco conocido.^{4,13,14,15,23,35}

La disponibilidad del SO_2 en las sales comerciales de sulfitos es menor a la cantidad de sal adicionada en la elaboración del producto y puede verse en la tabla 3, además de que factores como el almacenamiento prolongado y el envasado a vacío en el producto también favorecen el bajo contenido del SO_2 en el mismo, siendo esto muy ventajoso en términos de toxicidad, ya que las posibilidades de dañar la salud del consumidor son bajas.

Tabla 3. Disponibilidad porcentual del SO_2 en las diferentes sales más comerciales de sulfitos.

Sal comercial	Valor teórico (%)	Valor experimental (%)
Bisulfito de sodio (NaHSO_3)	61.59	55
Metabisulfito de potasio ($\text{K}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	67.43	52
Metabisulfito de sodio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_5$)	57.65	61

Fuente: Diarte, 1975.

Solución de ácido cítrico 200 ppm y ácido eritórbico 200 ppm. Se ha señalado la utilización del ácido eritórbico con el ácido cítrico como sustituto de los sulfitos, ya que el ácido eritórbico o la sal de el eritorbato sódico pueden inhibir las reacciones de pardeamiento en frutas congeladas, además de que esta combinación de agentes químicos se usa también en los productos hortícolas mínimamente procesados para prevenir la rancidez oxidativa y la decoloración de ensaladas de verduras, col, manzanas y productos pesqueros congelados (Willey, 1992).^{27,37}

El ácido eritórbico es el D isómero del ácido ascórbico pero no tiene actividad como vitamina C y es cinco veces más barato, por lo que la mayor parte de las investigaciones sugieren que el ácido L-ascórbico y el ácido eritórbico tienen casi las mismas propiedades antioxidantes, de ahí que recomienden utilizar únicamente al ácido L-ascórbico cuando se necesite adicionar vitamina C al producto.^{27,37}

Solución ligeramente salina (0.1N). La sal actúa como barrera al oxígeno retardando su absorción en el tejido, además de que con su elevado grado de hidratación no permite que los cofactores de las enzimas

responsables del pardeamiento enzimático y la peroxidasa entren en su sitio activo, de ahí que esta solución permita retardar en un 78% el pardeamiento enzimático en las papas (Braverman 1988).⁷

Solución de calcio máximo en 2g/L: permite conservar por más tiempo una textura adecuada en el producto al brindar iones calcio que reaccionen con los grupos metoxilo de las pectinas para formar pectatos de calcio insolubles que le confieran mayor rigidez al producto al inhibir la actividad enzimática de las pectinasas que degradan a la pectina del producto causándole su reblandecimiento.^{3,8,31}

Solución de magnesio máximo en 2g/L: ayuda a evitar la migración del ión magnesio de el anillo de la clorofila por la acción de las clorofilasas, las altas temperaturas y un medio ácido que favorecen la transformación del color verde brillante a verde olivo en el producto.^{3,7,11,18,8,37}

Es importante destacar que el empleo de conservadores químicos no mejora la calidad de un producto que esté alterado ó contaminado, de ahí que se sugiera la previa desinfección de las materias primas, además de que para lograr una mejor absorción de las sustancias químicas hacia el tejido se recomienda reducir el tamaño del producto para aumentar la superficie de contacto.^{4,15}

4.6 ENVASADO DE LOS PRODUCTOS HORTÍCOLAS.

4.6.1 Generalidades e importancia.

La búsqueda de productos alimenticios frescos y de alta calidad, ha inducido al desarrollo del envasado de alimentos en atmósfera controlada o modificada donde las técnicas de envasado y la selección de los materiales de empaque juegan un papel importante en la calidad del producto alimenticio al estar este en contacto directo con él.^{18,26,27,46}

El material de empaque del producto alimenticio debe conferirle: a) inocuidad al evitarle el crecimiento de los microorganismos, b) conservación de sus propiedades organolépticas, c) protección de ataques microbianos y contaminación del medio, d) buena estética con las dimensiones adecuadas para facilitar su manejo y e) poco peso en su comercialización, por lo que la selección de su material toma en cuenta lo siguiente:^{18,27}

a) La aprobación del material de fabricación por las autoridades sanitarias para garantizar su inocuidad al alimento.^{18,27}

- b) Características de permeabilidad y grosor adecuados para impedir la entrada de oxígeno, la condensación del vapor de agua en agua líquida de forma excesiva y la fuga o exceso de dióxido de carbono y en el producto.^{18,27}
- c) Resistencia a los cambios bruscos de temperatura, agua, calor, ácidos débiles, grasas y suciedad, para mantener inalterada la calidad del producto.^{18,27}
- d) Pelabilidad adecuada de su soldadura para facilitar una mejor separación del producto al desempacar, sin alterar su sellado posterior a fin de no provocar contaminación microbiológica y cambios en la concentración de los gases de la atmósfera generada en el producto.^{18,27}

El término envase solía utilizarse para productos líquidos y empaque para productos sólidos, pero actualmente se usan indistintamente y se procura no emplear el término envase con el fin de homologar la terminología que se emplea en países de habla hispana y se clasifica en lo siguiente:²⁷

- a) Envase primario que es el que está en contacto directo con el producto
- b) Envase secundario que es un contenedor unitario o colectivo para facilitar la distribución del producto.
- c) Envase terciario que es por lo general colectivo, pues unifica, controla, protege y promueve a varios envases primarios y secundarios, de forma similar al embalado pues el embalaje es el contenedor usado para proteger la mercancía durante todas las etapas de la distribución.

4.6.2 Factores que determinan la composición atmosférica de un tejido vivo.

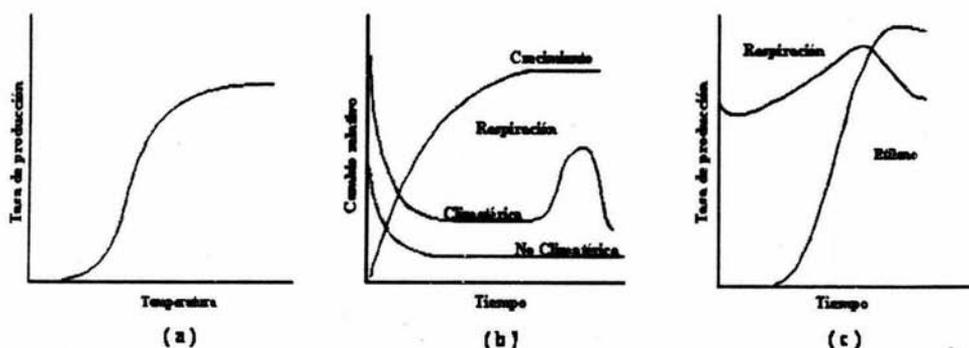
La composición atmosférica de un tejido vivo está en función de:

- a) La velocidad respiratoria. El mecanismo de la respiración que tiene lugar en las partes más separadas de las plantas madres es el mismo que el de los órganos animales, aunque los productos que consumen elevadas cantidades de oxígeno o producen mucho anhídrido carbónico suelen ser muy perecederos, mientras que los que presentan velocidades de respiración más lentas, se mantienen en almacenamiento sin problemas durante mucho tiempo, de ahí que la vida útil de un determinado producto pueda prolongarse mucho si se almacena en una atmósfera gaseosa adecuada que atenúe su respiración junto con su almacenamiento a bajas temperaturas como el almacenamiento en refrigeración con el envasado en atmósferas controladas y/o modificadas, etc.^{4,15}

La respiración celular consume oxígeno, libera anhídrido carbónico, vapor de agua y calor y puede hallarse acoplada a varias reacciones metabólicas relacionadas con las heridas de los tejidos por: la recolección del producto, síntesis de lignina, metabolismo celular, oncogenia del órgano, reacciones de descarboxilación, la posible actividad de la enzima málico y reacciones de conservación de energía por la fosforilación oxidativa la cual es insensible al cianuro y a otros inhibidores de la citocromo-oxidasa.^{4,15}

La respiración climatérica ha sido muy estudiada, ya que marca el comienzo de la senescencia y esta varía considerablemente de unos frutos a otros, pues en muchos de ellos como las verduras ni siquiera se produce, por lo que a este tipo de productos se les llama no climatéricos y que a diferencia de los productos climatéricos como la mayor parte de los frutos carnosos como la pera, plátano, mango etc., experimentan un aumento característico de su actividad respiratoria que coincide con los cambios de color, aroma y textura típicos de la maduración. Actualmente no se han encontrado diferencias claras entre el metabolismo de los frutos climatéricos y el de los no climatéricos, sin embargo la maduración de los frutos no climatéricos suele tener lugar más lentamente.^{4,15}

Figura 6. (a) Comportamiento de la tasa de respiración en función de la temperatura, (b) Cambio relativo en crecimiento y tasa de respiración del producto hortícola con respecto al tiempo y (c) Tasa de producción de respiración y etileno en función del tiempo.



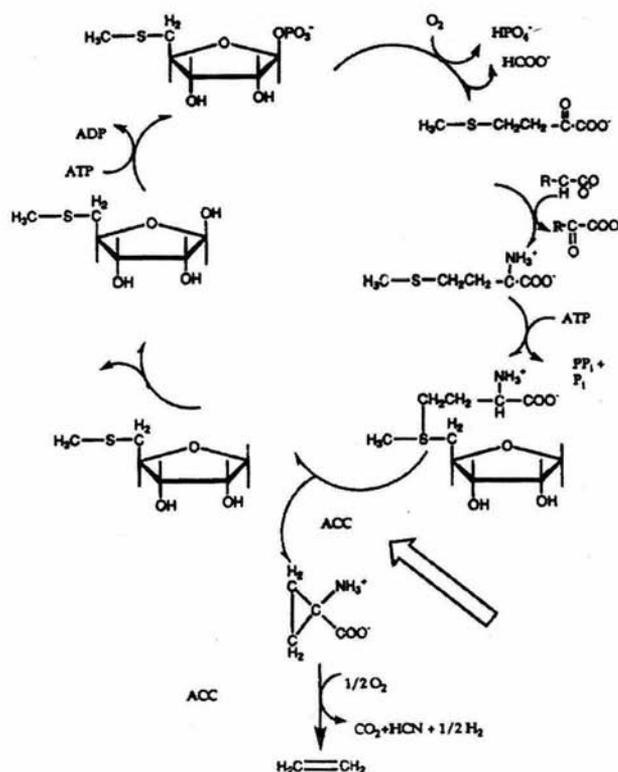
Fuente: Belitz, 1997

En condiciones ambientales estables, los tejidos de tallos, raíces y hojas respiran a un ritmo constante o acusan un descenso gradual en su actividad respiratoria por el comienzo de su senescencia, pero el estrés

producido por las lesiones mecánicas, temperaturas extremas y agentes químicos y biológicos pueden producir un incremento de la velocidad respiratoria.¹⁵

b) Producción del etileno. La capacidad de esta hormona para acelerar la maduración de las frutas y en general para activar la senescencia de los tejidos vegetales ha dado lugar a que se le denomine “hormona de la maduración”, cuyo precursor es la L-metionina, ya que la S-adenosil-metionina (SAM) y el ácido 1-aminociclopropano-1-carboxílico (ACC) son productos intermediarios clave en la conversión in situ de la metionina en etileno.^{4,15}

Figura 7. Biosíntesis del 1 etileno.



Fuente: Fennema, 1995.

La biosíntesis de este gas es autocatalítica por lo que para evitar la maduración excesivamente rápida de una fruta es necesario eliminar del ambiente trazas de este gas, durante mucho tiempo se ha admitido que

el etileno actúa como estimulante de la actividad respiratoria resistente al cianuro que discurre por una cadena transportadora de electrones, lo cual es un hecho interesante tanto desde el punto de vista teórico como práctico que no ha podido ser comprobado totalmente por la relación directa que hay entre el etileno y la cadena transportadora de electrones alternativa, porque parece que esta hormona ejerce cierta influencia en sí misma de forma indirecta.^{4,15}

La eficacia del nivel de etileno exógeno como estimulante de la maduración depende del grado de receptibilidad del tejido en cuestión, pues la concentración necesaria para que se inicie la maduración del producto va siendo progresivamente menor hasta alcanzar su completo desarrollo, de ahí que no siempre la maduración de los productos hortícolas vaya acompañada de un incremento manifiesto de la concentración de etileno hasta alcanzar el umbral como sucede con: los plátanos y aguacates que son menos sensibles al etileno después de su recolección.^{4,15}

La administración de hormonas procedentes de fuentes exógenas y de reguladores de crecimiento vegetal como las auxinas, fitoquininas y giberelinas, pueden estimular la acción de factores que retrasan la maduración de las plantas al desensibilizarlas frente a la acción del etileno exógeno o endógeno que acelera su maduración (Fennema, 1995).¹⁵

El etileno in situ puede convertirse en etilenglicol, teniendo como compuesto intermediario al óxido de etileno, porque al ser ambas sustancias incapaces de provocar respuesta fisiológica alguna, brindan posiblemente un mecanismo de inactivación metabólica de esta hormona.¹⁵

c) Lesiones mecánicas. Las heridas en diversos órganos de las plantas suelen dar lugar a incrementos bruscos y temporales de la actividad respiratoria, división celular, formación de etileno y aceleración del metabolismo de ciertos componentes celulares y la acumulación de productos o metabolitos secundarios que ejercen un efecto protector. Las causas de los efectos fisiológicos de las lesiones mecánicas en los tejidos no se conoce todavía por completo, pero sí existen evidencias para ilustrar la importancia general y las repercusiones prácticas de estos hechos en los alimentos.¹⁸

d) Temperatura. El proceso respiratorio de los tejidos vegetales tiene una relación directamente proporcional al aumento de la temperatura, pues cuando esta aumenta, la velocidad de la respiración

también del producto aumenta, en cambio cuando este es almacenado a bajas temperaturas su velocidad respiratoria disminuye.^{4,15}

e) Tensión de los gases en el tejido durante el control respiratorio del producto mediante su envasado atmósferas modificadas. Por lo general una reducción de la tensión del oxígeno (por debajo del 21% y un incremento de la tensión de anhídrido carbónico (por encima de 0.03%) reduce: la actividad respiratoria y las reacciones de degradación asociadas a la misma. Algunos productos pueden almacenarse sin problemas en atmósferas con tensiones de oxígeno muy bajas (menores del 1%), o tensiones muy elevadas en anhídrido carbónico (superior al 50%) pero otros en cambio no lo resisten ya sea por su especie o a que la concentración de un gas determinado puede variar considerablemente en diversas zonas de su tejido por la solubilidad, difusión y características metabólicas propias del producto (Fennema, 1995).¹⁵

f) Características de permeabilidad al O₂, CO₂, etileno y vapor de agua de los envases o recubrimientos utilizados en los productos alimenticios. El material de envase o recubrimiento debe escogerse de acuerdo a los datos técnicos del patrón respiratorio del producto para almacenarlo en una atmósfera gaseosa adecuada, sin inducirle a la anaerobiosis por la acumulación excesiva de CO₂ que le genere sabores y olores indeseables o exponerlo a condiciones oxidantes demasiado elevadas por una permeabilidad inadecuada al oxígeno responsable de oxidación del producto y proliferación microbiana.^{18,37}

4.6.3 Envasado mediante películas plásticas.

Una película plástica es un material flexible que es elaborado de uno o más polímeros y tiene un espesor de 0.254 mm. o menos para permitir su soporte y movimiento sin agrietarse con la finalidad de contener al producto y protegerlo del contacto del aire, vapor de agua y daños mecánicos (Sacharow, 1976). Durante la elaboración de las películas plásticas se pueden adicionar diferentes cantidades de aditivos como: antioxidantes, lubricantes, agentes antiestáticos, estabilizantes de calor, luz y UV entre otros para facilitar su procesamiento o impartir las propiedades plásticas adecuadas.

Las películas plásticas más utilizadas para el envasado de productos hortícolas son:^{3,18,27,37}

Polietileno (PE)

Es el plástico más barato y de mayor consumo en el mundo que tiene muy buena capacidad de sellado, laminación, resistencia química, durabilidad y estabilidad a las bajas temperaturas de almacenamiento como la congelación, por lo este material se utiliza para elaborar bolsas y botellas principalmente.^{1,3,18,26,27,37}

El polietileno forma parte de los polímeros no encogibles que tienden a formar escarcha bajo la hoja debido a la sublimación de hielo de la superficie del producto congelado, sin embargo, otras referencias mencionan que no se forman cristales de hielo.^{1,3,18,26,27,37}

Se producen tres tipos principales de polietileno: polietileno de baja densidad (LDPE), polietileno de alta densidad (HDPE) y polietileno de baja densidad lineal (LLDPE), de los que sólo se describirán ampliamente a los dos primeros porque son los que se utilizaron en la experimentación.^{1,3,18,26,27,37}

El LDPE es un material que se encoge y resiste altas temperaturas de procesamiento como los 80°C, de carácter hidrofóbico, parcialmente cristalino, termosellable a bajas temperaturas, químicamente inerte, inodoro, barato y que es una buena barrera para la humedad pero pobre para gases, ya que es bastante permeable al oxígeno y por ende favorece la proliferación microbiana, este material previene la formación de cristales en la superficie del envase que causa la pérdida de agua durante la descongelación del producto y evita la absorción del agua y ácidos del exterior en el producto. Su naturaleza amorfa lo hace flexible a bajas temperaturas permitiendo un mayor ajuste al producto para eliminar la mayor parte de aire en el envase que podría promover la desecación del pardeamiento enzimático, pero su alta flexibilidad no brinda buena protección al impacto mecánico del producto y dificulta su acomodo durante el almacenamiento.^{1,3,18,26,27,37}

El HDPE es menos ramificado y más cristalino en estructura que el LDPE, de ahí que sea un material grueso, quebradizo, poco flexible, transparente, permeable a los gases y la humedad, pero que con su alta temperatura de ablandamiento (121 °C) lo hacen un material esterilizable.^{1,3,18,26,27,37}

Poliétilen tereftalato, (PET)

Es un polímero rígido, inerte y durable que puede fabricarse en gran variedad de colores como el ámbar y verde, con estabilidad dimensional, permeabilidad moderada a los gases O₂, CO₂ y vapor de agua, es, con excelentes propiedades mecánicas, resistencia al impacto y tensión, pero pobre capacidad de sellado térmico al tener un alto punto de fusión.^{1,3,18,26,27,37}

Su transparencia es similar a la del vidrio, pero tiene una alta resistencia química y presión interna, lo que lo hace ideal para elaborar principalmente botellas y charolas por su bajo peso y autorización de la FDA. No contiene estabilizadores ni conservadores en su formulación y no altera el sabor y olor del producto por un tiempo muy prolongado y no es considerado un material contaminante porque puede ser molido para su reproceso.^{1,3,18,26,27,37}

Poliámidida (nylon).

Es una película rígida, inerte, clara, con buenas propiedades mecánicas en un amplio rango de temperatura (-60 a 200°C) y es buena barrera para los gases y aromas, pero tiene bajas propiedades como barrera para la humedad, su producción es costosa y requiere altas temperaturas para formar un sellado térmico. Impide la oxidación y como es fácilmente moldeable se utiliza para la fabricación de laminados cuando este material se orienta biaxialmente, ya que sus propiedades mecánicas y de barrera aumentan.^{1,3,18,26,27,37}

Polipropileno (PP)

El polipropileno conocido como celofán es material inerte, claro, con bajo punto de fusión, que es buena barrera a la humedad, pero barrera pobre para los gases y que resiste el impacto, fricción, rayado y temperaturas bajas de congelación, que se fabrica de celulosa regenerada de diferentes tipos y características, para elaborar bolsas, envolturas y papel. El celofán simple o no recubierto, a pesar de ser barato no es impermeable a los gases secos, pero sí a los gases húmedos en proporción a la solubilidad del gas en el agua, de ahí que los celofanes empleados para el envasado de frutas y hortalizas tengan por lo regular una cubierta de nitrocelulosa para darles las cualidades deseadas de impermeabilidad o semipermeabilidad al vapor de agua.^{1,3,18,26,27,37}

Poliestireno (PS)

Es un polímero rígido, fuerte, claro, brillante, con bajo punto de fusión y poca permeabilidad a la humedad y gases que se utiliza para fabricar bandejas no retornables o cajas contenedoras de los productos hortícolas como las uvas, pero al ser estable a temperaturas de -40°C , también es utilizado para elaborar películas plásticas tanto de forma aislada como combinada con el polietileno para mejorar las condiciones de estabilidad térmica, flexibilidad e intercambio gaseoso en el producto. ^{1,3,18,26,27,37}

Cloruro de polivinilo (PVC)

Es un plástico inerte, claro y de alto punto de fusión que es una excelente barrera a la humedad y a los gases, por lo que se utiliza para elaborar charolas que sirvan de contenedores a las frutas y hortalizas frescas al tener buena resistencia química a la ignición y flama, por lo que puede usarse sólo o en combinación de otras películas para obtener las propiedades mecánicas y de permeabilidad a los gases como O_2 , CO_2 y vapor de agua adecuada. ^{1,3,18,26,27,37}

Algunos tipos de PVC como el de acetato de celulosa son relativamente permeables al O_2 y vapor de agua, por lo que algunos productores las llaman “películas que respiran”, al observar un estiramiento de los paquetes que da un aspecto de empaçado apretado al pasar por un túnel térmico. ^{1,3,18,26,27,37}

Los PVC utilizados en el envasado de alimentos deben fabricarse en equipos capaces de eliminar cantidades trazas (hasta < 1 ppm) de monómeros como el acetato de vinilo, al igual que la fabricación de otras películas plásticas como las de polietileno, polipropileno, poliestireno, etc. con orientación biaxial con PVC o copolímeros de PVC. ^{1,3,18,26,27,37}

Acetato de vinil etileno (EVA)

Es un polímero inerte que resistente las bajas temperaturas de almacenamiento y es similar en muchas características al polietileno de baja densidad, pero exhibe mayor claridad, flexibilidad y resistencia al impacto. Este material tiene es utilizado para la elaborar bolsas y contenedores de alimentos porque tiene un bajo punto de fusión y propiedades moderadas como barrera a la humedad y gases. ^{1,3,18,26,27,37}

Hidrocloruro de caucho (Pliofilm).

Representó el desarrollo de la primera película termoplástica transparente no celulósica (Sacharow, 1976), la cual tiene diferentes variedades plastificadas con distintas velocidades de transmisión al vapor de agua y a los gases como el O₂ y CO₂ por la diferente cantidad del material plastificante utilizado, por lo que se aumenta la concentración del plastificante, tenemos un incremento de la permeabilidad al vapor de agua y a los gases del producto, ya que el pliofilm por sí mismo se trata de un material impermeable a los gases que se tendría que perforar para obtener una atmósfera gaseosa adecuada en el alimento.^{1,3,18,26,27,37}

Películas laminadas o multicapas.

Las películas individuales con frecuencia se cubren con otros polímeros o aluminio para mejorar sus propiedades de barrera a los gases o para mejor su sellado térmico utilizando de forma aislada o en combinación materiales como: plástico, papel/plástico, papel/aluminio y papel/aluminio/plástico.³⁷

4.6.4 Características de permeabilidad de los plásticos.

A medida que aumentan las ligaduras transversales y la cristalinidad de los plásticos la difusión de los gases disminuye, por lo que los empaques más gruesos serán una mejor barrera para los gases al tener menos poros o perforaciones pequeñas, a diferencia de materiales más porosos como el PVC y acetato de celulosa, donde las fluctuaciones de humedad en las frutas y hortalizas hacen que se conduzcan más rápido los gases debido al hinchamiento de los poros (Pantástico, 1979).^{1,18,26,37}

Tabla 4. Permeabilidad al O₂, CO₂ y vapor de agua de algunas películas usadas para envasar productos hortícolas.

Película	O ₂	CO ₂	Vapor de agua
Serán	8-26	52-150	4.0-6.5
PET orientado	36-45	580-756	19-23
PET no orientado	109-125	542-675	42-49
Poliéster	77-750	770-55000	78-132
PVC	130-1300	520-5200	2.5-3.8
Pliofilm	1300-6400	7700-21000	72-98
Polietileno de baja densidad	1705-1725	8634-10102	10-30
Polietileno de alta densidad	7500-8024	7700-9258	3.8-4.5

Polipropileno (no orientado)	2600-7700	10000-26000	10-12
Polipropileno (orientado)	3900-1300	7700-10231	6-8

Donde la permeabilidad al O_2 y CO_2 esta dado en $cm^3/m^2/d/atm$ a $20^\circ C$ y 0 % de H.R. y la permeabilidad al vapor de agua $cm^3/m^2/d/atm$ a $38^\circ C$ y 90 % de H.R. respectivamente. Fuente: Fellows (1994) y Paine (1994).

4.6.4.1 Movimiento de los gases y vapor de agua a través de las películas plásticas.

Esta relacionado con el tamaño de las aberturas y la longitud de la trayectoria que siguen las moléculas que se difunden por la película, donde entre más grandes sean los poros más corto es el camino y entre más pequeñas sean las moléculas que se difunden mayor será el movimiento de las moléculas a través de la película. En un material poroso se efectúa un flujo capilar a través de poros muy pequeños tomando en cuenta principalmente el material de empaque en vez de la transmisión del gas como el vapor de agua, ya que la difusión del gas en si toma en cuenta la naturaleza del gas, su solubilidad y concentración (Pantástico, 1979).¹⁸

Los polímeros saturados tienen tasas menores de difusión que los polímeros no saturados (Pantástico, 1979), de ahí que la permeabilidad si pueda representar la facilidad de transmisión de gases, vapores, líquidos, moléculas e iones en solución a través del material de empaque sin considerar el mecanismo que interviene, ejemplos: a) el O_2 y N_2 que son moléculas simples e inertes a los empaques, en su forma líquida tienen mayor permeabilidad en las películas plásticas que cuando son vapor y b) los vapores orgánicos que tienen diferentes grados de penetración a través de los poros de las películas plásticas en el polietileno de baja densidad tienen menor independencia debido a su polaridad.¹⁸

4.6.4.2 Atmósfera creada en el interior del empaque.

Pantástico (1979) afirma que se dispone de películas comerciales con distintas permeabilidades al O_2 y CO_2 , aunque la mayoría de estas son más permeables al CO_2 que al oxígeno, por lo que la tasa de acumulación de CO_2 procedente de la respiración del producto es menor que la tasa de agotamiento del oxígeno correspondiente.¹⁸

En un envase muy impermeable a los gases todo el O_2 se consume en poco tiempo y se producen altas cantidades de CO_2 , ocasionando que la respiración del producto se vuelva anaeróbica y se produzcan

sustancias como el etanol y acetaldehído, además del CO₂ en concentraciones del 20% o más ocasionando un hinchamiento de los paquetes del producto.^{1,3,18,26}

El empleo de películas plásticas como empaques requiere de control cuidadoso de la atmósfera gaseosa generada en el producto en base a: a) tipo y grosor de la película empleada, b) temperatura y humedad del almacenamiento c) concentración de los productos de respiración del alimento, d) tipo y cantidad del alimento, e) envasado y sellado del producto y f) permanencia del producto en el anaquel^{1,3,18,26,37,46}

4.6.4.2.1 Características de las Atmósferas Modificadas y Controladas.

Dos de las técnicas de envasado de frutas y hortalizas que permiten alargar su vida de anaquel sin causarles deterioro en sus características organolépticas mediante el control de los desórdenes fisiológicos son las atmósferas controladas (EAC) y las atmósferas modificadas (EAM).⁴⁶

Ambas técnicas se basan en el cambio de la composición gaseosa de la atmósfera que rodea a los alimentos, reduciendo el contenido de oxígeno y aumentando el contenido de CO₂, mediante métodos de barrido utilizando que utilizan un flujo de gas seguido que es introducido en el envase después de la evacuación del oxígeno.^{1,3,18,26,37,46}

La composición gaseosa en el envasado en atmósfera controlada (FAC) se realiza con la elección adecuada de las propiedades de permeabilidad del material usado para envasar alimentos y mediante su almacenamiento en una cámara frigorífica con niveles de O₂, CO₂ y vapor de agua controlados. En cambio en el envasado en atmósfera modificada (EAM) únicamente cambia la composición de los gases de la atmósfera que rodea al alimento envasado y ya no se realiza un control en dicha composición, por lo que las concentraciones de los gases en el producto son menos precisas que las concentraciones de los gases generadas mediante el envasado en atmósferas controladas.^{1,3,18,26,37,46}

4.6.4.2.2 Características de la atmósfera controlada (EAC).

El envasado en atmósfera controlada (EAC) permite conservar un producto hortícola, por la generación de una atmósfera empobrecida de oxígeno y enriquecida en CO₂ al utilizar un material de envase adecuado en el producto el cual es posteriormente almacenado a bajas temperaturas y ambientes de 90-92% de H.R. en una cámara frigorífica, para evitar los daños por frío y su degradación microbiológica. La acción del

EAC sobre la respiración del producto es más importante que el retraso de su maduración, ya que al disminuir la respiración, la producción de etileno también puede disminuir, de ahí que el control y rectificación de la mezcla de los gases durante el almacenamiento sea importante para evitar una reactivación vegetativa en el producto que se presenta cuando este es expuesto al aire atmosférico ambiental.⁴⁶

En este tipo de envasado se ha incrementado el empleo de películas selectivamente permeables a bajas cantidades de O₂ y altas cantidades de CO₂ para no afectar la respiración natural del producto mediante la anaerobiosis que promueve la formación de productos metabólicos de la glucólisis anaeróbica y que afectan seriamente la calidad del producto.^{1,3,18,26,37,46}

4.6.5.2.3 Envasado en atmósfera modificada (EAM).

El envasado en atmósfera modificada (EAM) permite ampliar la vida anaquel de los productos vegetales sometidos a diferentes métodos de conservación, porque es una técnica de envasado más moderna que la del envasado en atmósfera controlada y utiliza nuevos materiales de envase como el polietileno de baja densidad, denominados “activos” e “inteligentes”, ya que permiten almacenar por más tiempo los productos sin alterarles demasiado sus características organolépticas y fresca a un bajo precio, lo cual puede ser de gran utilidad para fomentar la exportación de los productos hortícolas a países alejados como Japón y para lograrlo se deben de tomar en cuenta los siguientes elementos: materiales de envase, mezcla gaseosa, equipos de envasado, manipulación y comercialización, todo ello en función de la naturaleza del producto a envasar.^{1,3,18,26,37,46}

Existen dos formas principales de envasado en atmósferas modificadas: el envasado a vacío y el envasado en gas, los cuales se describen a continuación:^{1,3,18,26,37,46,47}

1) Envasado a vacío que es la forma comercial más desarrollada y que utiliza una cámara que se cierra herméticamente para extraer el oxígeno del aire del interior del envase preformado o termoformado que contiene el producto y a continuación se introduce nitrógeno gaseoso (N₂) sólo o con dióxido de carbono (CO₂) por medio de lanzas o compuertas; el proceso consta de dos etapas en las que la velocidad de extracción del oxígeno es más lenta que la de inyección de gas o mezcla de gases. El uso de películas

poco permeables al oxígeno durante el envasado y sellado permite obtener una composición de 21% de oxígeno, 78 % de nitrógeno y el resto por dióxido de carbono y otros gases presentes en la atmósfera gaseosa que rodea al producto. El sellado de las bolsas que se consigue mediante esta técnica de envasado es de muy buena calidad, por lo su uso es recomendable para las industrias con baja producción, ya que los envases que se pueden utilizar son económicos.^{1,3,18,26,37,46}

2) Envasado a gas, se realiza principalmente por:

a) Modificación pasiva de la atmósfera gaseosa en productos como las frutas y hortalizas que continúan respirando después de su recolección, consumiendo oxígeno y produciendo dióxido de carbono y vapor de agua, al emplear un material de empaque con permeabilidad que permita tener concentraciones de 2-5% de O₂ y 3-8% de CO₂, en la atmósfera generada a fin de retrasar la maduración, reblandecimiento, degradación de pigmentos, podredumbres microbiológicas y pardeamiento enzimático que se presentan en el producto.^{1,3,26,37,46}

b) Envasado activo. Consiste en la adición de aditivos en el film del envase para modificar la atmósfera gaseosa formada en el espacio de cabeza y así incrementar la vida de anaquel del producto. Las sustancias que se utilizan en este tipo de envasado son las siguientes:^{1,3,26,37,46}

1. Absorbentes de O₂. Se utilizan frecuentemente en forma de bolsas pequeñas que contienen reductores metálicos como el hierro en polvo que reduce los niveles de O₂ por debajo del 0.1% cuando forma óxido de hierro no tóxico al reaccionar con el oxígeno de la atmósfera que rodea al producto, aunque para evitar problemas toxicológicos con los metales también se emplean sustancias como: el ácido ascórbico o ascorbato y enzimas como la glucosa oxidasa.^{1,3,26,37,46}

2. Absorbentes / emisores de CO₂. Los sobres comerciales que emiten CO₂ se elaboran a base de bicarbonato de sodio y los sobres comerciales que absorben el CO₂ se elaboran a base de hidróxido de calcio, carbón activo y zeolita.

3. Generadores de vapor de etanol. El etanol es muy conocido por sus propiedades antimicrobianas, por lo que se puede pulverizar para adicionarse directamente en el producto antes de su envasado o bien puede adicionarse al producto después del envasado mediante la aplicación de otras técnicas de adición..^{1,3,26,37,46}

4. Absorbedores de etileno. Como el gel de sílice con permanganato y dióxido de silicón, que sirven para evitar maduración acelerada e incremento respiratorio del producto por una acumulación excesiva de etileno.^{1,3,26,37,46}

En el envasado en atmósfera modificada se procura reducir al máximo el contenido en oxígeno que es utilizado tanto por los microorganismos aerobios que provocan la descomposición de los tejidos vegetales que continúan respirando y por algunas enzimas que provocan la oxidación de los alimentos, en lugar de reducir la concentración del CO₂, que es un gas altamente soluble en agua y con propiedades bacteriostáticas y fungistáticas que retardan el crecimiento de hongos y bacterias aeróbicas, a excepción de las bacterias ácido-lácticas y levaduras, por la prolongación de la fase vegetativa del crecimiento microbiano.^{1,34,15,26,37,46}

La absorción de CO₂ en el producto depende de los contenidos de humedad y grasa, ya que se trata de un gas que no es completamente inerte, pero que se difunde más rápido que otros gases en el film de envasado utilizado y puede influir negativamente sobre el color, sabor, olor y consistencia de los productos hortícolas como: manzanas, naranjas, plátanos, fresas, etc., al estimularse la degradación de los carbohidratos mediante la glucólisis anaerobia.^{1,3,15,18,26,37,46}

El N₂ es un gas inerte con baja solubilidad en el agua y grasas que se utiliza en la atmósfera modificada para desplazar el O₂ que provoca la rancidez de los frutos secos y evitar el colapso de los envases que absorben CO₂.^{1,3,4,15,26,37,46}

El empleo de películas de diferente permeabilidad da lugar a la formación de distintas atmósferas gaseosas de equilibrio en función de las necesidades y respuesta de la respiración, cambios bioquímicos y lenta difusión de los gases en el producto a través del envase durante su almacenamiento por lo que la vida de anaquel lograda en los productos alimenticios es variable. La envoltura individual de los productos con una película retráctil forma una segunda lámina externa de protección y una microatmósfera alrededor del alimento que evita: la pérdida de humedad y la propagación de podredumbres microbianas al mejorar las condiciones higiénicas de su manipulación. La atmósfera que se consigue en el envase varía con el paso del tiempo.^{3,37,46,47}

4.6.5.2.4 Ventajas e inconvenientes del envasado en atmósfera controlada (EAC) y el envasado en atmósfera modificada (EMAM).

VENTAJAS:

- a) Disminución del metabolismo y respiración del producto. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- b) Aumento de la vida de anaquel del producto envasado manualmente en un 40 y 60 %.
- c) Reducción de alteraciones y podredumbres microbianas. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- d) Reducción de las mermas por peso. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- e) Reducción de las fisiopatías en el producto al almacenarlo a bajas temperaturas. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- f) Mayor resistencia del producto a sufrir un metabolismo acelerado. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- g) Efecto antimicrobiano por la elevada concentración de CO₂. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- h) Reducción del calor liberado al desacelerarse la respiración. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- i) Poca o ninguna necesidad de usar conservantes químicos. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- j) Mejor presentación del producto por su clara visión y visibilidad en el entorno. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- k) Reducción de desechos a nivel de detallistas. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- l) Facilidad para realizar el apilado higiénico de los envases que elimine los espacios libres entre cada unidad para minimizar el goteo y la generación de olores extraños en el producto. ^{1,3,18,26,37}
- m) Incremento de su comercialización al reducirse los costos de producción y transporte por la menor frecuencia de reparto. ^{1,3,18,26,37,46,47}

INCONVENIENTES:

- a) Generación de anaerobiosis en el producto al no utilizar un material de envasado con permeabilidad adecuada que disminuya la cantidad de O₂ en el medio y acumule al CO₂ de forma excesiva, afectando las características organolépticas del producto al estimularse la glucólisis anaerobia. ^{1,3,18,26,37,46,47}
- b) Desórdenes fisiológicos. Al no haber las concentraciones adecuadas de O₂ y CO₂, ya que si el O₂ está a una elevada concentración tendremos una mayor degradación microbiana que se acompañe con la maduración acelerada del producto o bien por el contrario se provoca una producción excesiva de CO₂ que

induce a la formación de manchas, sabores y olores extraños en el producto por la estimulación de la glucólisis anaerobia. ^{1,3,18,26,37,46,47}

c) Mayor probabilidad de crecimiento microorganismos patógenos sobre el producto por las condiciones anaeróbicas generadas que inhiben a la flora competitiva a pesar de almacenarlo a bajas temperaturas, ya que estos microorganismos pueden crecer. ^{1,3,18,26,37,46,47}

d) Aumento de las incompatibilidades entre las variedades de frutas y verduras hacia este tipo de envasados por su distinta tolerancia a los gases. ^{1,3,18,26,37,46,47}

e) Pérdida inmediata de los beneficios de este tipo de envasados en el producto cuando se abre o se perfora el envase. ^{1,26}

f) Inversión inicial elevada debido a que la compra y mantenimiento de las cámaras frigoríficas que cuentan con equipo especial para mantener las condiciones de humedad relativa y concentraciones de los gases adecuadas en el producto es costoso. ^{1,3,18,26,37,46,47}

g) Limitaciones de apertura de la cámara de almacenamiento en el EAC. ^{1,3,18,26,37,46,47}

4.6.4.2.5 Factores importantes para crear y mantener las atmósferas modificadas o controladas:

De acuerdo al autor Yahia, (1992) tenemos que son los siguientes:

a) Características fisiológicas y bioquímicas del producto. ^{1,3,18,26,37,46,47}

b) Material, grosor y permeabilidad adecuada a los gases y vapor de agua del envase del producto alimenticio. ^{1,3,18,26,37,46,47}

c) Niveles de tolerancia a los gases de la atmósfera generada que rodea al producto durante su almacenamiento. ^{1,3,18,26,37,46,47}

d) Buen estado sanitario de las materias primas. ^{1,3,18,26,37,46,47}

e) Temperaturas bajas de almacenamiento. ^{1,3,18,26,37,46,47}

f) Máquinas de envasado eficientes en la inyección de gas(es) y sellado, de buen diseño sanitario para facilitar su limpieza. ^{1,3,18,26,37,46,47}

g) Mezcla adecuada de gases. ^{1,3,18,26,37,46,47}

4.6.4.4 Ventilación de los envases.

Es conveniente perforar a los envases poco permeables utilizados en el envasado de productos hortícolas como: fresas, manzanas y uvas para proporcionar su ventilación y evitar la generación de la glucólisis anaerobia que afecta las características organolépticas del producto o la condensación excesiva del vapor de agua en agua líquida que promueva el desarrollo de los microorganismos de putrefacción, a excepción de productos como: las patatas, ensalada de col y hortalizas recién cortadas que retienen mejor su calidad al ser envasados en películas plásticas con adecuada permeabilidad a los gases en condiciones de refrigeración (Pantástico, 1979), pues de lo contrario la atmósfera gaseosa del ambiente que rodea al producto es alta en CO₂ y baja en O₂, provocando la formación de olores y sabores desagradables en los productos a pesar de que estos luzcan todavía atractivos (Pantástico, 1979).^{1,3,18,26,37,46,47}

4.7 Recubrimientos superficiales

Actualmente ha resurgido el interés por desarrollar recubrimientos comestibles que incrementen la conservación de alimentos sin contaminar el ambiente por el abuso de envases a base de materiales sintéticos no biodegradables, pero debido a que la información técnica disponible para la elaboración de estos recubrimientos es amplia y específica para cada alimento, trae como consecuencia que su desarrollo continúe siendo un reto para el tecnólogo de alimentos.⁵

Los recubrimientos comestibles se aplican a frutas y hortalizas en forma de películas delgadas de diversos materiales como emulsiones de ceras naturales o artificiales con la finalidad de crear una barrera que disminuya: el proceso de respiración al reducir la cantidad de oxígeno disponible, las pérdidas de peso al reducir la transpiración del vapor de agua y la contaminación microbiológica cuando los recubrimientos tienen fungicidas en su formulación.^{5,38}

Las formulaciones de los recubrimientos son tan variadas y pueden contener principalmente los siguientes ingredientes o componentes: ceras, resinas o polímeros, disolvente que juega un papel importante en el tiempo de secado, emulsificante, abrillantador, fungicidas, colorantes, reguladores de pH y crecimiento fitorregulador como el etileno. Los productos que han sido recubiertos con cera no requieren control

estricto sobre la Humedad Relativa durante su almacenamiento porque la cera no se disuelve y confiere brillo al producto.^{5,38}

4.7.1 Componentes de los Recubrimientos.

Son principalmente: lípidos, resinas, polisacáridos y proteínas, pudiendo incluirse materiales plastificantes como: los alcoholes polihídricos, aceites, ceras, lecitina, ácidos grasos y derivados que se adicionan para mejorar la flexibilidad y elongación de las sustancias poliméricas para evitar escamas y grietas; la adición de agentes de superficie activa (surfactantes) y emulsificantes como la lecitina reducen la actividad superficial del agua y la pérdida de humedad en los productos; emulsificantes, polietilenglicol, silicona y agentes de liberación y lubricantes como las grasas y aceites se añaden para prevenir la pegajosidad de los alimentos cubiertos (Gennadios y Weller, 1990; Baldwin et al., 1995).⁵

Los ingredientes o componentes se clasifican en tres categorías: hidrocoloides, lípidos y compuestos combinados, los cuales deben de ser GRAS (generalmente reconocido como seguro) y su función dependerá de la concentración, estructura química, grado de dispersión en la película e interacción con el polímero (Kester y Fennema. 1986), pues existe la posibilidad de que pueda alterar adversamente las propiedades de resistencia al vapor de agua, gases o transporte de solutos en el recubrimiento.⁵

Se ha reportado que los recubrimientos hechos con ceras polietilénicas tienen valores de permeabilidad al O₂ y CO₂ altos en comparación de las de polímeros, lo cual los hace altamente recomendables para frutas y hortalizas que son almacenadas bajo condiciones controladas de gases y humedad relativa al requerir tasas de respiración altas que provoquen el metabolismo anaeróbico (Hagenmaier y Shaw, 1991).⁵

4.7.2 Tipos de recubrimientos de acuerdo a su componente mayoritario.

Hidrocoloides. Se aplican a alimentos en los que el control de la migración del vapor de agua no es importante, pues son excelentes como barrera para la difusión del O₂, CO₂ y lípidos, además de tener propiedades mecánicas deseables que las hacen útiles para mejorar la integridad estructural de productos frágiles; al ser estos recubrimientos solubles en agua ofrecen como ventaja adicional que el producto alimenticio recubierto con él pueda disolver el recubrimiento mediante un calentamiento previo a su consumo sin alterarle sus características organolépticas.⁵

Los hidrocoloides modificados utilizados para la elaboración de recubrimientos comestibles se clasifican de acuerdo a su composición (carbohidratos o proteínas), carga molecular y solubilidad en agua, aunque comercialmente los más utilizados incluyen: almidones, gomas vegetales y almidones químicamente modificados.⁵

Los recubrimientos comestibles formulados con polisacáridos como: celulosa, pectina, almidón, alginatos, quitosano, carragenina y gomas ofrecen buena barrera a los gases y se adhieren bien a las superficies cortadas de frutas y hortalizas sin ser grasosos. Su funcionalidad como barrera contra la pérdida de humedad es pobre debido a su naturaleza hidrofílica, (Baldwin et al., 1995) aunque pueden emplearse para extender la vida de anaquel de frutas, hortalizas, productos marinos o carne al reducir su deshidratación, rancidez oxidativa y oscurecimiento superficial.⁵

Los polisacáridos solubles en agua no son tóxicos y son polímeros de larga cadena que al disolverse o dispersarse en agua confieren un efecto de engrosamiento o viscosidad, que permita obtener: dureza, crujidez, compactabilidad, adhesividad, engrosamiento y gelación en el producto, sin aumentar su costo por ser materiales muy disponibles en el mercado (Nisperos-Carriedo, 1994).⁵

Proteínas. Principalmente: la caseína, gelatina, proteína de soya, zeína, albúmina de huevo, etc. son buenas formadoras de películas que se adhieren a las superficies hidrofílicas, sin resistir la dilución al vapor de agua en la mayoría de los casos (Rendell-Dunn. 1990) de ahí que se empleen en combinación con materiales hidrofóbicos para reducir la pegajosidad del producto (Gennadios et al., 1994).⁵

Lípidos y/o resinas. Los recubrimientos a base de estos componentes se elaboran con ceras y aceites como: la cera o aceite de parafina, cera de abejas, cera de carnauba, cera de candelilla, aceite mineral, aceite vegetal, monoglicéridos acetilados, ácido estearico, ácido láurico o ésteres de ácidos grasos/sacarosa por ser barreras efectivas contra la humedad, ya que las formulaciones de recubrimientos que contienen resinas (shellac, rosín de madera, etc.) son más permeables al vapor de agua en menor grado que los recubrimientos a base de polisacáridos (Hagenmaier y Shaw. 1990). Recientemente se ha

reportado que algunos lípidos y la mayoría de las cubiertas de resinas pueden generar condiciones anaeróbicas debido a su baja permeabilidad al O₂ y CO₂, aunque también presentan problemas de adhesión a las superficies cortadas de naturaleza hidrofílica (Hagenmaier y Shaw. 1992).⁵

Las "ceras acuosas" son muy empleadas para conservar cítricos y están elaboradas principalmente de ingredientes como: agua, shellac y/o resina de madera, morfina en pequeñas cantidades, ácido oleico y una cera polietilénica que es muy disponible a nivel comercial. Las "ceras en solventes" no son tan populares en la industria alimentaria, debido a que el éter de petróleo utilizado es costoso y requiere de sistemas de ventilación especiales porque altera el ambiente (Kaplan, 1986).⁵

Multicomponentes. Con la intención de aprovechar las ventajas y desventajas de los diferentes componentes mayoritarios de las formulaciones desarrolladas recientemente, para los recubrimientos comestibles están elaboradas con distintas combinaciones o laminaciones de componentes para mejorar las propiedades de intercambio gaseoso, adherencia y permeabilidad al vapor de agua en el producto.⁵

4.7.2.1 Tipos de emulsión.

Una emulsión es un sistema heterogéneo de ingredientes con al menos un líquido miscible que se disperse un ingrediente en otro en forma de gotas. La estabilidad de las emulsiones es baja, a menos que se refuerce con aditivos como agentes tensoactivos o sólidos finamente divididos y se clasifican principalmente en: a) macroemulsiones porque el tamaño de su partícula es del orden de 2 000-100 000 amstrongs, lo cual hace que estas soluciones sean: turbias, de color lechoso y termodinámicamente inestables que confieran poco brillo a los productos en los que se aplican (Baldwin et al.. 1997) b) microemulsiones porque los tamaños de partícula oscilan entre 1 000 y 2 000 amstrongs, lo que permite que las soluciones sean claras y termodinámicamente estables para conferir brillo al producto (Hernandez. 1994).⁵

4.7.3 Métodos de Aplicación de Películas y Recubrimientos.

Las primeras metodologías en usarse fueron principalmente: inmersión, cepillado o envoltura individual del producto en papeles aceitosos para dispersar mejor el material del recubrimiento sobre la superficie del producto de forma uniforme.⁵

Inmersión. Este método fue descubierto por la industria de cítricos de Florida (Austin y Burns, 1994) porque impartió brillo y una vida de anaquel más larga a sus productos, lo cual permitió incrementar las ventas de la compañía y la promoción de la aplicación de los recubrimientos comestibles a otros productos hortícolas como tomates y pimientos. La inmersión del producto se realiza mejor cuando este se añade en pequeñas cantidades que se lavan, secan y sumergen en el tanque que contiene al recubrimiento sin importar el tiempo de inmersión, a diferencia de su humedecimiento completo para obtener un buen recubrimiento homogéneo en el producto, el cual es transportado mediante una banda transportadora hacia el secador para eliminar el agua, aunque en lugares calurosos el producto se deja secar a temperatura ambiente.⁵

Los tanques para la inmersión deben estar equipados con una canastilla perforada que pueda levantarse para tamizar y eliminar el exceso de la solución del recubrimiento para que el producto se seque sin diluir a la resina o emulsión, lo cual hace que se prefiera utilizar otros métodos de aplicación para recubrimientos cuando se van a tratar grandes cantidades de producto a diferencia de algunos vegetales y frutas tropicales delicados como las fresas que requieren de coberturas gruesas de recubrimiento para conservarse mejor.

Espuma. Este método ha sido casi completamente reemplazado por otros métodos de aplicación, ya que consiste en adicionar un agente espumante al alimentos o inyectarle aire comprimido a presiones menores de 5 psi o 34.5 kPa dentro del tanque aplicador de tal forma que la espuma agitada se deje caer sobre el alimento, por lo que cuando este pasa sobre los rodillos el recubrimiento es distribuido homogéneamente sobre el producto, mediante cortinas de tela o cepillos y el exceso de cobertura que se elimina con esponjas que se colocan debajo de los rodillos se recircula; las emulsiones espumosas contienen muy poca agua y por lo tanto facilitan el proceso de secado.⁵

Aspersión. Es un método convencional para aplicar la mayoría de los recubrimientos a frutas y hortalizas mediante aspersores de baja presión quienes colocan cubiertas en exceso, que con frecuencia se recuperaban y recirculaban por lo que para emplear mucho menos material de recubrimiento se utilizan presiones de 60-80 psi (414-553 kPa) mediante aspersores de alta presión. Los problemas que se presentan

durante la aspersión del recubrimiento son su dilución y contaminación de manera similar que cuando se utiliza el método de inmersión, pero con la diferencia de que el tamaño de la boquilla de la esprea es crítico pues las espreas pequeñas con frecuencia se obstruyen y las grandes depositan mucho recubrimiento.⁵

Se han empleado sistemas atomizados de aire conectados a las bombas medidoras, en donde el aire entra por la cabeza de la esprea a presiones de 5 psi (34.5 kPa) o menores y la cubierta es depositada por una bomba medidora a menos de 40 psi (276 kPa), aunque aquí el tamaño de la esprea no es crítico tenemos que el aire puede ser costoso y por consiguiente es un factor a considerar en su selección para la aplicación de los recubrimientos en los productos.⁵

En el caso de cítricos, manzanas, peras, tomates pepinos, calabazas, limones y pepinos, el recubrimiento se asperja sobre ellos mientras estos van pasando por debajo de un juego de espreas fijas o móviles, para posteriormente viajar sobre una banda de cepillos rotatorios que distribuyen de forma uniforme al recubrimiento sobre el producto, de los cuales los de corte recto son más eficientes para productos redondos o ligeramente elípticos y los diseños de corte espiral o de tipo caprichoso se emplean para productos pequeños, aplanados y/o de forma irregular que requieren de una acción más desordenada para obtener un buen recubrimiento.⁵

Es recomendable que los cepillos estén hechos de una mezcla constituida de 50% de pelo de caballo y 50% de cerdas de polietileno, pues los cepillos sintéticos muy suaves son superiores a los propósitos de aplicación de los recubrimientos debido a su suave textura y alta absorbencia que tienen de recubrimiento, permitiendo aplicar velocidades de rotación de 100 rpm o menores, para lograr una distribución lo más homogéneamente posible en el producto (Wardowski et al., 1987).⁵

En el caso de las raíces y alimentos tropicales tiernos, las soluciones de resinas o emulsiones se asperjan de forma homogénea a presión sobre la superficie, del producto que es transportado por el movimiento rotatorio de los rodillos de las bandas.⁵

Las ceras en solventes se aplican en cítricos limpios y secos dentro de una cámara ventilada por medio de espreas fijas que están montadas en el centro de la cámara, por lo que el producto es transportado en

bandas de rodillos giratorios que lo voltean conforme se va aplicando el recubrimiento y la ventilación con ventiladores estacionarios montados en la parte superior a la salida de la cámara que permite la evaporación del solvente que genera problemas de contaminación ambiental, de ahí que se haya discontinuado este tipo de ceras (Kaplan, 1986).⁵

Goteo. Actualmente es el método más económico para aplicar recubrimientos en frutas y hortalizas y existen diferentes equipos que proporcionan la alimentación del recubrimiento en una gran variedad de tamaños de gotas donde los dosificadores generalmente van montados sobre un multiconector de doble banco y están separados a distancias de una pulgada a lo largo y ancho del equipo.⁵

La bomba opera a presiones no mayores de 40 psi (276 kPa) y ofrece versatilidad para aplicar el recubrimiento ya sea directamente sobre el producto o sobre los cepillos, sin embargo como las gotas son muy grandes sólo se puede obtener un recubrimiento uniforme en el producto cuando se proporciona un adecuado movimiento de giros con varios cepillos que estén saturados de la formulación, para posteriormente utilizar sistemas de flujo de aire que promuevan el secado y pulido adecuado de los productos cubiertos con recubrimientos de tipo acuoso (Kaplan, 1986).⁵

Colado (Casting). Es un método de aplicación derivado de las metodologías anteriormente mencionadas y como características principales tenemos que es de aplicación simple ya que permite un control preciso del grosor del recubrimiento sobre superficies planas y lisas mediante su extensión o vaciado en el producto de manera similar a la preparación de las placas empleadas para la cromatografía en capa fina.⁵

4.7.4 Funciones de los recubrimientos comestibles en alimentos.

Los recubrimientos actúan como:

- Barrera a gases y vapor de agua de forma similar a una atmósfera controlada, al estabilizar los gradientes de actividad de agua para preservar las propiedades de textura impartidas por los diferentes componentes del alimento a bajo precio.⁵
- Cubiertas protectoras que evitan la migración de grasas y aceites esenciales en los alimentos que son susceptibles a la oxidación.⁵

- Vehículos para otros ingredientes que han de incorporarse en las formulaciones de los alimentos como: agentes antimicrobianos, sabores, antioxidantes y pigmentos, de tal forma que el producto retenga su calidad por más tiempo.⁵
- Mejoradores de las propiedades mecánicas o de integridad estructural del producto alimenticio para mantener intacta su composición durante la distribución y comercialización del mismo.⁵
- Protectores físicos de alimentos muy susceptibles a los daños físicos durante su transporte como las frutas y hortalizas frescas.⁵

4.7.5 Efectos Fisiológicos de los Recubrimientos.

Respiración. El recubrimiento del producto crea una atmósfera modificada en su interior con un contenido bajo de O₂ y un elevado contenido de CO₂, que no permite la evaporación de agua en el producto mediante la transpiración, a diferencia de los productos que no tienen recubrimiento, pero si el material del recubrimiento no es el adecuado para el producto este favorecerá un ambiente anaerobio que le genere aromas y sabores indeseables al consumidor, además de su rápido deterioro.^{5,38}

Se piensa que la actividad respiratoria en los productos con recubrimiento es análoga a los productos almacenados en atmósferas controladas y al ser cierto, esto representaría una ventaja económica deseable para el productor, ya que el mantenimiento de una cámara de almacenamiento en atmósfera controladas es muy caro y no permite mantener el control respiratorio del producto durante su distribución.⁵

Transpiración. El proceso fisiológico de la transpiración de los productos vegetales consiste en la pérdida de agua en forma de vapor a través de los poros naturales que se encuentran en la epidermis, lenticelas y estomas del tejido vegetal. En los productos cosechados la pérdida de agua se traduce en una pérdida de peso y un consecuente marchitamiento o deshidratación que deteriora la calidad del producto por aceleración de su senescencia que es más evidente en frutas y hortalizas por sus altos contenidos de agua, de ahí que estos se almacenen en ambientes altamente húmedos (90-95% HR) para reducir estos problemas.⁵

Los primeros recubrimientos comerciales se desarrollaron principalmente para reducir la pérdida de humedad mediante ingredientes hidrofóbicos a base de ingredientes como: ceras, aceites y resinas, a los

que posteriormente se les adicionó shellac o cera de carnauba para conferir mayor brillo al producto (Baldwin. 1994).⁵

Control de pudriciones y deterioro. Las principales pérdidas post-cosecha de frutas y hortalizas se deben al desarrollo de pudriciones causadas por hongos y algunas bacterias durante su almacenamiento y distribución y pueden controlarse mediante la aplicación de cubiertas cerosas solas, pero reportes recientes muestran que es posible tener un mejor control sobre el producto cuando el recubrimiento contiene sustancias antimicrobianas en su formulación (Waks et al. 1985. Brown. 1994).

Actualmente, la mayoría de los fungicidas permitidos para el control de las pudriciones microbianas postcosecha se adicionan en la formulación de los recubrimientos aceite-agua que se aplican por inmersión o aspersión y su efecto de inhibición del crecimiento fúngico es directo e indirecto al reducir la velocidad del proceso de maduración del producto.^{5,38}

La selección de un agente antimicrobiano para su aplicación post-cosecha específica a un alimento depende de: a) la sensibilidad del patógeno al agente químico, b) la propiedad del agente químico para penetrar a través de las barreras de superficie del alimentoto hasta el sitio de infección y c) la tolerancia del alimento al agente químico desde el punto de vista de fitotoxicidad y el efecto adverso en su calidad.⁵

4.7.6 Efecto en el Control de Fisiopatías.

Existen evidencias del potencial protector que pueden conferir algunos recubrimientos por sí mismos en la reducción o prevención del desarrollo de fisiopatías como: la reducción de la susceptibilidad a los daños por frío en: toronjas, naranjas y melones tratados con ceras polietilénicas (Wild. 1993) o con películas plásticas de permeabilidad diferencial (Wardowski et al.. 1973).⁵

El escaldado superficial es un desorden fisiológico que se presenta durante el almacenamiento prolongado de manzanas y peras en las que se desarrollan manchas irregulares de color café sobre su piel por el oscurecimiento de las células hipodérmicas por una oxidación de compuestos aromáticos y volátiles que se evita añadiendo antioxidantes como el ascorbil-palmitato ya sea en producto alimenticio o en la formulación del recubrimiento (Bauchot et al.. 1995).⁵

El uso de recubrimientos lipídicos reduce la abrasión superficial de las cubiertas permitiendo mantener la turgencia y características de frescura en los productos mínimamente procesados (Avena-Bustillos et al., 1993), además de reducir la degradación de la clorofila que provoca el desverdecimiento de productos hortícolas como las limas y limones cuando se les aplica a estos recubrimientos formulados con un polisacárido y aceite de soya (limas) o un polisacárido y aceite mineral (limones) debido a que se produce un efecto parecido al de el almacenamiento en atmósferas modificadas del producto.⁵

El mecanismo de conservación de las características organolépticas en productos cubierto con algún recubrimiento comestible aún no se ha elucidado por completo (Nisperos-Carnedo 1990), pero se ha encontrado que el jugo extraído de las naranjas cubiertas con algún recubrimiento comestible y almacenadas de 8 a 10 días a 10 °C, contenía hasta 14 veces más esteres volátiles muy fragantes que confieren al jugo de naranja su sabor característico y son compuestos formados por la combinación de química de un ácido y un alcohol.⁵

4.7.7 Recubrimiento CMAM.

4.7.7.1 Antecedentes.

La goma de mesquite (*Prosopis juliflora*) es un exudado natural del árbol de mezquite que es químicamente una sal neutra de un polisacárido ácido complejamente ramificado que posee residuos centrales de β -D-galactosa con enlaces (1-3) unidos firmemente a enlaces ramificados (1-6) que sostienen azúcares como: L-arabinosa y L-ramnosa y oligosacáridos: β -D-glucuronato y 4-O-metil- β -D-glucuronato en un solo lado de la cadena.⁶

La goma de mesquite sirve para elaborar películas y recubrimientos comestibles, porque es un buen agente emulsificante que permite elaborar emulsiones aceite-agua y un buen agente microencapsulante de aceites esenciales y colorantes.⁶

Díaz-Sobac, García, Beristain y Vernon Carter (2002) reportaron que las películas comestibles elaboradas con la emulsión de goma de mesquite como agente estructural y el 60-Polisorbac 80 como fase lipídica tenían una permeabilidad de agua de 56-84 g·mm / kPa·d·m² en un rango de gradientes parciales de vapor de agua de 92-86% a 92-53% cuando la concentración del surfactante era de 20% (v/v).⁶

La cera de candelilla es una cera natural obtenida del carrizo (*Euphorbia antisiphitica* y *Euphorbia cerifera* alcocer), que al someterse a un proceso industrial queda en forma de capa blanquecina con puntos altos de fusión (68.5-72.5°C), pero comúnmente se comercializa en color gris o de amarillo claro cuando es pura y de aspecto de resina en vez de cera. La cera de candelilla es un material céreo lustroso, oloroso, duro, poco quebradizo y viscoso cuando se funde, a diferencia de la cera carnauba, pero más duro y quebradizo que la cera de abeja.^{6,38}

La cera de candelilla es un material soluble en acetona, cloroformo, tetracloruro de carbono, gasolina, petróleo y disolventes orgánicos en caliente, lo cual hace que este sea un material utilizado para elaborar fases lipídicas en la formulación de recubrimientos con ingredientes plastificantes que les reduzcan lo quebradizo y les permitan tener una permeabilidad al vapor de agua y gases más adecuada en el producto.³⁸

La goma de mesquite y la cera de candelilla crecen en zonas áridas del país y del suroeste de los E.U.A., por lo que su utilización en la elaboración de los recubrimientos comestibles para alimentos ayudaría a mejorar la economía de los pobladores y ayudaría a disminuir la desertización de esas zonas al incrementarse su cultivo.⁶

4.7.7.2 Descripción del recubrimiento MCAM.

Es un recubrimiento formulado en la UAM Iztapalapa en el 2002 teniendo como material estructural una solución acuosa de goma de mesquite adicionada de ácido benzóico como conservador, que fue mezclada con una fase lipídica a base de una mezcla de: cera de candelilla y aceite mineral, para conservar por más tiempo a la lima Persiana Fresca (*Citrus latifolia* Tanaka) a temperatura ambiente, lo cual sí sucedió porque ya que el recubrimiento MCMAM utilizado permitió obtener una vida de anaquel de 23 días en el producto con una apariencia más atractiva por el brillo conferido, sin la presencia de pérdidas de peso en forma considerable por la pérdida de humedad, por lo que posteriormente este recubrimiento también se aplicó a guayabas y los resultados que se obtuvieron también fueron satisfactorios como los del primer experimento; sin embargo su permeabilidad a los gases como: CO₂, O₂ y C₂H₄ aún no se ha determinado y

las características como la: extensibilidad y tiempo de secado están aún en experimentación para mejorarlas de acuerdo a la naturaleza del alimento que se va a aplicar.⁶

4.8 CONTROL DE CALIDAD

4.8.1 Aspectos generales

Por control de calidad en alimentos se entiende un sistema de procedimientos directos o indirectos para producir en forma económica bienes y servicios que satisfagan los requerimientos de los consumidores a nivel de calidad, nutricional, seguridad e inocuidad, mediante funciones básicas de administración e inspección así como de toma de muestras y análisis de laboratorio, tanto de materia prima procesamiento y producto terminado, para garantizar y en su caso certificar la calidad de estos productos alimenticios, con el propósito de ampliar su comercialización, pues un alimento inocuo no necesariamente es aquél que tenga sus características organolépticas inalteradas, sino que es aquél que no cause daño a la salud del consumidor mediante su contaminación física, química o biológica.^{18,27}

4.8.1.1 Importancia.

Los sistemas de control y aseguramiento de la calidad de frutas y hortalizas frescas se presentan como una muy buena alternativa no sólo para cumplir con las exigencias de los consumidores, sino para lograr su expansión comercial tanto a nivel nacional como en el extranjero mediante el cumplimiento de las exigencias sanitarias de cada país.^{3,18,27,37}

4.8.2 Técnicas de control de calidad a nivel laboratorio.

4.8.2.1 Análisis microbiológico.

Nos permite determinar si las materias primas y productos terminados son de buena calidad sanitaria al no haber presencia de microorganismos patógenos o un elevado número de microorganismos de degradación que alteren la inocuidad y calidad del producto, pues Frazier menciona que los microorganismos presentes en la superficie de las frutas y hortalizas recolectadas no sólo comprenden a los de la flora superficial nativa, sino a la procedente del suelo, aire y agua, por lo que la probabilidad de encontrar microorganismos patógenos en el alimentos es amplia.^{3,17,18,27,37}

Los microorganismos (moos.) presentes en los alimentos están relacionados con el componente químico mayoritario de su composición, por los que en el caso de las frutas y hortalizas tenemos que se pueden encontrar principalmente los siguientes géneros:

- a) Moos. pectinolíticos que son bacterias como: *Erwinia*, *Pseudomonas*, *Xantomonas*, *Agrobacterium*, *Bacillus*, *Aerobacter*, y *Clostridium* y hongos como: *Alternaria*, *Rhizopus* y *Penicillium*.¹⁷
- b) Moos. Sacarolíticos que son bacterias lácticas como: *Streptococcus*, *Leuconostoc*, *Pedicoccus* y *Lactobacilos*, bacterias esporuladas como: *Bacillus* y *Clostridium*; Enterobacterias como: *Escherichia*, *Enterobacter*, *Salmonella* y *Shigella* y levaduras como: *Debaryomyces*, *Cripfococcus*, *Saccaromyces*, *Candida*, *Hansenula* y *Rhodoturula*.¹⁷
- c) Moos Lipolíticos constituidos por bacterias como: *Pseudomonas*, *Alcalligenes*, *Bacillus*, *Micrococcus*, *Staphylococcus*; hongos como: *Rhizopus*, *Geotrichum*, *Aspergillus*, *Penicillium*, *Fusarium*, *Cladiosporum* y levaduras como: *Hansenspora*, *Rhodotorula*, *Saccharomyces*, etc.¹⁷
- d) Moos proteolíticos entre los que tenemos bacterias como: *Bacillus*, *Clostridium*, *Pseudomonas* y *Proteus* y algunos hongos como: *Alternaria*, *Rhizopus* y *Penicillium*.¹⁷

De los cuales los que pueden sobrevivir a la congelación son:

- Levaduras como: *Saccharomyces*, *Candida*, *Debaryomyces*, *Rhodoturula* y *Criptomococcus* que se multiplican por espacio de varios meses desde -2.5°C y dejan de hacerlo a -12 o -15°C , a excepción de las levaduras que producen pigmentos rosas y que se desarrollan a -18°C .^{17,27}
- Hongos como: *Aspergillus*, *Penicillium*, *Mucor*, *Rhizopus*, *Botrytis*, *Fusarium* y *Atternaria* que dejan de multiplicarse a -12°C y que poseen especies capaces de multiplicarse hasta -18°C .^{17,27}
- Bacterias lácticas y bacterias que pertenecen a los géneros: *Clostridium*, *Bacillus*, *Pseudomonas*, y *Achromobacter*, de las que el microorganismo de mayor letalidad para el ser humano es el *Clostridium botulinum*.^{17,27}

De ahí que sea importante el empleo de materias primas de buena calidad a las que se les practique un lavado a fondo para liberar la mayoría de los contaminantes de sus superficies, utilizando agua de lavado

de buena calidad microbiológica y un desinfectante adecuado, realizando la manipulación adecuada del producto durante su procesamiento y una limpieza y desinfección de las superficies de trabajo, equipos, utensilios e instalaciones para evitar la recontaminación del producto.^{3,18,27,37}

Kerbel menciona que los productos mínimamente procesados con pH's menores a 4.6 no favorecen el crecimiento de bacterias patógenas, por el desarrollo de hongos, levaduras y bacterias ácido lácticas en el producto, aunque se ha encontrado que el *C. botulinum* si puede crecer en presencia de algunos hongos. (Bolin 1989; Kerbel 1992).¹⁸

4.8.2.2 Microorganismos presentes en el nopal.

De acuerdo a los análisis microbiológicos realizados por los autores Ramayo-Ramirez et al (1978) y Guevara Arauz (2000) tenemos que los microorganismos presentes en el nopal son principalmente: bacterias del género: *Pseudomonas*, *Leuconostoc*, *Micrococcus*, *Ruminicoco* y *Bacillus*; hongos del género *Asidia*, *Cladosporium*, *Penicillium* y *Alternaria*, y levaduras del género *Pichia*, sin identificarse la presencia de Enterobacterias como: *E. coli* y *Salmonella* y bacterias esporuladas del género *Clostridium*, de ahí que el nopal sea considerado como un producto inocuo a la salud del consumidor, ya que como se observa carece de microorganismos patógenos que afecten la salud del consumidor.^{9,18,20,38}

4.8.2.3 *Bacillus* sp.

Está constituido principalmente por bacterias Gram (+), de forma bacilar, catalasa (+) y formadores de esporas en aerobiosis, siendo estas dos últimas algunas de las características que lo diferencian del género *Clostridium* y que no son objeto de este estudio.¹⁷

Bacillus sp es un género genéticamente heterogéneo, que va en incremento pues el número de especies de *Bacillus* descritas en 1986 era 30 y a finales de 1992 subió a 67 (Claus & Berkeley, 1986; Berkeley & Alt, 1994), posiblemente debido a que se trata de un género ampliamente distribuido en la naturaleza, por su capacidad para formar esporas resistentes, diversidad metabólica y de síntesis de enzimas extracelulares que le permiten sobrevivir en condiciones adversas de temperatura, pH y/o salinidad.¹⁷

Tradicionalmente la única especie que se reconocía como patógena para el hombre era *Bacillus anthracis*, el cual no se encuentra asociado al consumo de alimentos, a diferencia de otras especies de este género como *Bacillus cereus*.¹⁷

4.8.2.3.1 *Bacillus cereus*.

Bacillus cereus es un anaerobio facultativo que contamina a los alimentos agrícolas por medio del aire y aguas negras y que requiere de las siguientes condiciones fisicoquímicas para crecer: $a_w=0.953$, pH 5.0-8.4 y una temperatura de 4-55°C. Sin embargo las esporas de este microorganismo requieren de las siguientes condiciones para poder germinar y producir toxinas: pH's > 5, temperaturas de almacenamiento > a 10°C y la presencia de ribósidos purínicos, glicina o L-aminoácidos neutros de los que la L-alanina, es considerada como el aminoácido más efectivo para estimular dicha germinación (Johnson, 1990), pero también se ha reportado que el tratamiento térmico no controlado que es aplicado a los productos alimenticios puede promover la germinación de estas esporas.(Becker et al., 1994).^{13,17,35}

El periodo de incubación de este microorganismo va desde 8-16 h, sin conocerse su dosis infectiva, pero los síntomas clínicos que causa son: dolor abdominal, diarrea, náuseas y vómito ocasional que duran de 12-14 h y que en comparación con los producidos por otros microorganismos patógenos que se transmiten por consumir alimentos, se establece que *Bacillus cereus* es un microorganismo de "menor" importancia desde el punto de salud pública (Granum, 1994) al no producir complicaciones serias en el cuadro clínico de su intoxicación, a menos que se presente una diarrea de larga duración.^{13,17,35}

4.8.3 Análisis químico.

Es de gran utilidad para verificar la efectividad del método de conservación aplicado al alimento al determinar parámetros como: humedad, acidez, pH etc., que se relacionan con la pérdida de las características de calidad del producto, ya que por ejemplo: cuando el valor de la humedad disminuye considerablemente indica problemas de deshidratación superficial, reblandecimiento y pérdida de peso en el producto. En cambio cuando el valor del pH disminuye, el contenido de acidez se incrementa en el producto debido a que ambos parámetros son inversamente proporcionales y bajo estas condiciones la inocuidad y vida de anaquel del producto se favorece al no permitir el desarrollo microbiano, ni la

germinación de las esporas microbianas que producen de toxinas, con la desventaja de que el sabor puede ser desagradable al consumidor.²²

4.8.4 Evaluación sensorial.

La evaluación sensorial se define como una disciplina científica usada para evaluar, medir y analizar las características organolépticas de alimentos y materiales a través de la vista, gusto, olfato, tacto y oído (Stone y Sidel, 1992). Las pruebas de evaluación sensorial se usan en función de la información que se quiera obtener acerca del producto y son de dos tipos: a) las objetivas que se subdividen en discriminativas y descriptivas y b) las no objetivas o pruebas afectivas como los ensayos hedónicos (Meilgaard, 1991).¹⁸

4.8.4.1 Importancia

Actualmente el consumidor prefiere comprar productos alimenticios que conserven sus características organolépticas como: color, aroma, textura y sabor de forma inalterada y no es raro escuchar frases como: “esta manzana no tiene nada que ver con las de antes” para exigirlos, por lo que el sector alimenticio se ve en la necesidad de aplicar análisis durante:

- a) El Monitoreo de las características de calidad del producto como: tamaño, color, sabor, etc., en base a las especificaciones establecidas en las normas sanitarias de cada país o políticas empresariales, durante la recepción de la materia prima para evitar su diversidad por cuestiones climáticas o de cosecha
- b) Control del proceso de fabricación del producto ya sea por la introducción de nuevos equipos operacionales, o la modificación de un ingrediente o condición física del procesamiento como el cambio del tiempo de cocción y temperatura de calentamiento
- c) El almacenamiento para conocer como influye la temperatura, humedad y el acomodo de los paquetes del producto, respecto a la conservación de sus propiedades organolépticas
- d) La caracterización, comparación y correlación estadística del producto con ensayos hedónicos que se realizan a los consumidores y los denominados ensayos de mercado que realizan jueces catadores no expertos mediante la simulación de las condiciones reales de consumo, para elaborar mejores productos y estrategias de mercadotecnia o tomar acciones correctivas durante la elaboración del producto que permitan lograr y conservar su éxito.^{3,8,18,27,37}

5. HIPÓTESIS

Debido a que las reacciones metabólicas, el pardeamiento enzimático y las podredumbres microbianas en el nopal desespinado se aceleran a pH's cercanos a la neutralidad, altas temperaturas de almacenamiento, humedad y oxígeno elevados, se espera que al aplicar agentes químicos con una acción acidulante, antioxidante, secuestrante, conservadora y sinergista se promueva la conservación del producto a bajo costo, al utilizar un material de envasado o recubrimiento comestible con adecuada permeabilidad a los gases como O₂, CO₂ y vapor de agua durante su almacenamiento a una baja temperatura por un periodo de 14-22 días de acuerdo a la vida de anaquel establecida para las frutas y hortalizas mínimamente procesadas.

6. MATERIALES Y METODOLOGÍA

6.1 Especificaciones de materia prima:

Nopal.

Se utilizó nopales con espina (*Opuntia ficus indica* L. Miller) procedentes de la delegación Milpa Alta, D.F., Barrio Sn. Agustín el Alto, los cuales cumplían con las siguientes especificaciones reportadas en la Norma Mexicana del nopal: tamaño Clase D (13-16.9 cm) y Grado de calidad México Extra por ser enteros, limpios, sanos, bien formados, de color verde claro brillante en toda la superficie (estado sazón), secos, frescos y de consistencia firme.²⁴

Agentes químicos.

Se utilizó: ácido cítrico, ácido eritórico, ácido ascórbico, bisulfito de sodio y cloruro de magnesio grado analítico e hidróxido de calcio (cal) comercial, los cuales fueron disueltos en agua potable²⁵ para preparar las soluciones de inmersión experimentales.

Solución desinfectante.

Fue una solución de cloro 60 ppm.

Empaques.

Bolsas de polietileno de baja densidad, bolsas para sellado a vacío y bolsas de polipropileno.

Recubrimiento comestible MCAM.

Donado por la M.C. Elsa Bosquez Medina, Investigadora del Departamento de Fisiología y Tecnología Post-cosecha Vegetal de la U.A.M. Iztapalapa.

6.2 Material

1. Cuchillo.
2. Tabla de madera.
3. Tinas de plástico de capacidad de 1.5L
4. Coladeras de plástico.
5. Vasos de precipitados de 500 ml , 1L y 2L
6. Agitadores de vidrio.

7. Vasos de precipitados de 500 ml , 1L y 2L
8. Agitadores de vidrio.

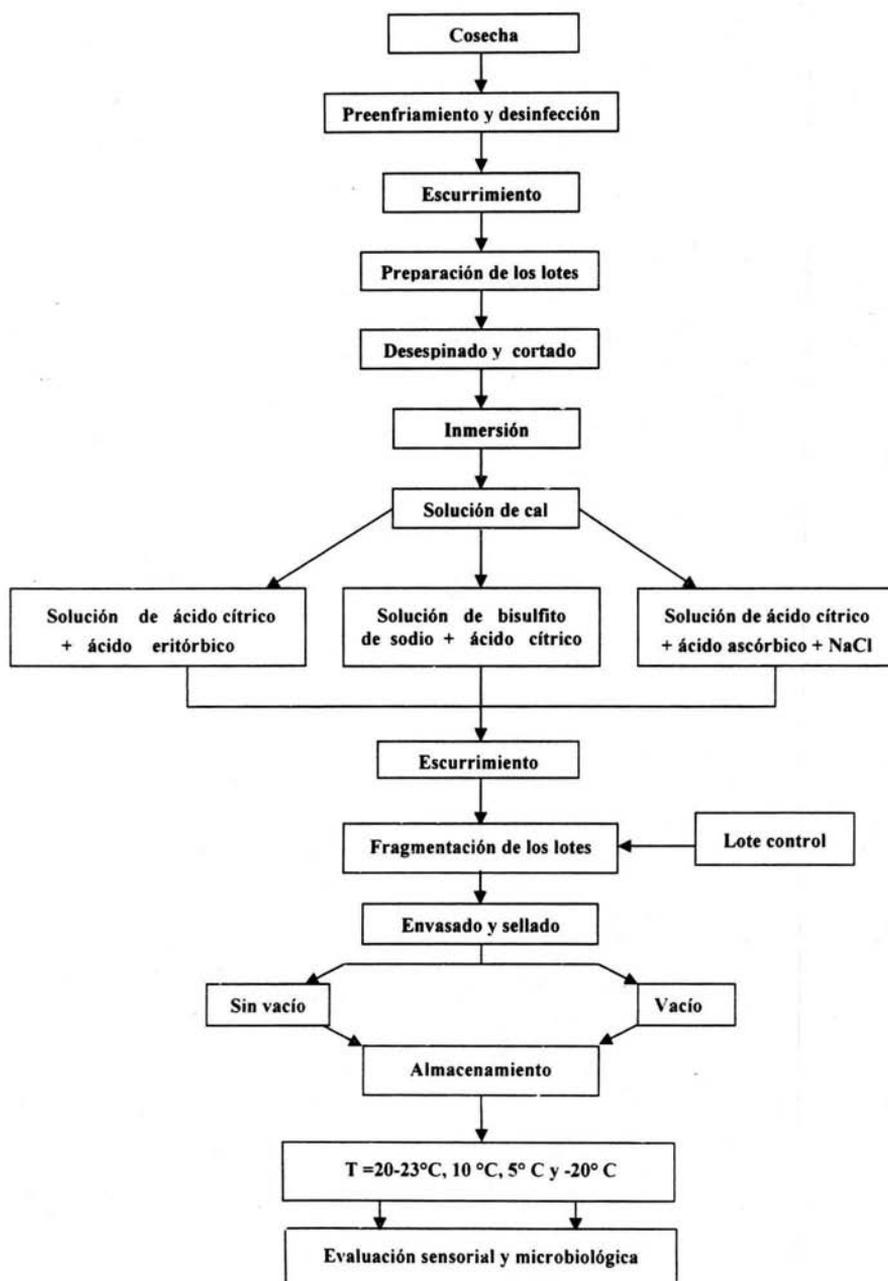
6.3 Equipo usado para el almacenamiento del producto:

Fue un refrigerador doméstico con congelador, el cual permitía obtener una temperatura de refrigeración de 5°C y una temperatura de congelación de -20°C, sin embargo se desconoce el valor de la humedad relativa debido a que no se contó con equipo especial para su medición.

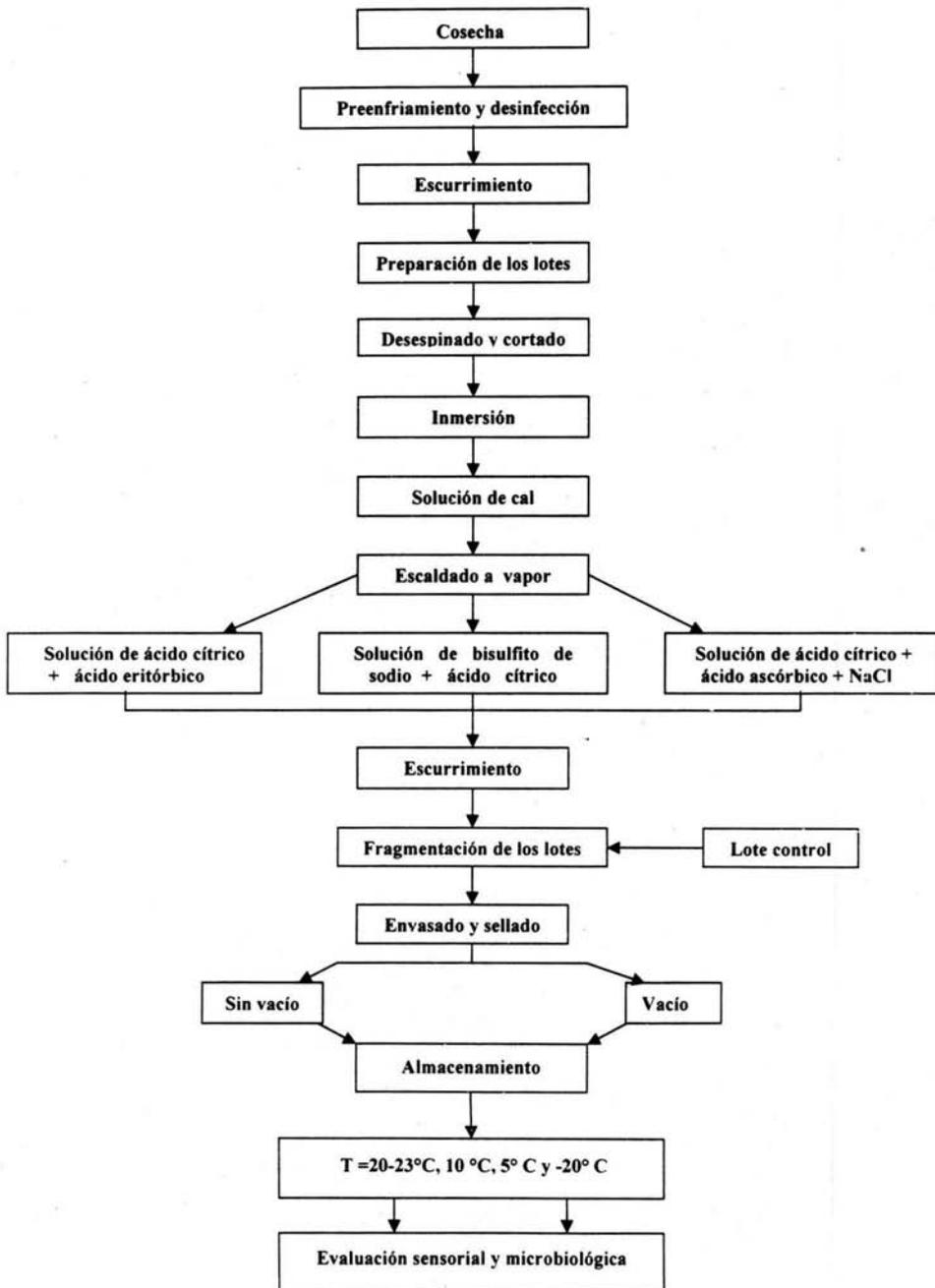
6.4 Planteamiento de la Metodología.

Constó principalmente de dos etapas experimentales que serán descritas más adelante. La primera etapa de experimentación nos permitió: determinar si hay diferencias significativas en cuanto a la conservación del nopal desespinado respecto a su variación de acidez en función de la cosecha; verificar si es posible sustituir el uso de bisulfito de sodio por alguna de las combinaciones de agentes químicos propuestas y analizar el efecto del escaldado y temperaturas de almacenamiento en el producto para disminuir la actividad de las reacciones degradativas utilizando diferentes bolsas plásticas para su envasado, en cambio la segunda etapa de experimentación nos permite evaluar la eficiencia del recubrimiento MCAM para conservar las muestras desespinaadas y enteras sin la liberación de mucílago y pérdida de color y analizar si los envasados en polipropileno, recubrimientos MCAM/polipropileno y poliestireno/polietileno en las muestras desespinaadas, cortadas y parcialmente secadas son apropiados para conservarlas por más tiempo sin presentar la liberación de mucílago y pérdida de color.

6.5 Etapa I de experimentación sin escaldado térmico.



6.5 Etapa I de experimentación con escaldado térmico.



6.5.1 Descripción de la Etapa I de experimentación.

1.- Los nopales fueron agrupados en dos series como se describe a continuación:

Serie 1: Nopales cosechados de 7 a.m. a 9:30 a.m. pues a ese intervalo de tiempo los valores de acidez son más altos (alrededor del 0.6%), lo cual podría ayudarnos a conservar por más tiempo al producto, al retardar su degradación por actividad enzimática o microbiana (Feitosa-Teles et al. 1984, citado por Cantwell, 1995).

Serie 2: Nopales cosechados de 5:30 p.m. a 7:00 p.m. porque en ese intervalo de tiempo los valores de acidez son menores (alrededor del 0.1%) y por tanto no se percibe demasiado su sabor (Feitosa-Teles et al. 1984, citado por Cantwell, 1995).

2.- La desinfección de los nopales se realizó al sumergirlos en una solución desinfectante de cloro 60 ppm por 15 min. para disminuir la carga microbiana.

3.- A los nopales se les escurrieron y dejó secar la humedad superficial.

4.- Posteriormente se desespínó y cortó a los nopales en cuadros de aproximadamente 1.5 cm de cada lado mediante un cuchillo filoso y desinfectado, para lograr la presentación comercial deseada, teniendo cuidado de no dañar al tejido del nopal, ni contaminarlo de tal forma que se favorezca la absorción de los agentes químicos en el producto al aumentar la superficie de contacto.

5.- Se fragmentó a los nopales desespínados y cortados en lotes de 950 g los cuales se rotularon e identificaron de acuerdo a su serie 1 ó 2.

6.- La inmersión de los nopales en agua de cal se hizo para disminuir la liberación del mucilago, conservar la clorofila y disminuir la actividad de la pectinasa.

7.- El escaldado a vapor aplicado a algunas muestras fue para disminuir aún más la actividad de las enzimas del pardeamiento enzimático.

8.- Posteriormente se sumergió cada lote formado en las siguientes soluciones:

Solución 1) Ácido cítrico y bisulfito de sodio.

Solución 2) Ácido cítrico y ácido eritórbito.

Solución 3) Ácido cítrico, ácido ascórbico y NaCl.

9.- Las muestras se escurrieron para evitar que los agentes químicos absorbidos por el tejido se diluyan y pierdan actividad como sucede con el enjuagado.

10.- Se pesó otros 950 g de nopales desespinados y cortados a los que no se les desinfectó ni sumergió en los agentes químicos porque eran el lote control.

11.- Fragmentamos los lotes en muestras de 67.85 g para evitar cambios en la atmósfera gaseosa formada en el producto a la hora de realizar su evaluación sensorial y microbiológica, llevándonos a cometer errores experimentales.

12.- Las muestras experimentales se envasaron manualmente en bolsas de polietileno de baja densidad y a vacío para proteger al producto de los daños por frío durante su almacenamiento a bajas temperaturas y no se pudo disponer de sus datos técnicos como grosor y permeabilidad, debido a que los mismos proveedores los desconocían, de ahí que sólo se considerasen los valores de permeabilidad reportados en la bibliografía (Fellows (1994) ; Paine (1994)) como se describe a continuación:

Bolsas de polietileno $O_2 = 1705-1725 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 20°C y 0% de H.R, $CO_2 = 8634-10102 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 20°C y 0% de H.R y vapor de agua = $10-30 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 38°C y 90% de H.R.

Bolsas a vacío (polietileno / poliestireno) en las que tampoco se conoce la proporción de cada componente en la manufactura de la bolsa por lo que su permeabilidad estaría en función de:

Poliéster $O_2 = 77-750 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 20°C y 0% de H.R, $CO_2 = 770-55000 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 20°C y 0% de H.R y vapor de agua = $78-132 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 38°C y 90% de H.R

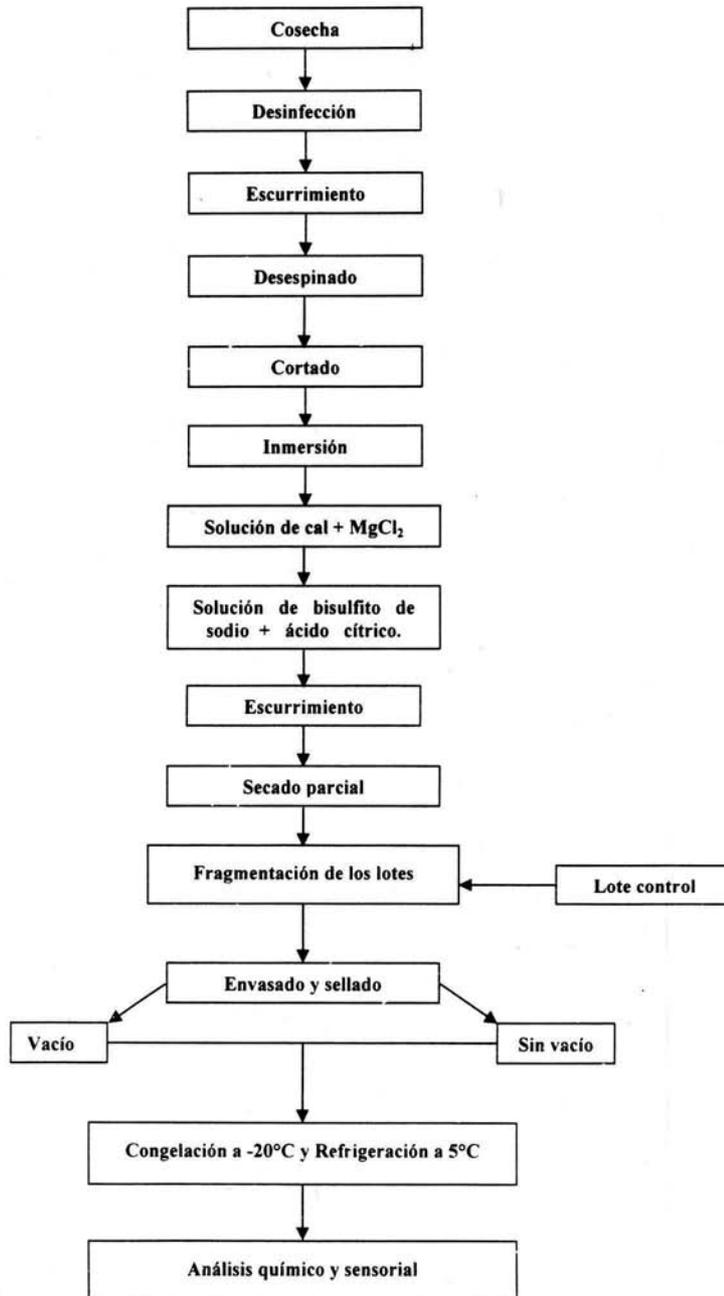
Polietileno de baja densidad $O_2 = 1705-1725 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 20°C y 0% de H.R, $CO_2 = 8634-10102 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 20°C y 0% de H.R y vapor de agua = $10-30 \text{ cm}^3/\text{m}^2/\text{d}/\text{atm}$ a 38°C y 90% de H.R.

13.- Las temperaturas de almacenamiento practicadas fueron: a) Temperatura ambiente: $20^\circ\text{C}-23^\circ\text{C}$, b) Refrigeración: 10°C y 5°C y c) Congelación: -20°C con la finalidad de encontrar la temperatura de almacenamiento más adecuada para conservar por más tiempo al producto.

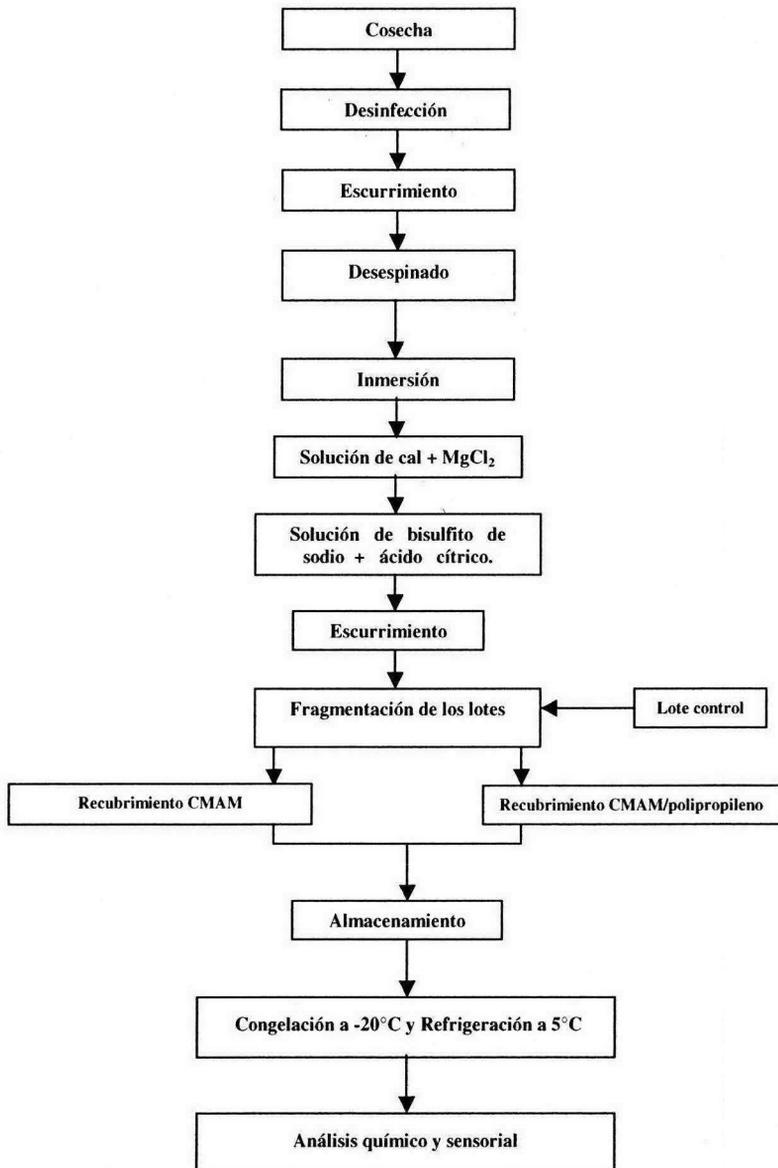
14.- El análisis sensorial mediante la prueba discriminativa dual realizada cada tres días hasta la aparición de los síntomas de deterioro, con el objetivo de detectar la ausencia o medir la intensidad de las diferencias de las características organolépticas como: color, sabor, textura etc. entre las muestras experimentales y las muestras de nopal fresco, recién cosechado, desespinado y cortado mediante un juez entrenado que asigna una calificación numérica de acuerdo a lo siguiente: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2 = desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: $R_{10^{\circ}\text{C}}$ = Refrigeración a 10 °C, $C_{-20^{\circ}\text{C}}$ = Congelación a -20°C, $R_{5^{\circ}\text{C}}$ = refrigeración a 5°C y $E_{(\text{vap})} + R_{5^{\circ}\text{C}}$ = Escaldado a vapor y Refrigeración a 5 °C.

15.- La evaluación microbiológica que se realizó fue respecto a la cantidad de mesófilos aerobios, hongos y levaduras a los 12 días de experimentación en la muestra sumergida en soluciones de cal y ácido cítrico + bisulfito de sodio, refrigerada a 5°C y envasada manualmente, al igual que en la muestra del nopal fresco, desespinado y cortado en un lapso no mayor a 24 h, sin determinar a los coliformes por falta de tiempo.

6.6 Etapa II de experimentación con las muestras cortadas.



6.6 Etapa II de experimentación con las muestras enteras.



6.6.1 Descripción de la Etapa II de experimentación.

- 1.- La cosecha de los nopales fue en la tarde de acuerdo a la serie II de la etapa I de la experimentación porque fueron los que presentaron menor cantidad de mucílago.
- 2.- La desinfección de los nopales se realizó al sumergirlos en una solución de cloro 60 ppm por 15 min. para disminuir la carga microbiana.
- 3.- Se escurrieron y dejaron secar para eliminar la humedad superficial.
- 4.- Posteriormente se desespino y solo se cortó en cuadros de aproximadamente 1.5 cm de longitud usando un cuchillo filoso y desinfectado a las muestras de nopal que se les practicaría un secado parcial mediante una estufa de vacío a 30°C y 7 mm Hg para eliminarles parcialmente la humedad que favorece la liberación de mucílago sin afectar las características organolépticas del producto, posteriormente estas muestras son envasadas manualmente en bolsas de polipropileno.
- 5.- Se realizó una inmersión de los nopales en la solución de cal + $MgCl_2$ para disminuir la cantidad de mucílago liberado, conservar la clorofila y disminuir la actividad de la pectinasa.
- 6.- Se escurrieron las muestras.
- 7.- Sumergimos las muestras en la solución de bisulfito de sodio + ácido cítrico.
- 8.- Escurrimos nuevamente
- 9.- Fragmentamos los lotes en muestras de 20 g para las muestras desespinaadas y cortadas y por una pieza a las muestras desespinaadas y enteras.
- 10.- Aplicamos el recubrimiento MCAM a las muestras desespinaadas y enteras mediante una brocha de cerda suave para que su grosor no fuese mayor a los 0.253 mm permitiendo una permeabilidad al vapor de agua mayor a $128.29 \text{ g mm/kPa/d/m}^2$. Una vez aplicado el recubrimiento se dejó secar en el producto a un intervalo de temperatura de 20-23°C por 12 h aproximadamente.
- 11.- Envasamos manual en bolsas de polipropileno de 25 μm y a vacío en bolsas de polietileno/poliestireno a las muestras desespinaadas y cortadas, de las que tampoco se supo su permeabilidad por la falta de información y conocimientos por parte de los proveedores, por lo que

de acuerdo una vez más a los datos de permeabilidad reportados por la bibliografía tenemos que estas bolsas tendrían algo parecido a lo siguiente:

Polipropileno (no orientado) $O_2=2600-7700$, $CO_2=10000-26000$ y vapor de agua = 10-12

Polipropileno (orientado) $O_2=2600-7700$, $CO_2=10000-26000$ y vapor de agua = 10-12

Poliéster $O_2=77-750$, $CO_2=770-55000$ y vapor de agua = 78-132

Polietileno de baja densidad $O_2=1705-1725$, $CO_2=8634-10102$ y vapor de agua=10-30

Donde la permeabilidad al O_2 y CO_2 esta dada en $cm^3/m^2/d/atm$ a $20^\circ C$ y 0 % de H.R y la permeabilidad al vapor de agua en $cm^3/m^2/d/atm$ a $38^\circ C$ y 90 % de H.R. Fuente Fellows (1994) y Paine (1994).

12.- El almacenamiento de las todas las muestras experimentales consistió en: Refrigeración a $5^\circ C$ y Congelación $-20^\circ C$, para conocer cual de ellas me permite conservar al producto con buena calidad organoléptica por más tiempo.

13.- El análisis sensorial mediante la prueba discriminativa dual realizada cada tres días hasta la aparición de los síntomas de deterioro, con el objetivo de detectar la ausencia o medir la intensidad de las diferencias de las características organolépticas como: color, sabor, textura etc. entre las muestras experimentales y las muestras de nopal fresco, recién cosechado, desespinado y cortado mediante un juez entrenado que asigna una calificación numérica de acuerdo a lo siguiente: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a $5^\circ C$ y C = Congelación a $-20^\circ C$.

Nota: la evaluación sensorial del sabor se realizó con las muestras cocidas en agua, sal y cebolla, debido a que es la forma más típica de su consumo y a diferencia de las otras características organolépticas evaluadas con las muestras crudas y que tienen mayor influencia en la aceptación del producto en el consumidor durante su comercialización.

14.- El análisis químico se realizó al inicio y a los 15 días de experimentación para determinar los parámetros que se describen a continuación:²²

a) Acidez

La técnica consiste en licuar 100g de nopal en 100 mL de agua destilada recién hervida y enfriada para eliminar su acidez, posteriormente se toman 10 mL de esta solución y se colocan en un matraz Erlen Meyer al cual se le añade 1 gota de fenolftaleína, se agita y se titula con NaOH 0.01N previamente valorada hasta la cuarta cifra decimal, hasta obtener una coloración rosa claro persistente, se anota el volumen gastado y posteriormente se titula el blanco que consiste en 10 mL de agua destilada hervida, enfriada y adicionada de 1 gota de fenolftaleína, anotando también el volumen gastado. El cálculo de acidez se realiza por medio de la siguiente expresión:

$$\% \text{ Acidez} = \left(\frac{\text{mL de NaOH en la muestra} - \text{mL de NaOH en el blanco}}{\text{mL muestra}} \right) \times N \times \text{meq.} \times 100$$

Donde: N= Normalidad de la NaOH valorada hasta su cuarta cifra decimal.

meq= Número de miliequivalentes del ácido orgánico mayoritario en la muestra.

Nota: En la determinación de acidez del nopal algunos autores reportan este parámetro como % de ácido cítrico, lo cual es incorrecto debido a que el ácido orgánico más abundante en el nopal es el ácido málico y no el ácido cítrico, pero como ambos ácidos orgánicos presentan valores de miliequivalentes muy parecidos: 0.06706 para el ácido málico y 0.07005 para el ácido cítrico los valores de acidez que se han reportado en base al ácido cítrico por estos autores no variarían significativamente respecto al contenido de ácido málico.

b) pH

Se realiza mediante la medición electromagnética de la actividad de los iones H⁺ presentes en la muestra del producto mediante un potenciómetro, en donde la muestra sólida debe ser previamente preparada moliendo 50g del producto en 10-20 mL de agua destilada hervida con objeto de formar una pasta uniforme, a la que se le mide el pH por medio de un potenciómetro previamente calibrado

cuando se sumerge el electrodo en la muestra y se realiza la lectura correspondiente en la escala del aparato. El potenciómetro se calibra con las soluciones buffer de pH=4 y pH=7 a una temperatura de $20^{\circ}\text{C}\pm 5^{\circ}\text{C}$ y se comprueba su calibración midiendo el pH del agua destilada hervida, enfriada y mantenida a 20°C .

c) Humedad

Se pesan muestras de 5 g en pesafiltros previamente identificados y pesados, para posteriormente meterlos a una estufa de 100°C - 110°C durante 24h para eliminar la humedad y transcurrido ese tiempo las muestras se enfrían en un desecador de 20-30 min., se pesan las muestras y se vuelven a meter de nuevo a la estufa hasta que su peso varíe en una proporción de ± 0.0005 respecto a la última pesada.

El cálculo de humedad se realiza con la siguiente expresión:

$$\% \text{ de H}_2\text{O} = \frac{[(\text{peso del pesafiltro} + \text{la muestra inicial}) - (\text{peso del pesafiltro} + \text{la muestra seca})]}{\text{peso de la muestra}} \times 100$$

7. RESULTADOS EXPERIMENTALES

7.1 Etapa I de experimentación.

En esta etapa de experimentación se probó la eficiencia de las siguientes combinaciones de agentes, temperaturas de almacenamiento, la presencia o ausencia del escaldado y los distintos tipos de envasado realizados para conservar el nopal desespinado y cortado que fue cosechado tanto en la mañana (Serie 1) como en la tarde (Serie 2), obteniendo los siguientes periodos de vida de anaquel que se reportan en las tablas 1 y 2; la evaluación microbiológica que se realizó fue únicamente para las muestras tratadas con las soluciones de cal, ácido cítrico/bisulfito de sodio, envasadas manualmente y refrigeradas a 5°C y para las muestras desespinaadas y cortadas de nopal fresco por falta de tiempo, ver tabla 3 y la evaluación sensorial realizada a las muestras se reporta en las tablas 4-13.

Tabla 1. Vida de anaquel (días) lograda en las muestras de la serie 1 y 2, tratadas con los siguientes agentes químicos, envasadas manualmente y almacenadas en diferentes condiciones.

Muestra	Ácido cítrico + bisulfito de sodio.	Ácido cítrico + ácido ascórbico + NaCl.	Ácido cítrico + ácido eritórbito.	Control.
Refrigeración a 10°C	6	5	5	4
Refrigeración a 5°C	11	10	10	9
Escaldado a vapor + Refrigeración 5°C	13	11	11	10

Tabla 2. Vida de anaquel (días) lograda en las muestras de la serie 2, tratadas con los siguientes agentes químicos, envasadas a vacío y almacenadas en diferentes condiciones.

Muestra	Ácido cítrico + bisulfito de sodio.	Ácido cítrico + ácido ascórbico + NaCl.	Ácido cítrico + ácido eritórbito.	Control.
Refrigeración a 5°C	11	11	11	9
Congelación a -20 °C	17	11	11	13

Tabla 3. Análisis microbiológico.

Microorganismo.	Muestra control (UFC/g)	Ácido cítrico + bisulfito de sodio (UFC/g)
Mesófilos.	80X 10 ⁷	45X10 ⁷
Hongos.	2X10 ¹	1X10 ¹
Levaduras.	2X10 ²	1X10 ¹

Tabla 4. Evaluación sensorial de las muestras serie 1 y 2 envasadas manualmente respecto al sabor.

Días	Muestras											
	Ácido cítrico + bisulfito de sodio.			Ácido cítrico + ácido ascórbico + NaCl.			Ácido cítrico + ácido eritórbito			Control.		
	R _{10°C}	R _{5°C}	E _{(92°C)+} R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _{(92°C)+} R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _{(92°C)+} R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _{(92°C)+} R _{5°C}
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3

6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3
12	2	3	3	3	2	2	3	2	2		3	2
15		2	2								2	

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{10°C}= Refrigeración a 10 °C, R_{5°C}= refrigeración a 5°C, E_(vap)+ R_{5°C}=Escaldado a vapor y Refrigeración a 5 °C.

Tabla 5. Evaluación sensorial de las muestras serie 1 y 2 envasadas manualmente respecto al color.

Días	Muestras											
	Acido cítrico + bisulfito de sodio.			Acido cítrico + ácido ascórbico + NaCl.			Acido cítrico + ácido eritórbico			Control.		
	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(92°C) + R _{5°C}
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	3	3	4	3	3	4	3	3	4	3	3	3
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	2	3	3
12	2	3	3	2	2	2	2	2	2		2	2
15		2	2									

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{10°C}= Refrigeración a 10 °C, R_{5°C}= refrigeración a 5°C, E_(vap)+ R_{5°C}=Escaldado a vapor y Refrigeración a 5 °C.

Tabla 6. Evaluación sensorial de las muestras serie 1 y 2 envasadas manualmente respecto a la textura.

Días	Muestras											
	Acido cítrico + bisulfito de sodio.			Acido cítrico + ácido ascórbico + NaCl.			Acido cítrico + ácido eritórbico			Control.		
	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(92°C) + R _{5°C}
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	4	4	3	4	4	3	4	4	3	3	4
6	3	4	4	3	4	4	3	4	4	2	3	4
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3		3	3
12	3	3	2	3	2	2	3	2	2		3	2
15		2									2	

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{10°C}= Refrigeración a 10 °C, R_{5°C}= refrigeración a 5°C, E_(vap)+ R_{5°C}=Escaldado a vapor y Refrigeración a 5 °C.

Tabla 7. Evaluación sensorial de las muestras serie 1 y 2 envasadas manualmente respecto a la presencia de manchas.

Días	Muestras											
	Acido cítrico + bisulfito de sodio.			Acido cítrico + ácido ascórbico + NaCl.			Acido cítrico + ácido eritórbico			Control.		
	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(vap) + R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _(92°C) + R _{5°C}
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	3	4	4	3	4	4	3	4	4
6	3	4	4	3	4	4	3	4	4	2	3	4
9	2	3	4	2	3	3	2	3	3		3	3

12		2	4		2	3		2	3		2	2
15			3			2			2			
			2									

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{10°C} = Refrigeración a 10 °C, R_{5°C} = refrigeración a 5°C, E_{(vap)+} R_{5°C} = Escaldado a vapor y Refrigeración a 5 °C

Tabla 8. Evaluación sensorial de las muestras serie 1 y 2 envasadas manualmente respecto a la cantidad de mucilago.

Días	Muestras											
	Acido cítrico + bisulfito de sodio.			Acido cítrico + ácido ascórbico + NaCl.			Acido cítrico + ácido eritórbico			Control.		
	R _{10°C}	R _{5°C}	E _{(vap)+} R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _{(vap)+} R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _{(vap)+} R _{5°C}	R _{10°C}	R _{5°C}	E _{(92°C)+} R _{5°C}
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
6	3	4	4	3	4	3	3	4	3		3	3
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3		3	3
12	2	2	3	2	2	2	2	2	2		3	2
15			2								2	

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{5°C} = Refrigeración a 5°C y C_{-20°C} = Congelación a -20°C.

Tabla 9. Evaluación sensorial de las muestras de la serie 2 envasadas a vacío respecto al sabor.

Días	Muestras					
	Acido cítrico + bisulfito de sodio.		Acido cítrico + ácido eritórbico.		Control.	
	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}
0	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3
9	3	3	3	3	3	3
12	3	3	3	3	3	3
15		3				
18		3				

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{5°C} = Refrigeración a 5°C y C_{-20°C} = Congelación a -20°C.

Tabla 10. Evaluación sensorial de las muestras de la serie 2 envasadas a vacío, respecto a la textura.

Días	Muestras					
	Acido cítrico + bisulfito de sodio.		Acido cítrico + ácido eritórbico.		Control.	
	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}
0	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4
6	4	4	3	4	4	4
9	3	4	3	3	3	3
12	2	4	2	2	2	3
15		3				2
18		2				

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{5°C} = Refrigeración a 5°C y C_{-20°C} = Congelación a -20°C.

Tabla 11. Evaluación sensorial de las muestras de la serie 2 envasadas a vacío respecto a la presencia de manchas.

Días	Muestras					
	Ácido cítrico + bisulfito de sodio.		Ácido cítrico + ácido eritórbico.		Control.	
	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}
0	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4
6	4	4	4	4	4	4
9	4	4	4	4	3	4
12	3	4	3	3		4
15		4				3
18		3				

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2 = desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{5°C} = Refrigeración a 5°C y C_{-20°C} = Congelación a -20°C.

Tabla 12. Evaluación sensorial de las muestras de la serie 2 envasadas a vacío respecto al color.

Días	Muestras					
	Ácido cítrico + bisulfito de sodio.		Ácido cítrico + ácido eritórbico.		Control.	
	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}
0	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4
6	4	4	3	4	3	4
9	3	4	3	3	2	3
12	2	4	2	2		3
15		3				3
18		3				

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2 = desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las abreviaturas es: R_{5°C} = Refrigeración a 5°C y C_{-20°C} = Congelación a -20°C.

Tabla 13. Evaluación sensorial de las muestras de la serie 2 envasadas a vacío, respecto a la cantidad de mucilago.

Días	Muestras					
	Ácido cítrico + bisulfito de sodio.		Ácido cítrico + ácido eritórbico.		Control.	
	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}	R _{5°C}	C _{-20°C}
0	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4
6	3	3	3	3	3	3
9	3	3	3	3	3	3
12	2	3	2	2	2	3
15		3				2
18		2				

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual al control, 3 = aceptable con respecto al control y 2 = desagradable y el significado de las siguientes abreviaturas es: R_{5°C} = Refrigeración a 5°C y C_{-20°C} = Congelación a -20°C.

7.2 Etapa II de experimentación.

En esta etapa de experimentación se probó únicamente la eficiencia de los distintos tipos de envase realizados y el recubrimiento CMAM para conservar al nopal desespinado que fue cosechado en la tarde (serie 2), tratado con las soluciones de cal/ MgCl₂ y ácido cítrico/bisulfito de sodio y almacenado tanto a refrigeración a

5°C y congelación a 20°C a fin de controlar la liberación de mucilago y la pérdida del color verde del producto que afectan su vida de anaquel, obteniendo los siguientes periodos de vida de anaquel que se reportan en las tablas 1 y 2; el análisis químico que se realizó a las muestras tanto al inicio y después de los 15 días de experimentación se reportó en las tablas 4 y 5 y la evaluación sensorial realizada a dichas muestras se reporta en las tablas 6-15.

Tabla 1. Vida de anaquel (días) lograda en las muestras desespínadas y cortadas, presecadas, envasadas manualmente en bolsas de polipropileno y almacenadas en diferentes condiciones:

Almacenamiento	Envasado en bolsas de polipropileno		Envasado a vacío en bolsas de polietileno + poliestireno	
	Muestra con agentes químicos	Muestra Control	Muestra con agentes químicos	Muestra Control
Refrigeración a 5°C	17	11	12	9
Congelación a -20 °C	13	8	17	13

Tabla 2. Vida de anaquel (días) lograda en las muestras desespínadas y enteras, envasadas manualmente y almacenadas en las siguientes condiciones:

Almacenamiento	Material de empaque					
	Polipropileno		Polipropileno + Recubrimiento CMAM		Recubrimiento CMAM	
	Control	Muestra con agentes químicos	Control	Muestra con agentes químicos	Control	Muestra con agentes químicos
Refrigeración a 5°C	13	17	2	2	11	14
Congelación a -20°C	14	17	2	2	20	22

Tabla 3. Análisis químico en las condiciones iniciales.

Determinación	Muestra		
	Control	Con agentes químicos	Presecada
% Humedad	91.82	92.36	85.62
% acidez	0.14	0.28	0.14
PH	4.87	4.46	4.69

Tabla 4. Análisis químico a los 15 días de iniciar el almacenamiento correspondiente.

Determinación	Envasado en bolsas de polipropileno				Envasado a vacío en bolsas de polietileno/ poliestireno			
	A	A	B	B	A	A	B	B
	R	C	R	C	R	C	R	C
% Humedad	89.78	88.46	87.45	84.71	79.35	84.25	84.95	83.82
% acidez	0.15	0.20	0.23	0.36	0.23	0.21	0.29	0.39
PH	4.68	4.85	4.59	4.27	4.76	4.63	4.37	4.34

Donde el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20 ° C.

Tabla 5. Análisis químico a los 15 días de la experimentación.

Determinación	Material de empaque											
	Polipropileno				Polipropileno + Recubrimiento CMAM				Recubrimiento CMAM			
	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B
R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	
% Humedad	89.64	89.26	88.95	89.31	90.63	90.95	90.72	90.86	91.17	91.42	91.09	91.37
% acidez	0.15	0.20	0.28	0.38	0.13	0.16	0.25	0.26	0.13	0.34	0.26	0.25
PH	4.72	4.83	4.26	4.51	4.82	4.69	4.27	4.39	4.93	4.91	4.198	4.35

Donde el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20 ° C.

Tabla 6. Evaluación sensorial de las muestras desespinadas y cortadas respecto al sabor.

Días	Envasado en bolsas de polipropileno				Envasado a vacío en bolsas de polietileno/ poliestireno			
	A	A	B	B	A	A	B	B
	R	C	R	C	R	C	R	C
0	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3	3	3
9	3	3	3	3	3	3	3	3
12	3		3	3		3	3	3
15			3	3		3		3
18			3					3

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20 ° C.

Tabla 7. Evaluación sensorial de las muestras desespinadas y cortadas respecto al color.

Días	Envasado manual en bolsas de polipropileno				Envasado a vacío en bolsas de polietileno/ poliestireno			
	A	A	B	B	A	A	B	B
	R	C	R	C	R	C	R	C
0	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	4	4	4	3	4	4	4
9	4	3	4	4	3	4	3	4
12	3		4	3		3	3	4
15			3	3		3		3
18			3					3

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20 ° C.

Tabla 8. Evaluación sensorial de las muestras desespinadas y cortadas respecto a la textura.

Días	Envasado manual en bolsas de polipropileno				Envasado a vacío en bolsas de polietileno / poliestireno			
	A	A	B	B	A	A	B	B
	R	C	R	C	R	C	R	C
0	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	3	4	4	3	4	4	4
9	3	3	4	3	3	4	3	4
12	3		4	3		3	3	3
15			3	3		3		3
18			3					3

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2 = desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20° C.

Tabla 9. Evaluación sensorial de las muestras desespinadas y cortadas respecto a las manchas.

Días	Envasado manual en bolsas de polipropileno				Envasado a vacío en bolsas de polietileno/ poliestireno			
	A	A	B	B	A	A	B	B
	R	C	R	C	R	C	R	C
0	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	3	4	3	4	4	4	4
9	3	2	4	3	3	4	3	4
12	3		4	3		3	3	4
15			3	2		3		3
18			3					3

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2 = desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20° C.

Tabla 10. Evaluación sensorial de las muestras desespinadas y cortadas respecto a la cantidad de mucilago.

Días	Envasado manual en bolsas de polipropileno				Envasado a vacío en bolsas de polietileno/ poliestireno			
	A	A	B	B	A	A	B	B
	R	C	R	C	R	C	R	C
0	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	4	4	4	4
6	4	3	4	4	3	4	3	4
9	3	3	4	4	3	4	3	4
12	3		3	3		3	3	4
15			3	3		3		3
18			3					3

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2 = desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20° C.

Tabla 11 Evaluación sensorial de las muestras desespínadas y enteras respecto al sabor.

Días	Material de empaque											
	Polipropileno				Polipropileno + Recubrimiento CMAM				Recubrimiento CMAM			
	A	A	B	B	A	B	A	B	A	B	A	B
R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
12	3	3	3	3		3		3	3	3	3	3
15		3	3	3						3	3	3
18										3		3
21										3		3
24												3

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2 = desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20° C.

Tabla 12. Evaluación sensorial de las muestras desespínadas y enteras respecto al color.

Días	Material de empaque											
	Polipropileno				Polipropileno + Recubrimiento CMAM				Recubrimiento CMAM			
	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B
R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4
6	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4
9	3	4	4	4	2	2	2	2	4	4	3	4
12	3	3	3	4		2		2	3	4	3	4
15	3	3	3	3						4	3	4
18			3	3						3		4
21										3		4
24												3

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2 = desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20° C.

Tabla 13. Evaluación sensorial de las muestras desespínadas y enteras respecto a la textura.

Días	Material de empaque											
	Polipropileno				Polipropileno + Recubrimiento CMAM				Recubrimiento CMAM			
	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B
R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4
6	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4
9	3	4	4	4	2	2	2	2	4	4	3	4
12	3	3	3	4		2		2	3	4	3	4
15	3	3	3	3						4	3	4
18			3	3						3		4

21										3		4
24												3

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20 ° C.

Tabla 14. Evaluación sensorial de las muestras desespínadas y enteras respecto a la aparición de manchas.

Días	Material de empaque												
	Polipropileno				Polipropileno + Recubrimiento CMAM				Recubrimiento CMAM				
	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	
R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4
6	4	3	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4
9	4	3	4	4	2	2	2	2	3	4	4	4	4
12	4	3	4	3		2		2	2	4	3	4	4
15	3	2	3	3					4	2	4	4	4
18			3	2					3		4	4	4
21									3		4	4	4
24												4	4

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20 ° C.

Tabla 15. Evaluación sensorial de las muestras desespínadas y enteras respecto a la cantidad de mucílago.

Días	Material de empaque												
	Polipropileno				Polipropileno + Recubrimiento CMAM				Recubrimiento CMAM				
	A	A	B	B	A	A	B	B	A	A	B	B	
R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	C	R	
0	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
3	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4
6	4	4	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4
9	3	3	4	4	2	2	2	2	4	4	4	4	4
12	3	3	3	4		2		2	4	4	4	4	4
15	2	2	3	3					4	4	4	4	4
18			3	3					4	4	4	4	4
21									4	4	4	4	4
24												4	4

Donde las calificaciones de la evaluación sensorial son: 4 = igual a la muestra fresca y recién cortada, 3 = aceptable con respecto a la muestra fresca y recién cortada y 2= desagradable respecto a la muestra fresca y recién cortada y el significado de las siguientes abreviaturas es: A = Muestra control, B = Muestra con agentes químicos, R = Refrigeración a 5° C y C = Congelación a -20 ° C.

8. ANÁLISIS DE LOS RESULTADOS

8.1 Etapa I.

De los resultados obtenidos en la Etapa I de la experimentación, podemos observar que la acidez nativa de los nopales de las series empleadas no presenta diferencias significativas en cuanto al tiempo de conservación de las características organolépticas, pero se descartó la serie 1 porque libera mayor cantidad de mucílago y el color se afecta más rápido por factores que serán discutidos más adelante.

El producto tratado en las diferentes soluciones de agentes químicos empleados, envasado manualmente y refrigerado a 10°C y 5°C, presentó pardeamiento enzimático, reblandecimiento y producción de mucílago de forma lenta y directamente proporcional a la disminución de la temperatura de refrigeración sin presentarse los daños por frío durante su almacenamiento, porque el envase empleado es una bolsa plástica de un material aislante que no favorece la transmisión directa del frío hacia el producto y evita los daños por quemadura de frío.^{3,4,7,815,27,32,37}

El escaldado a vapor realizado se hizo para retardar aún más la aparición de los defectos de calidad antes mencionados en las muestras experimentales y permitió obtener una vida de anaquel de dos días más en las muestras tratadas con ácido cítrico/bisulfito de sodio y un día más en las muestras tratadas con ácido cítrico/ácido eritórbito o ácido cítrico/ácido ascórbico/NaCl, en comparación de las muestras refrigeradas, control y las tratadas químicamente, debido a una posible reactivación de enzimas como la peroxidasa que es resistente al calor y actúa en condiciones oxidantes ocasionadas por el envasado manual de la muestra al ser insuficiente para eliminar al oxígeno y provocar la aparición de manchas marrón o parduscas, además de favorecer la liberación abundante e inmediata de mucílago que ocasiona el reblandecimiento del producto porque su tejido es más susceptible al ataque de los microorganismos mucilaginosos por las lesiones sufridas durante el desespinado, cortado y exposición del tejido al vapor del escaldado.^{3,4,15,19,27,32,37} No obstante es posible que la eficiencia del escaldado realizado no haya sido tan buena como a nivel industrial porque el equipo utilizado fue artesanal, de ahí que los resultados obtenidos en nuestra experimentación no

concurden con los resultados reportados por el autor Guevara Arazúa, 1988, quién escaldó el producto en agua a 90°C, adicionando aditivos como sales de zinc, manganeso, alúmina etc., en sus respectivas combinaciones, envasando a vacío y sin él, para posteriormente refrigerarlo y/o congelarlo, para conseguir una vida de anaquel del producto de 3 meses.

El envasado a vacío realizado en las muestras del producto tratadas en las diferentes soluciones de inmersión de los agentes químicos empleados y refrigeradas a 5 ° C, sí permitió controlar la aparición de manchas por pardeamiento enzimático a diferencia de las muestras envasadas manualmente porque el contenido de oxígeno es casi nulo,^{1,26,46,47} pero es insuficiente para controlar la liberación de mucílago y la transformación del color verde brillante a un color verde oliva por la feofitización de la clorofila, ya que la bolsa utilizada es más gruesa, por lo que para retardar aún más la aparición de estos dos síntomas de deterioro se utilizó el almacenamiento en congelación a -20°C porque en esta la velocidad de las reacciones metabólicas causantes del deterioro es más lenta que en refrigeración,^{3,27,32,37,40} permitiendo conservar por 17 días al producto, porque el envase (bolsa de polietileno/polipropileno) brinda una protección aislante que evita la formación de grandes cristales de hielo por efecto de una velocidad lenta de congelación y descongelación que rompen las células estructurales del tejido y liberan los ácidos orgánicos contenidos en los líquidos intracelulares hacia el envase provocando en el producto pérdidas de grosor²⁷ y una acumulación de líquido de forma abundante después de los 17 días de almacenamiento y que al momento de descongelarlo se favorece la liberación de mucílago nuevamente.

La evaluación sensorial del producto nos permitió encontrar que las soluciones de inmersión de los agentes químicos empleados en los tratamientos de conservación realizados afectan las características organolépticas del producto respecto al nopal desespinado, cortado y recién cosechado, de la siguiente manera:

1) Sabor. El sabor del producto en las muestras tratadas con agentes químicos, escaldadas y sin escaldar, pero refrigeradas a 10°C y 5°C, se percibe ligeramente amargo al inicio y desaparece a medida que se va masticando la muestra, en virtud de que la solución de cal empleada es amarga y

la inmersión del producto en ella fue por corto tiempo, por lo que aunque la acidez en las muestras refrigeradas a 5°C aumentara o se mantuviera estable por efecto del retraso de la actividad respiratoria y metabólica del producto (Cantwell, 1998) no sería suficiente para afectar el sabor del producto de forma significativa, a diferencia de las muestras congeladas con y sin agentes químicos las cuales si presentaron un sabor ligeramente ácido que también desaparece al ir masticando la muestra y es debido a la liberación de los ácidos orgánicos por la rotura de las células estructurales del tejido al formarse grandes cristales de hielo por la velocidad lenta de congelación y descongelación.^{3,15,18,27,37}

2) Color. Cuando se usa bisulfito de sodio el color verde del producto tiene una apariencia más fresca por un mecanismo que no ha sido del todo esclarecido, pues sólo se sabe que las sales comerciales de los sulfitos impiden que la quinona se polimerice al interactuar con la orto-quinona o que eviten la hidroxilación oxidativa de la L-tirosina a 3-4 dihidroxifenilalanina mediante la liberación del SO₂, para controlar el pardeamiento enzimático sin afectar el color del producto, a diferencia del empleo de las combinaciones de: ácido cítrico/ácido ascórbico y ácido cítrico/ácido eritórbito que acidifican más el producto provocando una rápida feofitización de la clorofila aunque se refrigere o congele, pues el ión Mg²⁺ de la clorofila es sustituido mayoritariamente por un ión H¹⁺ en vez del ión Ca²⁺ proveniente de la solución de inmersión de cal empleada para conservar la textura y que también podría ayudar a controlar la feofitización de la clorofila.^{3,4,7,8,11,14,15,37}

3) Textura. La textura pudo ser controlada parcialmente con ayuda de la solución de inmersión de Ca(OH)₂ (cal comercial) empleada a diferencia de las soluciones de Ca(OH)₂ (grado analítico) utilizadas por Ruíz Perfecto, 1994, quien menciona que el Ca(OH)₂ grado analítico es más caro y poco eficiente a concentraciones y tiempos de inmersión elevados para conservar el producto porque sus características organolépticas se alteran considerablemente, lo cual no coincide con nuestros resultados experimentales debido a que nuestra metodología plantea una concentración baja y un tiempo de inmersión breve, que permitan que el ión calcio liberado reaccione con los grupos metoxilo de las sustancias pécticas solubles del producto para formar pectatos de calcio

en agua que incrementan la rigidez del tejido y eviten su rápido reblandecimiento como consecuencia de la actividad enzimática, el desespinado y cortado del producto.

4) Liberación de mucílago. La liberación de mucílago no pudo controlarse porque los envases empleados (bolsas de polietileno de baja densidad y bolsas de polietileno/poliestireno) no tienen un grosor y permeabilidad al vapor de agua adecuados, favoreciendo la formación de un ambiente muy húmedo en el producto por la condensación del vapor del agua en agua líquida que hidrata y libera al mucílago al igual que cuando el producto se contamina con microorganismos mucilaginosos que resisten las bajas temperaturas de almacenamiento como en la refrigeración o congelación o cuando es tratado con combinaciones de agentes químicos ácidos como el ácido cítrico/ácido eritórbito o ácido cítrico/ácido ascórbico/NaCl porque el mucílago es una especie química ácida que se libera en el producto como respuesta al estrés producido por los daños ocurridos en su tejido durante el desespinado y cortado o por la formación de cristales de hielo grandes en su congelación y descongelación a velocidad lenta.^{18,27,31,37,38}

La evaluación sensorial de las características organolépticas de estudio, nos permitió conocer que estas características son afectadas más rápidamente en todas las muestras control del producto porque no se efectuaron acciones reafirmantes de tejidos, antioxidantes y conservadoras, ya que no se utilizaron soluciones de inmersión, a diferencia de los resultados obtenidos en todas las muestras tratadas con los agentes químicos en solución; sin embargo, estas características resultan seriamente afectadas a pesar de los agentes químicos empleados por la liberación de mucílago y la feofitización de la clorofila en el producto, aún habiendo realizado un preenfriamiento del nopal inmediatamente después de cosecharlo con el propósito de retardar aún más la velocidad de las reacciones de deterioro,²⁰ de ahí que su uso haya sido descartado para realizar la etapa II de experimentación.

El análisis microbiológico no se realizó en su totalidad en esta etapa de experimentación porque el autor Guevara Arazúa (2002) reportó que el nopal es un alimento inocuo a la salud del consumidor en razón del análisis microbiológico realizado por él, debido a que el género *Clostridium* no está

presente y tampoco las bacterias termolábiles como *E. coli*, *Salmonella*, *Vibrio* etc. porque el cultivo del nopal requiere únicamente de agua de temporal a diferencia de los demás productos hortícolas que generalmente se cultivan con agua de riego que en muchos casos son aguas negras, lo que propicia la presencia de estas bacterias y que son nocivas para la salud del consumidor. En cambio, el género *Bacillus* spp sí esta presente en el nopal pero no se favorece la germinación de sus esporas causantes de enfermedades gastrointestinales porque requieren de glicina, L-aminoácidos neutros, ribósidos purínicos y sobre todo L-alanina (Johnson, 1990).¹³

El análisis microbiológico realizado en el producto tratado con ácido cítrico/bisulfito de sodio nos brindaría resultados que nos permitieron conocer si hubo reducción de la carga microbiana de hongos, levaduras y bacterias en el producto al utilizar una solución desinfectante de cloro a 60 ppm y una solución de bisulfito de sodio combinada con ácido cítrico de la que el bisulfito de sodio permite conservar por más tiempo el producto sin alterarle sus características organolépticas porque su acción conservadora se potencia en el medio ácido logrado por la adición del ácido cítrico que actúa como agente acidulante al disociarse en ácido sulfuroso que penetra más fácilmente a las membranas de los microorganismos e inhibe sus mecanismos de respiración o al reaccionar con el grupo carbonilo de los carbohidratos para impedir que estos sean utilizados como fuente de energía por los microorganismos evitando así su proliferación y supervivencia en el producto, a diferencia de como ocurre en el nopal recién cosechado.^{4,14,15,37,27}

Con el propósito de evitar los efectos toxicológicos derivados del empleo del bisulfito de sodio en consumidores alérgicos o carentes de la sulfito oxidasa, se emplearon combinaciones de agentes químicos como ácido cítrico/ácido eritóbico³⁷ y ácido cítrico/ácido ascórbico sin obtener resultados satisfactorios debido a que el mucílago se libera de forma más abundante y la clorofila del producto resulta afectada, a diferencia del empleo de ácido cítrico/bisulfito de sodio, de ahí que no sea conveniente su sustitución ya que la sal comercial de bisulfito de sodio presenta una cantidad porcentual de SO_2 del 55%¹⁴, por lo que se espera que la cantidad absorbida en el producto sea menor a las 40 ppm disminuyendo la posibilidad de desencadenar los efectos toxicológicos.

8.2 Etapa II.

Una vez definido que las soluciones de inmersión de cal comercial y de ácido cítrico/bisulfito de sodio en bajas concentraciones y tiempos cortos de inmersión son adecuadas para la conservación del producto, la etapa II de la experimentación se enfocó a controlar únicamente la liberación de mucílago y la feofitización de la clorofila del mismo.

Las muestras del producto desespinado y cortado, envasadas en bolsas de polipropileno tratadas con agentes químicos y refrigeradas a 5°C permitieron obtener una vida de anaquel de 17 días, con una presentación comercial de producto mínimamente procesado con poca cantidad de mucílago a pesar de haber secado parcialmente al nopal en una estufa de vacío, lo cual concuerda con lo resultados reportados por el autor Pavel (2000), pero que difiere de los resultados obtenidos en la Etapa I de experimentación debido a que las bolsas de polipropileno empleadas son más permeables al vapor de agua de acuerdo a los datos técnicos de la bibliografía (Fellows (1994); Paine (1994) 6-8 cm³/m²/d/atm a 38°C y 90 % de H.R. si es orientado y 10-12 cm³/m²/d/atm a 38°C y 90 % de H.R. si no es orientado), a diferencia de las bolsas de polietileno de baja densidad (10-30 cm³/m²/d/atm a 38°C y 90 % de H.R.) y las de poliestireno/polietileno (donde la permeabilidad del poliestireno es de: 10-30 cm³/m²/d/atm a 38°C y 90 % de H.R. y la del polietileno de baja densidad es de: 78-132 cm³/m²/d/atm a 38°C y 90 % de H.R.) utilizadas para envasar el producto, ya que favorecen más la condensación del vapor de agua en agua líquida que hidrata al mucílago y lo libera de forma excesiva restándole tiempo a la vida de anaquel del producto, como señala Yabuta, Osorio(1988): “Si se usan películas plásticas para envasar al nopal este se deterioraría más por microorganismos como: hongos, levaduras y bacterias lácticas al incrementarse la humedad del medio al condensarse el vapor de agua en agua líquida.”

Las muestras del producto desespinado y cortado, tratadas con agentes químicos, envasadas en bolsas de polipropileno y congeladas a -20°C no permitieron obtener una vida de anaquel mayor a 17 días a pesar de haber realizado el secado parcial del nopal mediante la estufa de vacío debido a que el producto sufre quemaduras por frío y la formación de cristales grandes de hielo que

favorecen la liberación de mucílago y la feofitización de la clorofila a diferencia de las muestras del producto congelado y envasado a vacío de la etapa I de experimentación porque las bolsas de polipropileno son muy delgadas y no permiten el aislamiento adecuado del producto al frío.

Las muestras del producto desespínadas y cortadas, envasadas a vacío (bolsas de poliestireno/polietileno) y congeladas a -20°C permitieron obtener nuevamente la vida de anaquel de 17 días como en la etapa I de experimentación, pero una vida de anaquel de 12 días durante su almacenamiento en refrigeración debido a que la degradación de la clorofila y la liberación de mucílago son más rápidas, sin presentarse el pardeamiento enzimático.

Al aplicar el recubrimiento CMAM no propio para el nopal pero utilizado para estudiar su comportamiento en los tratamientos de conservación realizados, nos permitió que en las muestras enteras, tratadas con agentes químicos y refrigeradas a 5°C , se obtuviera una vida de anaquel de 14 días, en las que a pesar de que no se presentó liberación de mucílago, sí presentó manchas por pardeamiento enzimático debido a que posiblemente el recubrimiento no es un material tan impermeable al oxígeno como las bolsas de polipropileno y polietileno/poliestireno utilizadas, pero sí actúa como una barrera eficaz contra la evotranspiración del vapor de agua sin propiciar su condensación en agua líquida en la superficie del producto, por lo que para disminuir la cantidad de oxígeno causante del pardeamiento enzimático en el producto, se decidió envasarlo en bolsas de polipropileno sin obtener resultados satisfactorios debido a que se formó un ambiente muy húmedo por la condensación del vapor de agua en agua como se mencionó anteriormente, causándole una apariencia chiclosa que resulta desagradable al consumidor.

Las muestras del producto desespínadas, enteras y tratadas con los agentes químicos, utilizando el recubrimiento CMAM y congeladas a -20°C , sí conservaron sus características organolépticas sin liberación de mucílago por 22 días en las muestras con agentes químicos, a diferencia de las muestras congeladas de la Etapa I, debido a que la formulación del recubrimiento empleado contiene goma de mesquite que actúa como una sustancia crioestabilizadora que reduce la cantidad de agua congelable y causa la depresión del punto de congelación favoreciendo una congelación

más homogénea y suave en el producto por medio de la formación de cristales de hielo pequeños que se mantienen durante su descongelación²⁷ a diferencia de las muestras con recubrimiento envasadas en las bolsas de polipropileno pues como se mencionó el recubrimiento se vuelve chicloso. Sin embargo la conservación del producto con el recubrimiento MCAM congelado se afectó por el ataque de microorganismos que pueden proliferar a las bajas temperaturas de almacenamiento, ya que de acuerdo a la información técnica de la formulación del recubrimiento⁶ sabemos que este contiene únicamente ácido benzoico que es una sustancia eficientemente conservadora a un rango de pH de 2.5-4.0 contra levaduras y bacterias, pero no para hongos por lo que el nopal al tener un valor de pH ligeramente superior al rango mencionado, la eficiencia de conservación de esta sustancia en producto se ve afectada.^{4,15}

La evaluación sensorial de las muestras experimentales del producto nos permitió conocer que las características organolépticas del producto se afectan más en las muestras control que en las muestras tratadas con los agentes químicos respecto a las muestras del nopal desespinado, cortado y recién cosechado de la siguiente manera:

- 1) Sabor. En las muestras experimentales de la Etapa II de experimentación y en especial las muestras tratadas con el recubrimiento CMAM, el sabor resulta aceptable porque al cocer los nopales con sal y cebolla el sabor ligeramente amargo originado por la cal y el recubrimiento logra enmascararse, por lo cual se recomienda su consumo cocido o en guisados, pues de consumirse en crudo el consumidor está expuesto a las enfermedades gastrointestinales.
- 2) Color. El color verde brillante se mantiene inalterado por más tiempo en las muestras desespinaadas y enteras que en las muestras desespinaadas y cortadas tanto en refrigeración como en congelación de ambas etapas de experimentación, a pesar de haber utilizado únicamente en la etapa II el $MgCl_2$ para evitar la migración del ión Mg^{2+} de la clorofila por el ión H^+ , porque la liberación de los ácidos orgánicos contenidos en los líquidos intracelulares causantes de la acidificación del producto es mayor en las muestras desespinaadas y cortadas, al dañarse la integridad de las células

de los tejidos durante las operaciones de desespinado y cortado en comparación de las muestras enteras.^{3,15,18,27,37}

3) Textura. En las muestras desespinaadas y enteras, con recubrimiento y congeladas a -20°C resulta poco alterada debido a que hay una mayor integridad estructural en las células de los tejidos y se conserva por más tiempo gracias a la acción crioestabilizadora y depresora del punto de congelación de la goma de mesquite del recubrimiento aplicado, lo que se refuerza aún más con la formación de pectatos de calcio insolubles en agua al reaccionar con los iones Ca^{2+} provenientes de la solución de cal empleada con los grupos metoxilo de las pectinas del nopal, textura que no se consigue en las demás muestras experimentales al verse afectadas principalmente por acción del frío y la liberación de mucílago.^{18,27,31}

4) Aparición de manchas. Las muestras experimentales envasadas en polipropileno y a vacío, tanto en refrigeración a 5°C como en congelación a -20°C , no se presentaron por la escasa cantidad de oxígeno en el envase y su poca permeabilidad a dicho elemento, a diferencia de las muestras con recubrimiento y refrigeradas a 5°C debido a la posibilidad de que el recubrimiento tenga una mayor permeabilidad al oxígeno, por lo que si se congela el producto a -20°C la aparición de manchas por pardeamiento enzimático se controla favorablemente debido a que la temperatura es muy baja y ya no es óptima para la actividad de estas enzimas. En cambio en las muestras envasadas en polipropileno y congeladas las manchas se presentan principalmente por la acción del frío ya que el envase es muy delgado y no tiene buena acción aislante.^{3,4,15,18,37}

5) Liberación de mucílago. En las muestras refrigeradas y congeladas desaparece la liberación de mucílago al aplicar el recubrimiento CMAM porque evita la evotranspiración del vapor de agua y su condensación en agua líquida en la superficie del producto^{5,38} de forma similar a la cutícula cerosa del nopal, aunque sin la misma eficiencia contra el ataque microbiano ya que como se mencionó anteriormente el recubrimiento CMAM no incluye agentes antifúngicos, sólo ácido benzoico⁶ que actúa contra levaduras y bacterias a un rango de pH de 2.5-4.0 lo cual permite obtener únicamente una vida de anaquel de 22 días, a diferencia de las demás muestras

experimentales en las que la liberación de mucílago se presenta como resultado del ambiente húmedo formado por la condensación del vapor de agua a agua líquida.^{18,31}

Los resultados de las determinaciones químicas realizadas a las muestras experimentales del producto presentaron algunas variaciones posiblemente por los errores experimentales que se cometieron y a factores que serán descritos a continuación:

1) Humedad. El valor porcentual de la humedad determinado al inicio y después de los 15 días de experimentación no presentó mucha variación en las muestras enteras y cubiertas con el recubrimiento CMAM tanto en condiciones de refrigeración y congelación debido a la eficiente acción como barrera a la evotranspiración del vapor de agua del tejido del producto hacia el medio tanto en refrigeración como en congelación^{5,6}, ya que al aplicarlo posiblemente se logró un grosor comprendido entre los valores que se muestran a continuación:

Tabla 1. Permeabilidad del vapor de agua en función del grosor del recubrimiento MCAM aplicado en el producto.

Grosor (mm)	Permeabilidad al vapor de agua (g mm /kPa d m2)
0.152	67.32
0.253	128.29

Fuente: (Bosquez-Molina, Guerrero-Legarreta y Vernon-Carter, 2003)

Los valores del grosor del recubrimiento aplicado en las muestras del producto no fueron determinados por falta de equipo adecuado, pero debido a que el producto no presenta deshidratación superficial, ni notorio reblandecimiento se piensa que estos corresponden al valor más bajo de la tabla anterior porque tiene la menor permeabilidad a al vapor de agua^{3,4,6,7,15,37}, sin embargo las muestras control con recubrimiento MCAM sí mostraron variaciones del valor porcentual de humedad en las muestras iniciales y después de los 15 días de experimentación porque no hubo una acción conservadora de los agentes químicos al igual que las muestras experimentales del producto tratadas con agentes químicos pero envasadas en las bolsas plásticas utilizadas por la liberación de mucílago y la pérdida de grosor principalmente.

2) Acidez. El valor de acidez determinado al inicio y después de los 15 días de experimentación presenta un ligero incremento en su valor en las muestras del producto desespinado, cortado y refrigerado a 5°C, porque a pesar de que la velocidad de las reacciones metabólicas y respiratorias del producto son lentas para ocasionar el consumo de los ácidos orgánicos (Cantwell, 1998) hay una liberación de los ácidos orgánicos contenidos en los líquidos intracelulares de las células estructurales del producto por el desespinado y cortado.^{3,15,18,27,37}

El valor de acidez determinado al inicio y después de los 15 días de experimentación en las muestras tratadas con los agentes químicos y congeladas a -20°C se incrementa aún más que en las muestras refrigeradas a 5°C por la formación de cristales grandes de hielo que rompen las células estructurales de los tejidos y ocasionan pérdidas de grosor al someterse estas muestras a una velocidad lenta de congelación y descongelación²⁷, porque se favorece aún más la liberación de estos ácidos orgánicos²⁷ que no pueden ser neutralizados por la cal absorbida en el producto.

El valor de acidez determinado al inicio y después de los 15 días de experimentación en las muestras tratadas con los agentes químicos, desespinadas, enteras y con el recubrimiento MCAM con y sin envasado en las bolsas de polipropileno disminuyó tanto en condiciones de refrigeración a 5°C y congelación a -20°C porque los ácidos orgánicos son posiblemente utilizados como sustrato metabólico,^{15,18,38} lo cual difiere de las muestras control almacenadas en congelación a -20°C porque los valores de acidez sufren un incremento en menor proporción que las muestras desespinadas, cortadas y envasadas en las bolsas plásticas utilizadas porque no hay una absorción de cal que es una sustancia de pH básico³¹ en el producto capaz de neutralizar estos ácidos orgánicos liberados por el desespinado y los daños por frío.

3) pH. En las muestras del producto desespinadas y cortadas, envasadas en las bolsas plásticas utilizadas y refrigeradas a 5°C o congeladas a -20°C sí pudo apreciarse la relación inversa que hay entre el valor de acidez titulable y pH²² del producto determinados al inicio y después de los 15 días de experimentación porque cuando los valores de acidez final son mayores que los valores de acidez inicial tenemos que el valor de pH disminuye a diferencia de las muestras enteras con

recubrimiento porque cuando el valor de acidez final disminuye con respecto al inicial el valor de pH también disminuye o viceversa debido a los errores experimentales que se cometieron en las determinaciones químicas o a que el potenciómetro no detectó eficientemente todos los iones H^{1+} presentes en la muestra

9. CONCLUSIÓN

Es posible conservar por más de 22 días el nopal desespinado sin la presencia de pardeamiento enzimático, reblandecimiento, feofitinización de la clorofila, liberación de mucílago y efectos nocivos a la salud del consumidor, al utilizar cal y ácido cítrico/bisulfito de sodio como soluciones de inmersión, y un almacenamiento a temperaturas muy bajas como la congelación o refrigeración, mediante la aplicación de un recubrimiento o película comestible con adherencia, extensibilidad, acción antimicrobiana y permeabilidad a los gases como O₂, CO₂ y vapor de agua adecuadas en el producto.

10. RECOMENDACIONES

A efecto de conservar por mayor tiempo las características organolépticas del nopal desespinado se recomienda lo siguiente:

- a) Emplear agentes químicos en solución a bajas concentraciones y tiempos breves de inmersión.
- b) Únicamente desespinarlo sin cortarlo en cualquiera otra forma (tiras, rombos o cuadros), a fin de no dañar su tejido.
- c) Aplicar un recubrimiento o película comestibles, que se espera sean diseñados tomando en cuenta las características fisiológicas y químicas del nopal, a base de ingredientes orgánicos, que no contaminen el medio ambiente ni afecten la salud del consumidor, dándole un sabor agradable, tiempo de secado breve, acción antimicrobiana, adherencia, extensibilidad y permeabilidad al vapor de agua, CO₂ y O₂ adecuados.

11. BIBLIOGRAFÍA

- 1.- Aarón, L. B. Envasado de alimentos en atmósferas controladas, modificadas y a vacío. Acriba, Zaragoza, España 1996, pp. 213.
- 2.- Aguirre, R. J. R. y Reyes A. J. A. Congreso Nacional Sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Universidad Autónoma de San Luis Potosí. San Luis Potosí, México 1999, pp. 389.
- 3.- Artey, D. y Dennis, C. Procesado de frutas y hortalizas. Acribia. España 1992, págs. 115-170.
- 4.- Belitz, H.-D. y Grosch, W. Química de los alimentos. Acribia. 2ª edición, Zaragoza, España 1997, págs. 105-133, 336-338, 357-358, 425-514, 616-620, 727-728, 817-818, 846-848, 851-856 y 962-1023.
- 5.- Bosquez, M. E; Vernon, C. E. J y Pérez, F. L; Guerrero, L. I. Películas y Cubiertas comestibles para conservación en fresco de Frutas y Hortalizas. Industria Alimentaria 22 (1). Publicación bimestral Ene-Feb, México 2000, págs. 14-32.
- 6.- Bosquez, M. E; Vernon, C. E. J; Pérez, F. L; Guerrero, L. I. Moisture barrier properties and morphology of mesquite gum-candelilla wax based edible emulsion coatings. Elsevier 2003, pp. 9.
- 7.- Braverman, J. Introducción a la bioquímica de alimentos. Omega. 1ª edición, Barcelona, España 1978, págs. 330-331.
- 8.- Casp, V. A. Procesos de conservación de alimentos. Mundi-Prensa, 3ª edición, España, Barcelona 1999, págs. 125-153.
- 9.- Corrales, G. J. Fisiología y tecnología post-cosecha del fruto de tuna y del nopal verdura. UACH. México 2000, pp. 47.
- 10.- Corrales, G. J. y Flores, V. C. A. Tendencias actuales y futuras en el procesamiento del nopal y la tuna. UACH. México 2000, pp. 59.
- 11.- Cheftel, J.-C. y Cheftel, H. Introducción a la bioquímica y tecnología de los alimentos. Vol. 1 Acribia. Zaragoza, España 1976, págs 309-137.
- 12.- CODEX STAN 185-1993. Norma del Codex para el nopal.
- 13.- Derache, R. Toxicología y seguridad de los alimentos. Omega. Barcelona 1986, pp. 491
- 14.- Diarte, C. O. R. Estudio comparativo de 3 métodos para determinación de sulfitos en vegetales deshidratados. UNAM. Tesis licenciatura. México 1975, pp. 57.
- 15.- Fennema, O. R. Química de alimentos. Acribia. 2ª edición. Zaragoza, España 1995, págs. 425-514, 616-620, 727-728 y 962-1023
- 16.- Flores, V. C. A. Producción, industrialización y comercialización de nopalitos. UACH. Tesis Licenciatura. México 2001 pp. 27.
- 17.- Frazier, W. C. Microbiología de los alimentos. Acribia. 2ª edición. Zaragoza, España 1993, pp. 681
- 18.- García, O. P. Conservación de nopal mínimamente procesado. UACH. Tesis licenciatura. México 1997, pp. 111.
- 19.- Guevara, A. J. C. Estudio para evaluar las condiciones del proceso y almacenamiento del nopal (*Opuntia* sp). UNAM. Tesis de Licenciatura. México 1988, pp. 49

- 20.- Guevara, A. J. C. Estudios sobre los efectos de las atmósferas modificadas durante el almacenamiento de nopal (*Opuntia sp.*). Tesis Maestría, UNAM, México 2000, págs. 1-75.
- 21.- Huerta, G. A. y Montes de la R. M. I. Contenido de mucilago en 10 variantes de nopal verdura (*Opuntia spp.*) y sus efectos en las propiedades físicas y texturales. Tesis de licenciatura. UACH, México 2003 pp. 82.
- 22.- Kirk, R. S. Composición y análisis de alimentos de Pearson. CECSA. México 1996, pp. 756.
- 23.- Lindner, E. Toxicología de los alimentos. 2ª ed. Acribia. Zaragoza, España 1995, pp. 262.
- 24.- NMX-FF-068-1988. Productos alimenticios de hortaliza fresca. Nopal-Verdura con espinas.
- 25.- NOM-127-SSA1-1994. Agua para uso y consumo humano. Límites permisibles de calidad y tratamientos a que debe someterse el agua para su potabilización.
- 26.- Paine, F. A. Manual de envasado de alimentos. AMV. Madrid 1994, pp. 507.
- 27.- Pérez, C. K. G. Congelación de frutas. Tesis de licenciatura. UNAM. México 2000, pp.186
- 28.- Pérez, S. L. R. M. Alternativas para la conservación e industrialización del nopal. Tesis Licenciatura. UNAM. México, 1990 pp 81.
- 29.- Pérez, N. M. Cambios fisicoquímicos y microbiológicos en nopal (*Opuntia spp.*) irradiado con rayos gamma de cobalto 60. Tesis Licenciatura. UNAM. México 2001 pp 64.
- 30.- Razo, M. Y. y Sánchez H. M. Acidez de 10 variantes de nopalito (*Opuntia spp.*) y su efecto en las propiedades químicas y sensoriales. UACH. México 2002, pp. 104.
- 31.- Rodríguez, C. J. Reducción de la salida de mucilago en el nopal (*Opuntia ficus - indica*) durante las fases de hidratación. UACH, México 1995, pp. 65.
- 32.- Ruiz, P. S. Proyecto para el establecimiento de una congeladora de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica* (L.) Miller) en el municipio de Tlalnepantla, Morelos. UACH. México 1994, pp. 106.
- 33.- Sagarpa. Claridades Agropecuarias. El nopal. Vol. 101. Publicación mensual. Julio 2001. pp 176.
- 34.- La Sociedad zacatecana. Memorias del Congreso Internacional sobre el Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal. Zacatecas, México 2003, pp. 126.
- 35.- Shibamoto, T. Introducción a la toxicología de los alimentos. Acribia. Zaragoza, España 1996, pp. 174.
- 36.- Valle, V. P. Toxicología de alimentos. Centro Panamericano de Ecología Humana y Salud, México 1991 pp. 218.
- 37.- Willey, R.C. Frutas y hortalizas mínimamente procesadas y refrigeradas. Acribia. Zaragoza, España 1992, págs. 65-124.
- 38.- Yabuta, O. I. E. Y. Selección del método más viable para la conservación del nopal. UNAM. México 1988, pp. 154.
- 39.- <http://ag.arizona.edu/OALS/oals/proj/linkages/cactus/postharvesthandling.html>
Conservación del nopal desespinado.
- 40.- <http://www.ciatej.net.mx/ciatej/nopal/contenido.htm>
Métodos de conservación y otras tecnologías.

- 41.- <http://www.etsia.upm.es/fedna/capitulos/98CAPXIV.pdf> –
Información de la pectina.
- 42.- <http://www.fao.org/DOCREP/005/Y2808E/y2808e00.htm#Contents>
Información nacional e internacional del nopal.
- 43.- <http://www.galaxymall.com/health/mwmc/prod-nopal.html>
Propiedades del nopal
- 44.- <http://www.giga.com/~mag/Tratado%20Nopal.htm-81k> –
Generalidades del nopal.
- 45.- <http://www.herbalmanac.com/nopal/> - 6k
Propiedades del nopal
- 46.- http://www.infoagro.com/industria_auxiliar/envasado.asp
Tecnología del envasado de alimentos en atmósferas modificadas o controladas.
- 47.- <http://www.monografias.com/trabajos10/tebar/tebar.shtml>
Envasado de alimentos en atmósferas modificadas y envasadas.
- 48.- www.nopalitoz.com/ingles_plant.htm - 31k –
Análisis proximal completo.
- 49.- <http://www.poscosecha.com/4gamafr.html>
Postcosecha del nopal.
- 50.- <http://usuarios.lycos.es/vicobos/nutricion/quimica3.html>
Temas de química y bioquímica de alimentos.