

INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS
SUPERIORES DE MONTERREY
CAMPUS MONTERREY

DIVISION DE INGENIERIA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERIA



PLANEACION DEL SISTEMA DE CALIDAD PARA LA
PRODUCCION DE NOPAL VERDURA PRECORTADO

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO ACADEMICO DE

MAESTRO EN CIENCIAS
ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD

ANTONIO MELGOZA HERNANDEZ

Mayo de 2000

**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY
CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

**PLANEACIÓN DEL SISTEMA DE CALIDAD PARA LA PRODUCCIÓN DE
NOPAL VERDURA PRECORTADO**



**PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL PARA
OBTENER EL GRADO ACADÉMICO DE:**

MAESTRO EN CIENCIAS

ESPECIALIDAD EN SISTEMAS DE CALIDAD

ANTONIO MELGOZA HERNÁNDEZ

MAYO, 2000

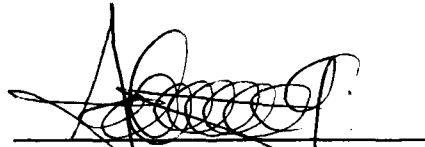
**INSTITUTO TECNOLÓGICO Y DE ESTUDIOS SUPERIORES DE
MONTERREY
CAMPUS MONTERREY**

**DIVISIÓN DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA
PROGRAMA DE GRADUADOS EN INGENIERÍA**

Los miembros del jurado examinador recomendamos que la presente tesis del Ing. Antonio Melgoza Hernández, sea aceptada como requisito parcial para optar al grado académico de Maestro en Ciencias con especialidad en:

SISTEMAS DE CALIDAD

El jurado examinador



Juan Antonio Nevero Muñoz

M.C.
Asesor



Oscar Alberto González Ramírez

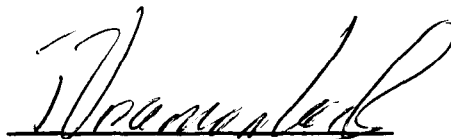
M.C.
Sinodal



Gonzalo Mitre Salazar

Ph. D.
Sinodal

APROBADO



Federico Viramontes B.

Ph. D.

Director del Programa de Graduados en Ingeniería

Mayo de 2000

DEDICATORIA

A mis padres, Antonio Melgoza Castillo y Teresita Hernández de Melgoza, por su amor y gran apoyo, por sus oraciones y por darme la vida.

A mi hermana, Maritere, por sus oraciones, su cariño y por compartir grandes momentos en mi vida.

AGRADECIMIENTOS

A Dios, por darme tantos beneficios y todos los recursos para llegar a esta etapa de mi vida.

Al M.C. Juan Antonio Nevero Muñoz, por transmitirme tantos conocimientos, por darme sabios consejos y por apoyarme incondicionalmente como asesor en la elaboración de esta tesis.

Al M.C. Oscar Alberto González Ramírez , por su paciencia, sus magníficas enseñanzas y gran apoyo como sinodal de este proyecto.

Al Dr. Gonzalo Mitre Salazar, por sus excelentes clases y por fungir excepcionalmente como sinodal de este proyecto.

Al Quim. Luis Manuel Pérez Quilantán, por su disposición y por tantos kilómetros de carretera.

A la Lic. Margarita del Bosque por su apoyo e información.

A la M.C. Leticia Bravo, por su amistad e invaluable dedicación en la evaluación sensorial de esta tesis.

A Carmen Díaz e Ixchel Martín por su preocupación, asesoría y ayuda incondicional en la fase experimental.

A Beatriz Tovar, María Eugenia Villalaz, Janet Gutiérrez y Daniel Bouchereau por su gran colaboración en el estudio cualitativo de mercado.

A Martha León, por ayudarme a conseguir literatura en el extranjero.

A Edgar Dávalos, por su disposición y ayuda tecnológica.

A Martha Saucedo y Violeta García por desvelarse conmigo en la fase experimental.

A mis amigos, compañeros, maestros y a todas aquellas personas que estuvieron a mi lado y contribuyeron de alguna manera para que concluyera mi tesis.

ÍNDICE

ÍNDICE DE CUADROS	i
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1 Antecedentes.	1
1.2 Definición del problema.	2
1.3 Justificación e importancia.	2
1.4 Objetivo.	2
1.5 Limitaciones.	2
2. ANÁLISIS DE DOCUMENTACIÓN	3
2.1 Historia del nopal.	3
2.2 Localización geográfica.	4
2.3 Especies de nopal localizadas en México.	6
2.4 Fisiología y anatomía.	11
2.5 Composición química.	16
2.6 Usos y subproductos.	25
2.6.1 Forraje.	26
2.6.2 Fruto.	28
2.6.3 Obtención de colorantes.	31
2.6.4 Fuente de mucílagos, gomas y pectinas.	32
2.6.5 Verdura.	33
2.6.6 Otros usos del nopal.	36
2.7 Beneficios y valor nutricional del nopal como verdura.	36
2.8 Manejo poscosecha del nopal verdura.	41
2.9 Productos precortados.	45
2.9.1 Historia y definición.	45
2.9.2 Proceso general.	46
2.9.3 Mercado.	51
2.9.4 Calidad.	52
2.10 Sistemas de calidad organizacional.	56
2.11 Sistemas de seguridad alimentaria.	63
2.12 Regulaciones para productos precortados.	67
2.13 Productos precortados de nopal verdura.	70

3. MÉTODOLÓGÍA	71
3.1 Diagnóstico de la producción de nopal como materia prima para la empresa bajo estudio.	71
3.2 Diagnóstico del sistema de calidad actual de la empresa bajo estudio.	71
3.3 Conocimiento de las necesidades del consumidor final.	73
3.3.1 Grupo de expertos de opinión.	73
3.3.2 Diseño y aplicación de encuestas en puntos de venta.	74
3.4 Conocimiento de las necesidades del cliente distribuidor.	75
3.4.1 Entrevista “cara a cara” con personal de supermercados.	75
3.5 Despliegue de las Funciones de Calidad (QFD).	75
3.6 Conocimiento de las necesidades del proceso.	77
3.6.1 Establecimiento de la vida útil esperada para el producto de nopal precortado.	77
3.6.2 Análisis de materia prima.	77
3.6.3 Diseño experimental.	79
3.6.4 Preparación de muestras.	81
3.6.5 Análisis de datos.	82
3.6.6 Evaluación sensorial.	82
3.6.7 Propuesta para el proceso productivo.	83
3.7 Satisfacción de las necesidades del cliente salubridad.	83
4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS	84
4.1 Diagnóstico de la producción de nopal como materia prima para la empresa bajo estudio.	84
4.2 Diagnóstico del sistema de calidad actual de la empresa bajo estudio y desarrollo de áreas de oportunidad.	87
4.2.1 Liderazgo.	87
4.2.2 Recurso Humano.	87
4.2.3 Producto.	90
4.2.4 Proceso.	91
4.2.5 Proveedores.	92
4.2.6 Competencia.	92
4.2.7 Desarrollo de áreas de oportunidad para el proceso productivo.	93
4.2.8 Recomendaciones acerca del diagnóstico del sistema de calidad actual.	98

4.3 Conocimiento de las necesidades del consumidor final.	102
4.3.1 Grupo de expertos de opinión de poder adquisitivo estable.	102
4.3.2 Grupo de expertos de opinión de clase social con carencias económicas.	104
4.3.3 Aplicación de encuestas en puntos de venta.	105
4.4 Conocimiento de las necesidades del cliente distribuidor.	115
4.4.1 Entrevista “cara a cara” con personal de supermercados.	115
4.5 Despliegue de las Funciones de Calidad (QFD).	116
4.5.1 Discusión acerca del QFD.	120
4.6 Conocimiento de las necesidades del proceso.	123
4.6.1 Resultados de la vida útil esperada para el producto de nopal precortado.	123
4.6.2 Resultados del análisis de materia prima.	123
4.6.3 Resultados del diseño experimental.	124
4.6.4 Resultados de la evaluación sensorial.	128
4.6.5 Propuesta para el proceso productivo.	131
4.7 Satisfacción de las necesidades del cliente salubridad.	132
5. CONCLUSIONES	138
6. RECOMENDACIONES	139
7. BIBLIOGRAFÍA	140
ANEXOS	145

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I.	Principales carbohidratos fermentables en dos especies de <i>Opuntia</i>	17
Cuadro II.	Estudios del contenido de fibra cruda en algunas especies de <i>Opuntia</i>	18
Cuadro III.	Composición de la “goma de cholla”	19
Cuadro IV.	Análisis de mucílagos en <i>O. ficus-indica</i> y <i>O. tomentosa</i>	19
Cuadro V.	Contenido de pectinas en algunas especies de <i>Opuntia</i>	20
Cuadro VI.	Contenido de proteína en algunas especies de <i>Opuntia</i>	23
Cuadro VII.	Análisis de proteínas y aminoácidos en nopales	24
Cuadro VIII.	Algunas vitaminas encontradas en <i>Opuntia hyptiacantha</i>	25
Cuadro IX.	Contenido de vitamina C en especies de <i>Opuntia</i>	25
Cuadro X.	Principales especies de <i>Opuntia</i> utilizadas como forraje en los agostaderos de México	27
Cuadro XI.	Porcentaje de digestibilidad de cinco raciones alimentarias como forraje	28
Cuadro XII.	Descripción de frutos de nopales de <i>Opuntia</i> de tuna fina	29
Cuadro XIII.	Descripción de frutos de nopales de <i>Opuntia</i> silvestres	30
Cuadro XIV.	Especies de <i>Opuntia</i> para producción de verdura	35
Cuadro XV.	Contenido de aminoácidos de <i>Opuntia ficus-indica</i>	38
Cuadro XVI.	Composición química de tallos de nopal	39
Cuadro XVII.	Contenido de vitamina C en frutas y verduras	40
Cuadro XVIII.	Factores y niveles del diseño experimental	79
Cuadro XIX.	Evaluación de instalaciones no funcionales en la empresa bajo estudio como área de oportunidad	94

Cuadro XX. Evaluación de tasa de rotación alta en la empresa bajo estudio como área de oportunidad	95
Cuadro XXI. Evaluación de deficiente seguridad de la planta en la empresa bajo estudio como área de oportunidad	95
Cuadro XXII. Evaluación de la falta de un programa de monitoreo y control de calidad en la producción en la empresa bajo estudio como área de oportunidad	96
Cuadro XXIII. Evaluación de devoluciones del producto en la empresa bajo estudio como área de oportunidad	96
Cuadro XXIV. Evaluación de desconocimiento de Buenas Prácticas de Manufactura y riesgos al consumidor en la empresa bajo estudio como área de oportunidad	97
Cuadro XXV. Parámetros físico-químicos de las tres variedades de nopal utilizadas en el experimento	123
Cuadro XXVI. Resultados de las variables medidas a los 14 días de almacenamiento para los tratamientos de nopal precortado probados en el diseño experimental	125
Cuadro XXVII. Tratamientos de nopal precortado elegidos según el análisis de medias de las variables del diseño experimental	126
Cuadro XXVIII. Tratamientos de nopal precortado elegidos para la evaluación sensorial	128
Cuadro XXIX. Parámetros fisicoquímicos del nopal precortado utilizado en la evaluación sensorial	129
Cuadro XXX. Resultados de prueba de nivel de agrado para nopal precortado con cien consumidores	129
Cuadro XXXI. Modelo de HACCP para el proceso productivo de nopal precortado	133

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1. Operaciones unitarias en el proceso de productos precortados	46
Fig. 2. La Estrella de la Calidad (Mitre, 1990)	56
Fig. 3. La Casa de la Calidad (Adaptado de Eureka y Ryan, 1988)	60
Fig. 4. Adaptación del ciclo de Deming para el QFD	62
Fig. 5. Organigrama de la empresa bajo estudio	88
Fig. 6. Diagrama del proceso productivo de la empresa bajo estudio	91
Fig. 7. Razones por las que amas de casa entrevistadas en supermercados del sur de Monterrey compran nopal	105
Fig. 8. Frecuencia de consumo de nopal de las amas de casa entrevistadas en supermercados	106
Fig. 9. Variedad de recetas en la preparación de nopal utilizadas por amas de casa entrevistadas en supermercados	106
Fig. 10. Interés por parte de amas de casa entrevistadas en supermercados en adquirir nopal precortado	107
Fig. 11. Razones por las cuales amas de casa entrevistadas en supermercados comprarían nopal precortado	107
Fig. 12. Preferencias de textura de nopal en amas de casa entrevistadas en supermercados del sur de Monterrey	108
Fig. 13. Preferencias de grosor en penca de nopal en consumidoras entrevistadas en supermercados	108
Fig.14. Preferencias de presentación de producto precortado de nopal en amas de casa entrevistadas en supermercados	109
Fig. 15. Preferencias de color de nopal en amas de casa entrevistadas en supermercados	109
Fig. 16. Preferencias de sabor de nopal en consumidoras entrevistadas en supermercados	110

Fig. 17. Preferencias de presencia de mucilago en producto precortado de nopal en consumidores entrevistados en supermercados	111
Fig. 18. Razones por las cuales gusta a consumidoras entrevistadas en supermercados el envase de nopal precortado de la empresa bajo estudio	111
Fig. 19. Vida útil esperada de producto precortado de nopal en consumidoras entrevistadas en supermercados	112
Fig. 20. Lugar donde consumidoras de nopal entrevistadas en supermercados prefieren encontrar el producto de nopal precortado	112
Fig. 21. Costo esperado por consumidoras entrevistadas en supermercados para el producto de nopal precortado	113
Fig. 22. Horas al día que amas de casa entrevistadas en supermercados poseen para cocinar sus alimentos	114
Fig. 23. Horas al día que amas de casa entrevistadas en supermercados poseen para comprar sus alimentos	114
Fig. 24. Diagramas de afinidad de requerimientos del consumidor de nopal precortado	117
Fig. 25. Despliegue de las Funciones de Calidad (QFD) para el diseño de nopal verdura precortado	119
Fig. 26. Diagrama de proceso propuesto para la producción de nopal verdura precortado	131

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

Una empresa procesadora de nopal de Monterrey, N.L. ha pedido apoyo al Departamento de Tecnología de Alimentos del Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey, debido a que ha presentado ciertos problemas con su producto. Desde 1996 se ha experimentado con su materia prima y su proceso en laboratorio y se ha adquirido cierta experiencia en el manejo de nopal.

En el año de 1998, esta empresa, junto con tres universidades, iniciaron un proyecto financiado por el Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT) a través del Sistema de Investigación Alfonso Reyes (SIREYES). El nombre del proyecto fue “Desarrollo y asimilación de tecnología para el cultivo y manejo poscosecha del nopal verdura en el noreste de México”.

Los organismos participantes fueron los siguientes:

- Universidad Autónoma de Tamaulipas: la cual se encargó de lo relacionado con la producción y evaluación de diferentes variedades de nopal en campo en la región de Llera, Tamaulipas.
- Universidad Autónoma Agraria Antonio Narro: la cual se dedicó a la producción de diferentes variedades de nopal en Saltillo, Coahuila.
- Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, Campus Monterrey: el cual participó, por medio del Departamento de Tecnología de Alimentos, en la elaboración de la presente tesis para el área de calidad y proceso productivo de nopal verdura precortado.
- La empresa bajo estudio: la cual colaboró con sus instalaciones, materia prima, mano de obra y tecnología, así como con la elaboración del diagnóstico del sistema de calidad. El nombre de la empresa se omitió durante el presente trabajo por cuestiones de confidencialidad.

La empresa tiene la inquietud de exportar a Estados Unidos, sin embargo actualmente presenta todavía muchos problemas de calidad los cuales no permiten la exportación.

1.2 Definición del Problema

Se desconocen las características de calidad, definidas por el cliente, y cómo lograrlas en nopal verdura precortado para el mercado de Monterrey, N.L.

1.3 Justificación e importancia

Un mejor aprovechamiento del nopal verdura, puede contribuir a que la empresa amplíe su mercado hacia otros estados de la República Mexicana y hacia el extranjero; además de proporcionar una alternativa en alimentación, puesto que en gran parte del territorio mexicano se produce esta hortaliza.

Los resultados obtenidos servirán de referencia para futuras investigaciones, ya que existe muy poca información acerca del procesamiento y conservación del nopal verdura.

1.4 Objetivo

Determinar un procedimiento para conocer y lograr las características de calidad que requiere el mercado de Monterrey para nopal verdura precortado.

1.5 Limitaciones

Debido a la lejanía y recursos limitados para viajar, no se pudieron efectuar con frecuencia visitas y experimentación en campo; sin embargo, se buscó recabar la suficiente información del manejo poscosecha necesaria para el proceso.

El nopal utilizado para el diseño experimental fue el proporcionado por el grupo de investigación de la Universidad Autónoma de Tamaulipas. De esta manera, la uniformidad de materia prima para las variedades probadas así como su manejo de poscosecha, dependió de dicho grupo.

Las condiciones ambientales en el lugar de experimentación no fueron las óptimas debido a que no se contó con el servicio de aire acondicionado durante la etapa de experimentación.

2. ANÁLISIS DE DOCUMENTACIÓN

2.1 Historia del nopal

El nopal es una cactácea de los géneros *Opuntia* y *Nopalea* que desde tiempos ancestrales ha tenido gran relevancia para culturas como la chichimeca, mixteca y zapoteca. En general, todos los vegetales pertenecientes a esta familia representaron un elemento fundamental en la vida económica, social y religiosa de estas civilizaciones.

Los usos principales que se le daban al nopal eran desde alimento, hasta remedios curativos y talismanes religiosos. Bravo-Hollis (1978) menciona que los nahuas tenían un gran contacto con las cactáceas debido a sus hábitos de observación de la naturaleza, adquiridos en su forma de vida errante, así como por su necesidad de alimentación y curación con vegetales.

Debido a este uso ancestral, las cactáceas han sido de gran interés para historiadores en México. El jeroglífico de la Gran Tenochtitlán enarbolaba ostentadamente un nopal, símbolo que todavía mantiene el escudo nacional de México.

Dentro de algunos términos que los antiguos utilizaban relacionados al nopal se encuentra *nochtli*, el cual sirve para describir tallos articulados, discoideos y aplanados; aquí se incluyen géneros actuales como *Opuntia*, *Nopalea* y *Epiphyllum*. Por otro lado existe el término *comitl* relacionado con cactus provistos de tallos esferoides (Granados y Castañeda, 1996; Bravo-Hollis, 1978).

Clavijero (1789), citado por Bravo-Hollis (1978), indica que el cuidado especial del nopal, por parte de culturas ancestrales, era debido a la crianza de la cochinilla, insecto que invade el cultivo y del cual se extrae la grana, uno de los colorantes orgánicos más preciados para teñir textiles. Los opuntias determinaron en muchos casos la formación de asentamientos humanos, ya que en la época de fructificación muchas tribus emigraban a la región donde abundaba esta planta y fijaban ahí su residencia. En México existen algunos lugares cuyo nombre antepone el prefijo *nochtli*, lo que indica que sin duda en estos sitios abunda o abundaba el nopal, tal es el caso de Nocheztlán (Nochixtlán), en el Estado de Oaxaca, que significa lugar donde abunda la grana, así como Nochtepec o cerro de tunas y Xoconochco (Soconusco) o lugar de tunas agrias en el estado de Chiapas.

El cultivo se difundió por todo el mundo, debido a su belleza como planta de ornato y su factibilidad de producción de grana. Los españoles lo diseminaron en América, España, Francia e Italia; los moros en el norte de África y los portugueses en Brasil, Angola e India (Granados y Castañeda, 1996).

2.2 Localización geográfica

Las cactáceas del género *Opuntia* son originarias del continente americano y se cree que su origen específico es México debido a la gran diversidad de estos vegetales dentro del país (Granados y Castañeda, 1996). El cultivo se localiza desde la provincia de Alberta, en Canadá, hasta la Patagonia en Argentina; se encuentra en las regiones desérticas del continente.

Según Velázquez (1962), citado por Granados y Castañeda (1996), las principales zonas nopaleras de México son: zona norte, la cual incluye a los estados de Coahuila, Nuevo León y Tamaulipas, donde el nopal se emplea como forraje en época de sequías; la zona del centro, que abarca los estados de San Luis Potosí y Zacatecas, productores de tuna y nopal verdura; además, Granados y Castañeda (1996), reconocen una zona en el sureste mexicano, que incluye al estado de Oaxaca, donde se da una utilización del nopal como forraje y verdura.

Marroquín y sus colaboradores (1964), citados por Granados y Castañeda (1996), hacen otra clasificación en base a la abundancia e incidencia natural del nopal: la zona nopalera, que incluye a los estados de Zacatecas, Aguascalientes, Jalisco, Durango y Guanajuato; por otro lado, existe la zona nopalera del noreste, donde se incluyen a los Estados de Tamaulipas y noreste de Nuevo León; y por último se encuentra la zona nopalera difusa localizada en los estados de Zacatecas, Nuevo León, Coahuila y partes áridas de Durango y Chihuahua.

El nopal crece en distintos tipos de suelos pero principalmente en zonas áridas y semiáridas correspondientes del 50 al 70% del territorio mexicano (Rzedowsky, 1959, citado por Granados y Castañeda, 1996). Aquí las condiciones climáticas son extremas, presentándose lluvias aisladas y mal distribuidas, alta temperatura e incidencia luminosa. Todos estos factores combinados han hecho que las cactáceas tengan adaptaciones

morfológicas y fisiológicas para subsistir. En el altiplano mexicano, el nopal crece en suelos pedregosos, sujetos a temperaturas extremas y sequías prolongadas. Otros autores (Rzedowsky, 1981; Rzedowsky y Mcvaugh, 1966; Gentry, 1957; citados por Granados y Castañeda, 1996) mencionan que el nopal se encuentra también en matorrales subtropicales de los estados de Jalisco y Aguascalientes y bosques espinosos y pastizales en Durango y Zacatecas.

Según el VII Censo Agropecuario del Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática (INEGI) (1991), las entidades de la República Mexicana que presentaron superficie plantada con nopal para verdura en el año agrícola 1990-1991 fueron treinta y una, con un total de 28,652 ha. Las entidades que presentaron mayor superficie plantada fueron: Zacatecas con 5616 ha, San Luis Potosí con 5,225 ha, Estado de México con 4,341 ha y Guanajuato con 2,935 ha. Las superficies anteriores representan 76% de la superficie plantada con esta cactácea en el país. Las 26 entidades restantes aportaron conjuntamente una superficie de 6,967 ha.

La superficie nacional plantada con nopal tunero en el año agrícola 1990-1991 fue de 2,911 ha. Veintinueve entidades presentaron superficie plantada con este cultivo, destacando por su participación: Guanajuato con 743 ha, Zacatecas con 561 ha, Estado de México con 412 ha, San Luis Potosí con 312 ha y Aguascalientes con 240 ha. Las superficies anteriores representan el 81% de la superficie plantada con esta cactácea en el país. Las veinticuatro entidades restantes conjuntaban una superficie de 643 ha plantadas con nopal tunero.

La superficie nacional plantada con nopal forrajero, en el año agrícola 1990-1991, fue de 12.5 ha. Las entidades que reportaron superficie plantada con nopal destinado para este fin, fueron Tamaulipas con 8 ha y Coahuila con 4.5 ha, ambas superficies en producción (INEGI, 1991).

2.3 Especies de nopal localizadas en México

A continuación se muestran algunas de las especies del género *Opuntia* y *Nopalea* encontradas con frecuencia en México (CODAGEM, 1981, citado por Granados y Castañeda, 1996; Bravo-Hollis, 1978; INEGI, 1991):

Opuntia streptacantha

Su nombre común es nopal “cardón”. Pertenecen a esta serie la mayoría de las especies que producen frutos comestibles cultivados por poblaciones rurales. Contiene espinas largas ligeramente amarillentas aciculares. Sus flores son grandes, de colores amarillo y naranja y sus frutos son carnosos. Crecen en la región central de México.

Opuntia leucotricha

Comúnmente se conoce como nopal “duraznillo”. Esta especie está provista de abundantes espinas setosas, largas y blancas. Las flores son amarillas y su fruto es globoso blanco y amarillento con tinte púrpúreo y de aroma agradable. Miden de 3 a 5 m de altura y se encuentran ampliamente distribuidos en zonas de la altiplanicie, en San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Guanajuato, Querétaro e Hidalgo. Constituye un recurso de gran valor económico como forraje.

Opuntia robusta

Conocido como nopal “tapón” o “bartolona”. Constituye una planta arbustiva muy ramificada de 1 a 2 m de altura de artículos orbiculares azulados y espinas vigorosas de color blanco amarillentas. Sus flores son grandes y amarillas y sus frutos son globosos o elípticos de color púrpura. Se encuentran en zonas áridas del centro de la República, como Zacatecas, Hidalgo, Querétaro, San Luis Potosí y Guanajuato.

Opuntia lindheimeri

Su nombre común es nopal “cacanapo”. Especie arbustiva de 1 a 3 m de altura, de hojas angostas y cónicas. Sus espinas son amarillas y en ocasiones con la base negra o roja.

Las flores son amarillas verdosas o rojizas. Se le localiza en los estados de Durango, Zacatecas, Aguascalientes, Chihuahua, Coahuila y Tamaulipas y es utilizado como forraje.

Opuntia cantabrigiensis

Conocido como nopal “cuija”. Son arbustos redondeados de 1 a 2 m de altura, con artículos orbiculares obovados de color verde azulado pálido. Sus hojas son de color verde claro y sus espinas son amarillas de base roja extendidas y aciculares. Sus flores son amarillas con centros rojizos y sus frutos son púrpuras de pulpa carmesí. Es común encontrarlo en los estados de San Luis Potosí, Guanajuato e Hidalgo y es utilizado como forraje.

Opuntia rastrera

Especie con el nombre común de nopal “rastrero”. Es una planta rastrera de artículos circulares como de 20 cm de diámetro. Sus espinas son blancas con la base oscura de flores amarillas y fruto púrpura de sabor ácido. Crece en las planicies de San Luis Potosí y es utilizado como forraje.

Opuntia imbricata

Arbusto de aproximadamente 5 m de altura conocido con el nombre común de nopal “cardenche” o “xoconoztle”. Tiene el tronco y las ramas principales gruesos, hojas caducas y espinas numerosas. Sus flores se encuentran localizadas en la extremidad de las ramas y tienen coloraciones púrpuras y rosadas. Producen un fruto tuberculado amarillo, carnoso cuando madura y sin espinas. Se localiza en el Distrito Federal y parte de los estados de la altiplanicie de México.

Opuntia macrocentra

Planta algo arbustiva con el nombre común de nopal “chivero”. Con ramas ascendentes de 60 a 90 cm de altura. Sus artículos orbiculares son oblongos y anchos de colores azulosos o purpúreos. Tienen espinas castañas, delgadas y erectas; sus flores son

amarillas y rojizas al marchitarse. Producen frutos carnosos, ovoides de color púrpura y no espinosos. Se encuentra comúnmente en Chihuahua, Sonora y Durango.

Opuntia chrysacantha

Se le conoce con el nombre de nopal “espina amarilla”. Es una especie a veces rastrera, pero generalmente formando un arbusto cubierto de aréolas muy espiníferas. Sus flores son diurnas, gruesas y de color amarillo pálido. No se ha visto que produzca fruto. Se distribuye en los estados de Zacatecas, Aguascalientes y San Luis Potosí. Por el color dorado de sus espinas, amerita ser una planta de ornato.

Opuntia azurea

Su nombre común es nopal “coyotillo”. Es una planta erecta, compacta, provista de un solo tronco de 1 a 2 m de altura. Contiene espinas gruesas amarillas que se ponen negras cuando envejece. Sus flores son amarillas con carmín y rosadas con el paso del tiempo. Su fruto es carmesí, truncado y sin espinas, de pulpa verde, clara, jugosa y comestible. Se distribuye ampliamente en San Luis Potosí, Zacatecas, Durango y Aguascalientes.

Opuntia amyclaea

Planta arbustiva de nombre común nopal “alfacayucan”. Tiene cladodios oblongos, gruesos de color verde oscuro. Sus hojas son agudas y rojas, de espinas rígidas blancas, perpendiculares y divergentes. Florea de color amarillento y produce un fruto no muy jugoso.

Opuntia megacantha

Esta planta es el nopal nombrado comúnmente como nopal “tuna amarilla”. Mide de 4 a 5 m de alto con un tronco leñoso más o menos definido. Contiene cladodios grandes de color verde y hojas pequeñas verdes o purpúreas. Sus espinas son aplanadas, blancas y ligeramente extendidas. Posee flores amarillas y un fruto de 7 a 8 cm de largo. Se localiza en los estados de San Luis Potosí, Aguascalientes, Guanajuato y Zacatecas. Benson (1969), citado por Bravo-Hollis (1978), menciona que esta especie no es más que la forma silvestre

O. ficus-indica. Los frutos que produce son comestibles, muy grandes y agradables, existen muchas variedades y formas cultivadas.

Opuntia lasiacantha

Planta arborescente de tronco más o menos bien definido con artículos oblongos, contiene espinas aciculares extendidas de color blanco. Sus flores son grandes de color amarillo o anaranjado. Se aprovechan sus frutos y se cultivan en todo el altiplano mexicano.

Opuntia spinulifera

Planta erecta y baja de cladodios robustos, se aprovecha el fruto, el cual es cilíndrico de color amarillento. Se localiza en los estados de México, Hidalgo y Tlaxcala.

Opuntia hyptiacantha

Recibe el nombre común de nopal “cascarón” o “memelo”. Mide hasta 4 m de altura, muy ramosa y de tronco bien definido. Sus tallos son oblongos de 20 a 30 cm de longitud, gruesos y de color verde oscuro. Sus flores son rojas y su fruto es globoso de color amarillento o púrpura. Es un nopal tunero silvestre distribuido ampliamente en la Mesa Central del país.

Opuntia tomentosa

Planta de 3 a 5 m de altura, de tronco liso y ramas abundantes. Sus cladodios son oblongos de 10 a 60 cm de longitud, espinas generalmente ausentes. Presenta flores anaranjadas y frutos ovoides de color rojo. Se encuentra abundantemente en el Valle de México.

Opuntia stenopetala

Comúnmente se le conoce como nopal “arrastradillo o serrano”. Especie de arbustos bajos y cladodios orbiculares verde grisáceos y muy espinosos. Los cladodios jóvenes solamente poseen hojas que generalmente son de color rojo oscuro. Poseen espinas moreno rojizas hasta negras y flores unisexuales pequeñas. Su fruto es globoso, ácido con o sin espinas. Se localiza principalmente en Coahuila, Nuevo León, San Luis Potosí, Tamaulipas,

Zacatecas, Querétaro, Guanajuato e Hidalgo. Es una especie variable en cuanto al número, tamaño y disposición de espinas. Constituyen una planta muy ornamental en época de floración.

Opuntia ficus-indica

Se le denomina comúnmente nopal “memelo” o nopal de “castilla”. Son plantas arborescentes de 3 a 5 m de alto con tronco leñoso bien definido. Sus cladodios son ovalados y alargados de color verde opaco. Sus espinas son numerosas, amarillas y caducas; con flores amarillas y de tonos rojizos. Su fruto es ovalado de colores amarillo, anaranjado, rojo o púrpura de abundante pulpa. Se cultiva extensamente en poblaciones del altiplano mexicano y en los estados de México, Puebla y Oaxaca. Se consumen sus frutos y sus cladodios tiernos.

Nopalea auberi

Conocido de forma común como nopal “lenguíta” o “lengua de vaca”. Es arborescente de 3 a 8 m de altura con tronco cilíndrico sin espinas. Sus cladodios son angostos, gruesos, de 30 cm de largo, de color azul o verde. Contiene flores de color rosa oscuro y frutos tuberculados. Se localiza principalmente como cultivo en los estados de Oaxaca y Chiapas.

Nopalea nuda

Planta de aproximadamente 80 cm de alto, con cladodios redondos de 12 cm de largo y 5 cm de ancho, color verde intenso. No tiene espinas y su fruto es de color carmín. Su localización geográfica no está bien definida. Esta especie se caracteriza porque tanto los cladodios como el ovario carecen de espinas y porque sus flores son chicas y de color rosado.

Nopalea cochenillifera

Es una planta arborescente de 3 a 4 m de altura; ramas ascendentes con cladodios de 25 cm de longitud color verde claro. Carece de espinas y su fruto es de color rojo. Se cultiva en diversas poblaciones del estado de Oaxaca.

Nopalea karwinskiana

Planta arborescente de 2 a 7 m de alto, tronco bien definido y espinoso. Artículos alargados de 15 a 30 cm de largo y de 5.5 a 8 cm de ancho, de color verde claro. Se encuentra ampliamente distribuida en el litoral del pacífico desde el sur de Sonora hasta Oaxaca.

2.4 Fisiología y anatomía

Las cactáceas presentan hábitos y estructuras anatómicas de adaptación altamente especializados que les imparten una fisonomía particular. Todas las especies de nopal han desarrollado características morfológicas adaptadas a la escasa disponibilidad de agua, a las variaciones extremas de temperatura y a las diversas condiciones de las zonas áridas y semiáridas del país, a pesar de que algunas de estas especies se pueden encontrar en ambientes con mayor provisión de agua.

La succulencia es la principal característica morfológica del nopal y en general de todas las cactáceas. Éste constituye un sello distintivo de su parte conocida como aérea, la cual incluye el tallo, las flores y los frutos. A continuación se describen las partes de la planta (Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, 1981):

Raíz

Las raíces de los nopales tienen ciertas peculiaridades, dentro de las cuales destacan:

- Por su origen, derivan de la radícula, aunque en ocasiones se puede estimular su desarrollo a partir del tallo.
- Por su forma, son raíces típicas o pivotantes con ejes primarios que sirven para fijar a la planta.

- Generalmente son gruesas pero no suculentas, de tamaño ancho y variables; en general, su tamaño es proporcional al tamaño del tallo o de la parte aérea.
- Por su duración, el sistema radicular de los nopales es perenne o permanente.

Otras características de la raíz es la ausencia de pelos absorbentes mientras el suelo se encuentre con baja humedad. En cambio cuando existe agua disponible, se estimula su desarrollo y la velocidad de absorción de agua y nutrientes.

Tallo

El tallo es craso, erecto, ramificado y multiarticulado. Se compone de un tronco cilíndrico y de ramas aplanadas y discoideas también conocidas como pencas, de las cuales se cortan los “nopalitos”; el tallo posee una cutícula gruesa y está adaptado para almacenar agua en sus tejidos. El aspecto de las pencas es comprimido con forma de raqueta y botánicamente reciben el nombre de cladodios, son de color verde y tienen función fotosintética. Los efectos de las intensas y prolongadas sequías, así como las ondas cálidas a que están expuestas las plantas, afectan el tamaño y las formas de sus tallos.

Hoja

En el nopal solamente existen hojas en los renuevos de las pencas cuando están tiernas. Son hojas cilíndricas y caducas, en forma de “cuernitos”; herbáceas, en cuyas axilas se hallan las areolas de las cuales brotan las espinas. Las hojas desaparecen completamente al alcanzar la penca cierto grado de desarrollo, en cuyo lugar quedan las espinas.

Flor

La flor de la planta se produce en las areolas localizadas en la parte superior de las pencas. Cada areola produce por lo general una flor en diferentes épocas de floración. Sus pétalos poseen colores vivos: amarillo, anaranjado, rojo, rosa, salmón, entre otros, dependiendo de la especie de nopal. Por lo general, las flores son grandes con muchos óvulos y lóbulos del estigma; el androceo posee una gran cantidad de estambres. Son hermafroditas anatómicas; algunas son unisexuales por atrofia del androceo o del gineceo. La floración tiene lugar en primavera, durante los meses de marzo, abril y mayo, aunque hay

entidades en que se realiza en otras épocas del año. Una vez efectuada la fecundación, el perinato se marchita y se cae, aunque a veces permanece unido al fruto durante algún tiempo.

Fruto

El fruto del nopal, mejor conocido como tuna, es una baya unilocular polisperma, carnosa, de forma ovoide a esférica; sus dimensiones y coloraciones pueden variar según la especie, encontrándose frutos de 4 a 12 cm de longitud, de color amarillo canario, amarillo limón, anaranjado, rojo, guinda, verde tierno, blanco verdoso, entre otros. Las semillas son lenticulares, con testa clara, embrión curvo, cotiledones grandes y perisperma bien desarrollado.

El cultivo del nopal se puede limitar a tres razones principales (Granados y Castañeda, 1996):

- a) Abundancia de humedad en el medio.
- b) Falta de nutrientes en el suelo.
- c) Temperaturas bajas que quemén las yemas de crecimiento.

El rango de temperatura óptima de crecimiento del vegetal se encuentra entre 18 y 26°C, sin embargo, se puede desarrollar a 36°C como máxima y algunas especies hasta 6°C como mínima (Rojas, 1961, citado por Granados y Castañeda, 1996). El cultivo crece en suelos calcáreos arenosos sueltos, con pH alcalino y alto en sales.

Lo que más se destaca acerca de la fisiología del nopal es su adaptabilidad a zonas áridas y la tolerancia a sequías por medio de un alto potencial hídrico. Para todo esto, la planta tiene las siguientes modificaciones (Granados y Castañeda, 1996):

- a) Cambios morfológicos: reducción de hojas y formas de tallos que limitan la superficie de evaporación.

- b) Cambios que impiden la evaporación de agua en los tejidos como el aumento de espesor de la cutícula y capas serosas.
- c) Modificaciones que contribuyen a la retención de agua: elaboración de mucílagos y otros productos higroscópicos.
- d) Cambios que aumentan o reducen el volumen en relación con la absorción periódica de agua: raíz especializada en época de lluvia.
- e) Adaptación de la anatomía de los órganos, como la diferenciación del parénquima clorofiliano en el tallo por la falta de hojas.

Bravo (1937), citado por Granados y Castañeda (1996), menciona que las cactáceas son vegetales muy evolucionados con órganos de adaptación especializados: tallos globosos cubiertos de surcos que reducen la superficie de transpiración; reducción de hojas hasta su ausencia total; desarrollo de capas serosas y aumento en el grosor de la cutícula; formación de mucílagos, gran número de raíces gruesas y desarrollo de cristales de oxalato de calcio en el citoplasma.

Las plantas del género *Opuntia* mantienen el potencial hídrico mediante el incremento de la cantidad y densidad de las raíces y la conductancia hidráulica; además, reducen la pérdida de agua mediante la reducción de la superficie evaporativa, radiación absorbida y contracción de la conductancia epidermal. Los nopales tienen una cutícula impermeable y estomas unidos, cuyo mayor o menor hundimiento en la epidermis es directamente proporcional a la exposición al aire cargado de vapor de agua. Los estomas funcionan como reguladores de la pérdida del líquido entre la hoja y la atmósfera seca.

La fotosíntesis se lleva a cabo en el parénquima clorofiliano, situado bajo la epidermis y tejido tuberoso. El parénquima se comunica al exterior por medio de los estomas y se vuelve esponjoso hacia el interior de la planta. Este tejido interno almacena grandes cantidades de agua lo cual permite a la planta mantenerse en varios períodos de sequía (Bravo, 1937, citado por Granados y Castañeda, 1996).

La incidencia de luz solar es otro factor importante para el desarrollo de los cladodios de nopal. Lozano (1985), citado por Granados y Castañeda (1996), argumenta que las partes soleadas de la planta producen frutas con mayor número de sólidos solubles.

También la radiación solar contribuye a la acumulación de carbohidratos, los cuales promueven nuevos crecimientos y auxinas, que contribuyen a la división y alargamiento celular de las raíces, cuyo desarrollo se limita por los factores ambientales de humedad, temperatura, concentración de sales y pH.

El crecimiento y desarrollo de las cactáceas también se ve influenciado grandemente por la relación carbono-nitrógeno que contenga la planta. El crecimiento de carbohidratos favorece la fructificación, y los compuestos nitrogenados contribuyen con la actividad vegetativa.

Basándose en este principio, Granados y Castañeda (1996) clasifican a las cactáceas en 4 tipos:

- a) Plantas cuya nutrición de carbono es deficiente, por escasa luminosidad. Florecen muy poco.
- b) Plantas vigorosas de crecimiento rápido. Los carbohidratos elaborados por las hojas forman nuevos tejidos.
- c) Plantas adultas de crecimiento lento. Los carbohidratos se forman en gran cantidad e inducen a una floración abundante.
- d) Plantas pobres en crecimiento vegetativo. Su superficie foliar se ve reducida a causa de poco desarrollo de hojas y se obtiene una deficiente floración.

El nopal *Opuntia spp* inicia su desarrollo con hojas pequeñas que posteriormente se caen, entonces la fotosíntesis se realiza en los cladodios o tallos, los cuales también operan como órganos de reserva de fotosíntesis. Quizá la etapa del desarrollo de mayor importancia es la conocida como período de floración y fructificación, la cual establece la producción de la planta como tal y esta etapa depende mucho de los factores ambientales como temperatura, radiación y humedad del suelo que la planta aprovecha para sintetizar reservas metabólicas.

La fase de floración comienza con la iniciación o aparición de yemas florales y es dependiente del estado nutricional de la planta, la posición de la yema en el cladodio, la orientación con respecto al sol y la competencia por el número de yemas. Después comienza

la subfase de floración, que consiste en la aparición de flores y ocurre por lo general en los meses de abril o mayo.

La fructificación puede variar de 5 a 20 días, según lo describen Granados y Castañeda (1996). Esta fase consiste en la separación de las partes de la flor y dura hasta el momento de la cosecha.

2.5 Composición química

El nopal, al igual que todas las cactáceas, posee un metabolismo muy complejo, el cual requiere de agua, bióxido de carbono, oxígeno y minerales. De este proceso se sintetizan una gran cantidad de sustancias, las cuales se describen a continuación:

Humedad

El agua es el principal componente de las cactáceas. El contenido es variable según el género y depende de la humedad del suelo, disponibilidad de agua y edad del tallo. Fernández-Landero (1949), citado por Bravo-Hollis (1978), reportó para 6 especies de nopales del Valle de México, una humedad que variaba entre 79 y 94% en ejemplares frescos recolectados en época de lluvias.

Cenizas

El contenido de cenizas es variable entre las cactáceas, depende de la composición química del suelo y de los fenómenos mediante los cuales la planta dispone de sus nutrientes que a su vez se relacionan con la acidez, salinidad, conductividad, grado de ionización, humedad y textura del suelo (Bravo-Hollis, 1978; Granados y Castañeda, 1996).

Los principales minerales encontrados en las cenizas son calcio y potasio y en menor cantidad magnesio, sílice, sodio, hierro, aluminio y manganeso. Estos minerales se encuentran en forma de carbonatos, cloruros, sulfatos o fosfatos (Granados y Castañeda, 1996).

Según Bravo-Hollis (1978), la importancia del estudio de cenizas en el nopal radica en que la planta es utilizada como alimento para ganado. Fernández-Landero (1949), citado por Bravo-Hollis (1978), encontró en un estudio de seis especies de nopal del Valle de

México un contenido de cenizas entre 1.03 y 4.05% en base húmeda, y entre 13.67 y 21.05% en base seca.

Carbohidratos

Master (1858), citado por Bravo-Hollis (1978), encontró en *Nopalea cochenillifera* contenidos de fructosa, glucosa, sacarosa, maltosa y rafinosa. En el cuadro I se muestran los porcentajes de azúcares fermentables para dos especies de nopal del género *Opuntia*.

CUADRO I
Principales carbohidratos fermentables en dos especies de *Opuntia*

Producto fermentable	Contenido (%)	Especie
Azúcares totales	8.98	<i>O. tomentosa</i>
Polisacáridos totales	8.49	<i>O. tomentosa</i>
Disacáridos totales	1.60	<i>O. robusta</i>
Monosacáridos totales	0.32	<i>O. robusta</i>
Hexosas totales	3.78	<i>O. tomentosa</i>
Hexosas polisacáridos	1.97	<i>O. tomentosa</i>
Hexosas monosacáridos	0.26	<i>O. robusta</i>
Pentosas totales	5.20	<i>O. tomentosa</i>
Pentosas monosacáridos	0.10	<i>O. tomentosa</i>
Pentosanos	5.12	<i>O. tomentosa</i>
Carbonatos urónicos	1.70	<i>O. tomentosa</i>

Fuente: Adaptado de Fernández Landero (1949), citado por Bravo-Hollis (1978).

El alto contenido de azúcares en los frutos de las cactáceas hacen que sean muy gustados y objeto de activo comercio. La industrialización de azúcares proveniente de los tallos también es factible, como se verá más adelante.

Néctares

Los néctares son sustancias exudadas por órganos especializados de la planta. Comprenden una mezcla de sacáridos que juegan un papel importante en la polinización, ya que atraen, a través de las flores, a insectos y aves. Algunas veces el néctar exudado se cristaliza y cubre todo el fruto de una capa de azúcares.

Todas las flores de la familia de las cactáceas contienen glándulas nectaríferas que producen pequeñas cantidades de néctar; en algunas de ellas los nectarios se han

desarrollado tanto que llegan a constituir una verdadera zona especializada, ya sea en forma tubular o de una cámara abierta o cerrada (Bravo-Hollis, 1978).

Fibra insoluble

La fibra insoluble en el nopal es una mezcla de celulosa, lignina y hemicelulosa remanente, el contenido de estas sustancias varía de acuerdo a la especie. La celulosa constituye el componente principal de la pared celular de las plantas superiores y es una fuente de glucosa inagotable que se recupera con la fotosíntesis; la lignina es una cadena de compuestos fenólicos y la hemicelulosa es un grupo de polisacáridos que también se encuentran en la pared celular (Badui, 1994). Bravo-Hollis (1978) describe una estimación del contenido de celulosa y lignina como fibra cruda. Algunos estudios de fibra cruda se exhiben en el cuadro II.

CUADRO II
Estudios del contenido de fibra cruda en algunas especies de *Opuntia*

Especie	Contenido (%)
<i>O. ficus-indica</i> (Martínez, 1959)	14.37
<i>O. ficus-indica</i> (Fernández Landero, 1949)	37.34
<i>O. hyptiacantha</i> (<i>ibid</i>)	13.13
<i>O. tomentosa</i> (<i>ibid</i>)	11.75
<i>O. megacantha</i> (<i>ibid</i>)	19.10
<i>O. robusta</i> (<i>ibid</i>)	21.21

Fuente: Adaptado de Bravo-Hollis (1978).

Fibra soluble

La fibra soluble en el nopal está constituida por gomas, mucílagos, sustancias pécticas y algo de hemicelulosa (http://www.nopal.com./benefits_link.html#Colon).

Cuando las cactáceas sufren algún daño físico, inmediatamente comienzan a exudar gomas. A la goma exudada por algunas especies de *Opuntia* se le conoce comúnmente como “goma de nopal”. *Opuntia fulgida* posee una goma de las más conocidas denominada “goma de cholla”. Esta última ha sido estudiada por autores como Sands y Klas (1929), Díaz (1931) y Brown et al. (1949), citados por Bravo-Hollis (1978). En el cuadro III se muestran los resultados de estos estudios.

CUADRO III
Composición de la "goma de cholla"

Sustancia	Contenido
Ácido D-galacturónico	1 parte
L-Arabinosa	6 partes
D-Xilosa	2 partes
D-Galactosa	3 partes
L-Ramnosa	Trazas

Fuente: Adaptado de Bravo-Hollis (1978).

Los mucílagos son sustancias análogas a las gomas, forman dispersiones en contacto con el agua y la embeben con facilidad. Su función principal es la retención de agua en las cactáceas y éstas los contienen en las células vesiculares de los parénquimas. Los mucílagos tienen usos caseros y se pueden aprovechar industrialmente. Fernández-Landero (1949), citado por Bravo-Hollis (1978), reportó en uno de sus estudios un contenido de mucílagos de 1.09 a 4.53%; en *O. ficus-indica* se componían de glucosa y arabinosa, mientras que en *O. tomentosa*, se conformaban de glucosa, arabinosa y galactosa. En el cuadro IV se muestra un análisis de los mucílagos de las dos especies descritas arriba, aunque el contenido no es el mismo para las dos especies, caen dentro del mismo rango.

CUADRO IV
Análisis de mucílagos en *O. ficus-indica* y *O. tomentosa*

Compuesto	Contenido (%)
Cenizas	8.8 - 13.21
Azúcares totales	62.92 - 64.53
Pentosanos	28.90 - 39.31

Fuente: Adaptado de Bravo-Hollis (1978).

El mucílago extraído de pencas de *Opuntia ficus-indica* (McGarvie y Parolis, 1979, citado por McGarvie y Parolis, 1981) contiene β -D-xilopyranosil, β -L-rhamnopyranosil, β -D-galactopyranosil, ácido α -D-galactopyranosilurónico y residuos de α -L-arabinosil principalmente en forma furanoide. La hidrólisis del mucílago desprende residuos de xilosa y arabinosa junto con algunos residuos de galactosa.

Debido a su alto valor comercial en la industria de la confitería, la pectina se extrae de frutos de las cactáceas como pitahayas y tunas. Toral (1955), citado por Bravo-Hollis (1978), realizó un estudio con cinco especies de nopal del Valle de México y encontró un

contenido de pectina de 0.9%. Otros estudios realizados por Villarreal et al. (1973), citados por Granados y Castañeda (1996), muestran que *O. robusta* contiene un alto contenido de pectina total, protopectina y pectina soluble en agua comparado con otras especies (ver cuadro V), por lo que ésta es la que representa mayores ventajas si se desea extraer pectina.

CUADRO V
Contenido de pectinas en algunas especies de *Opuntia*

Especie	%Pectina Total		%Protopectina		%Pectina Soluble	
	Base Húm.	Base seca	Base Húm.	Base seca	Base Húm.	Base seca
<i>O. ficus-indica</i>	1.91	13.84	0.097	3.56	1.418	10.28
<i>Opuntia sp I</i>	0.95	7.6	0.448	3.58	0.482	4.02
<i>O. ficus-indica V</i>	1.1	8.39	0.622	4.74	0.478	3.65
<i>O. amyclaea</i>	1.4	9.58	0.658	4.69	0.715	4.89
<i>O. sp II</i>	0.84	7.05	0.721	6.05	0.129	1.00
<i>O. megacantha</i>	0.805	5.06	0.586	3.43	0.279	1.63
<i>O. streptacantha</i>	0.97	6.59	0.605	4.38	0.365	2.21
<i>O. robusta</i>	3.3	26.61	0.653	5.26	2.64	23.87

Fuente: Adaptado de Villarreal et al. (1973), citado por Granados y Castañeda (1996).

Ácidos orgánicos

Los ácidos orgánicos se forman durante los procesos metabólicos de las cactáceas, el más abundante es el ácido oxálico, al cual se le encuentra en forma de sal de calcio. El oxalato de calcio, una vez formado, ya no se disuelve, por lo que se va acumulando en los tallos de las cactáceas hasta llegar a constituir el 85% de las cenizas de ejemplares viejos. Según Schimper (1888), citado por Bravo-Hollis (1978), el calcio tiene como función principal el precipitar el ácido oxálico de tal manera que constituya un factor de protección a la planta contra el daño físico.

Otro ácido orgánico encontrado en las cactáceas en forma libre es el ácido cítrico. En *Opuntia diademata* se encontró en un 3.0%, mientras que en *O. tomentosa*, en un 1.2% (Bergstron, 1934, citado por Bravo-Hollis, 1978).

Lípidos

Los ácidos grasos no son muy abundantes en las cactáceas a excepción de sus semillas. Según Piña (1970), citado por Bravo-Hollis (1978), *Opuntia streptacantha* posee semillas con 11.5% de grasas. Martínez (1959), citado por Bravo-Hollis (1978), analizó

pencas de nopal y mostró un contenido de grasas de 2.158%. Aguilar (1997) encontró en promedio un 16% de aceite en las semillas de *Opuntia tomentosa* y *Opuntia joconostle*; el menor porcentaje de aceite se encontró en *Opuntia ficus-indica* con un promedio de 11.9%. Por lo que respecta a la composición de ácidos grasos en las semillas, según este mismo autor, las especies de *Opuntia joconostle*, *tomentosa*, *ficus-indica*, *amyclaea* y *robusta* presentaron ácido linoléico en porcentajes mayores al 70%, ácido oléico arriba del 11%, ácido palmítico superior al 9%, ácido esteárico mayor de 1.8% y en ácidos mirístico y palmitoléico el porcentaje fue menor al 1%.

Smith y Menton (1914), citado por Bravo-Hollis (1978), obtuvieron de un nopal un aceite semisecante constituido por glicéridos de ácido oléico, linoléico y palmítico. Meyer y MacLaughlin (1981), encontraron en *Opuntia ficus-indica*, ácidos libres y esterificados, entre los que se encuentran el palmítico, el láurico, el oleico y el mirístico.

Ceras

Las ceras se encuentran en las cactáceas en las cápsulas de secreción y dispersas en el protoplasma. Se encuentran dispuestas en forma de capas protectoras de tallos y frutos. Estas capas juegan un papel muy importante en el mecanismo de conservación de la humedad y son más abundantes en las partes jóvenes de los tallos (Bravo-Hollis, 1978).

Saponinas

Las saponinas son o-glucósidos que con el agua producen una sustancia jabonosa. La parte de hidrato de carbono está constituida por hexosas, pentosas y ácidos urónicos, mientras que la aglucona o sapogenina puede ser de naturaleza esteroideal con 27 átomos de carbono, o de origen terpenoide de 30 carbonos (Badui, 1994). En las cactáceas se incluyen saponinas llamadas triterpenos y esteroides, cuya importancia industrial radica en la producción de hormonas esteroides.

Djerassi (1957), citado por Bravo-Hollis (1978), identificó en sus estudios 18 triterpenos en distintos géneros de cactáceas; sin embargo, ninguno se reportó para los géneros *Opuntia* y *Nopalea*.

Látex

Se denomina látex a un conjunto de líquidos existentes en las plantas que posee apariencia lechosa, la cual se debe a partículas finas suspendidas en un medio líquido. Esta sustancia la contienen las cactáceas en las células y canales lactíferos. Long (1920), citado por Bravo-Hollis (1978), experimentó con látex de dos variedades de *Opuntia* y según este autor, si se le da un previo tratamiento y refinación se puede producir hule de buena calidad.

Compuestos fenólicos

En las cactáceas se encuentran compuestos fenólicos de dos anillos aromáticos y polímeros fenólicos. Entre los primeros destacan los flavonoides, isoflavonoides, benzalcumarinas y rotenoides. Nair (1961), citado por Bravo-Hollis (1978), informó que en *Opuntia dillenii* se encontraron 3 flavonoglicósidos; por otro lado, Paris (1951), citado por Bravo-Hollis (1978), encontró un compuesto fenólico flavonalósido en *Opuntia vulgaris*.

Dentro de los polímeros fenólicos encontrados en las cactáceas se encuentran los taninos, los cuales son sustratos de reacciones de oscurecimiento enzimático y son responsables de la astringencia de frutos inmaduros (Badui, 1994). Domínguez (1969), citado por Bravo-Hollis (1978), en uno de sus estudios encontró positiva la prueba de taninos en varios géneros de cactáceas, donde destaca *Opuntia imbricata*.

Pigmentos

La clorofila es el principal pigmento de las cactáceas, se localiza en el parénquima clorofiliano abajo de la epidermis de hojas y tallos. La clorofila está contenida en los cloroplastos celulares y es la responsable de absorber la energía luminosa y transformarla en energía química para la vida de la planta.

Otros pigmentos encontrados en el nopal son los carotenoides, los cuales abarcan dos grupos: carotenos y xantofilas. La carotina o β -caroteno es el principal constituyente carotenoide en las hojas y tallos de las cactáceas. La importancia del β -caroteno radica en que es precursor de la vitamina A (Bravo-Hollis, 1978).

Por su lado, las xantofilas son pigmentos derivados de los carotenos, dentro de las cuales una de las más importantes es la luteína (Bravo-Hollis, 1978).

Las flores de las cactáceas pueden presentar variaciones en la coloración de sus pétalos dependiendo del lugar donde crezca una misma especie; existen ciertos pigmentos de coloración rojiza en suelos alcalinos y azulada en medios ácidos. Bravo-Hollis (1978) comenta que también el cambio de coloración de las flores se puede deber al potencial de oxido-reducción del suelo.

La temperatura del medio, es otro factor que puede determinar la coloración de las cactáceas como las del género *Opuntia*. Conforme se acentúa el período de sequía, que generalmente coincide en invierno, se retarda la aparición de la clorofila y aumentan las proporciones de carotenos y xantofilas que colorean los tallos de rojo y púrpura, debido a las bajas temperaturas (Bravo-Hollis, 1978).

Otros pigmentos contenidos en el género *Opuntia* (Reznick, 1955 y 1957, citado por Bravo-Hollis, 1978) son las betaxantinas, betaninas, betacianos y flavonol. También se ha encontrado en *Opuntia ficus-indica* cierta cantidad de antocianinas (Granados y Castañeda, 1996).

Compuestos nitrogenados

Dentro de los principales compuestos nitrogenados encontrados en las cactáceas están los aminoácidos, proteínas, bases nitrogenadas, ácidos nucleicos y alcaloides (Bravo-Hollis, 1987). Las proteínas constituyen el material viviente de la célula y son la principal fuente alimenticia para el hombre y animales. Se han realizado muchos estudios en nopales, encaminados a evaluar su valor nutritivo como alimento para ganado. Algunos datos sobre el contenido proteico de especies de nopal se muestran en el cuadro VI.

CUADRO VI
Contenido de proteína en algunas especies de *Opuntia*

Especie	Contenido (%)
<i>Opuntia ficus-indica</i> (Martínez, 1959)	5.254 base semiseca
<i>O. ficus-indica</i> (Fernández Landero, 1949)	15.48 base seca
<i>Opuntia hyptiacantha</i> (ibid.)	11.44 base seca
<i>Opuntia tomentosa</i> (ibid.)	15.21 base seca
<i>Opuntia megacantha</i> (ibid.)	19.70 base seca
<i>Opuntia robusta</i> (ibid.)	23.00 base seca

Fuente: Adaptado de Bravo-Hollis (1978).

Aparentemente los tallos jóvenes de nopal tienen un mayor porcentaje de proteína, ya que Fernández Landero (1949), citado por Bravo-Hollis (1978), realizó un estudio con *Opuntia tomentosa* y obtuvo resultados que mostraban una diferencia mayor de 3% en los tallos jóvenes.

Los aminoácidos son los monómeros de las proteínas y se caracterizan por tener un grupo amino y un ácido carboxílico en su estructura, algunos de ellos son esenciales, esto es, que el ser humano no puede sintetizarlos y los tiene que ingerir en su dieta diaria (Badui, 1994). En el nopal se encuentran 17 aminoácidos, de los cuales, 8 son esenciales (http://www.webshed.com/ns/nopal_ic1.htm). Suárez et al. (1954), citado por Granados y Castañeda (1996), realizaron un análisis de proteína y aminoácidos de algunos alimentos vegetales, dentro los que se encuentra el nopal, los resultados se encuentran en el cuadro VII.

CUADRO VII
Análisis de proteínas y aminoácidos en nopales

Compuesto	Contenido(%)
Humedad	91.25
Proteínas	1.07
Arginina	0.031
Histidina	0.016
Lisina	0.043
Metionina	0.008
Treonina	0.052

Fuente: Adaptado de Suárez et al. (1954), citado por Granados y Castañeda (1996).

Un grupo de sustancias de interés por sus propiedades farmacológicas son los alcaloides. Actualmente se sabe que muchas cactáceas contienen alcaloides pues se han hecho pruebas de campo con reactivos especiales en diversas especies y alrededor del 40% (Agurell, 1969; Bruhn, 1971, citados por Bravo-Hollis, 1978) han resultado positivas. Se ha encontrado mezcalina en *Opuntia spinosior* de Arizona y en *Opuntia cylindrica* (Turner y Heyman, 1960, citado por Bravo.Hollis, 1978).

Vitaminas

Las vitaminas son compuestos esenciales para que se lleven a cabo las reacciones metabólicas de los organismos vivos. Fernández Landero (1949), citada por Bravo-Hollis, (1978), encontró en *Opuntia hyptiacantha* las vitaminas mostradas en el cuadro VIII.

CUADRO VIII
Algunas vitaminas encontradas en *Opuntia hyptiacantha*

Vitamina	Contenido (mg/100g muestra fresca)
Ácido ascórbico	4
Caroteno	5
Tiamina	0.04
Riboflavina	0.04
Niacina	0.30

Fuente: Adaptado de Fernández Landero (1949), citada por Bravo-Hollis (1978).

La misma autora, citada por Bravo-Hollis (1978), también hizo un análisis de vitamina C en seis especies del género *Opuntia*, cuyos resultados se muestran en el cuadro IX.

CUADRO IX
Contenido de vitamina C en especies de *Opuntia*

Especie	Ácido Ascórbico (mg/100g muestra fresca)	Ác. Dehidroascórbico (mg/100g muestra fresca)
<i>Opuntia ficus-indica</i>	4.60	—
<i>Opuntia hyptiacantha</i>	3.97	0.92
<i>Opuntia tomentosa</i>	3.93	0.47
<i>Opuntia megacantha</i>	3.81	0.37
<i>Opuntia robusta</i>	4.34	—
<i>Opuntia tomentosa</i> (joven)	4.29	0.52

Fuente: Adaptado de Fernández Landero (1949), citada por Bravo.Hollis (1978).

2.6 Usos y subproductos

Desde la época prehispánica, las cactáceas han tenido un uso muy difundido, tanto, que influyeron en el asentamiento de muchas culturas. Las cactáceas fueron para los indígenas fuente de alimento, bebida, medicina, materia prima para la construcción de viviendas; también fueron utilizadas para la fabricación de herramientas de caza y pesca (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

En este apartado se describen los usos principales del nopal.

2.6.1 Forraje

El nopal es ampliamente utilizado como fuente de alimento para ganado a nivel mundial. El ganado de campo en ocasiones puede sobrevivir durante grandes sequías alimentándose de cladodios de nopal, esto se debe más que su valor nutrimental, por su gran contenido acuífero en los parénquimas (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). La importancia de este cultivo como forraje radica en que es abundante en zonas áridas donde otro tipo de plantas forrajeras no pueden existir.

Los ranchos ganaderos que cuentan con nopal, no han sufrido las enormes pérdidas de ganado en épocas de sequía gracias a la alimentación que se les da a base de la cactácea. Según Flores y Aranda (1996), citado por los mismos autores (1997), los sistemas de producción animal que utilizan nopal en el país pueden diferenciarse en dos tipos: ganado en pastoreo y ganado en estabulación.

En el primer sistema, el nopal se obtiene de agostaderos, donde las especies animales encontradas son: bovinos, caprinos y ovinos. Los dos últimos tienen una capacidad para “ramonear” la planta, lo cual provoca el uso eficiente del forraje produciéndose carne, leche y lana. En el sistema de ganado estabulado se utiliza más la especie bovina de raza Holstein para producir leche en pequeños establos del norte y centro del país.

En México, existen diferentes formas de utilización del nopal como forraje: Flores y Aranda (1996), citado por los mismos autores (1997) describen las siguientes:

- a) Por consumo directo: no se le da ningún tratamiento a la planta, esto se da en el sistema de ganado en pastoreo, a veces se cortan los bordes para facilitar su consumo por reducción de espinas.
- b) Chamuscado en pie: se produce fuego para quemar las espinas del nopal, sin embargo, este método tiene la desventaja de dañar severamente a la planta.
- c) Por corte: se cosecha toda la parte de la planta y se lleva a los establos de tal forma que luego es chamuscada o picada para facilitar su ingesta.

Lozano (1958), citado por Granados y Castañeda (1996) mencionan otros dos métodos de utilización de la cactácea como forraje:

- a) Cocción en calderas: sistema que no se utiliza en México por su alto costo.
- b) Fermentación: algunos ganaderos dejan fermentar el nopal picado, con lo que se ablandan las espinas.

En el cuadro X se exponen las especies del género *Opuntia* más utilizadas en México como forraje.

CUADRO X
Principales especies de *Opuntia* utilizadas como forraje en los agostaderos de México

Nombre científico	Nombre común
<i>O. streptacantha</i>	Cardón
<i>O. leucotricha</i>	Duraznillo
<i>O. robusta</i>	Tapón
<i>O. cantabrigiensis</i>	Cuijo
<i>O. rastera</i>	Rastrero
<i>O. microdasys</i>	Cegador
<i>O. lindheimeri</i>	Cacanapo
<i>O. engelmannis</i>	Rastrero
<i>O. azurea</i>	Coyotillo
<i>O. stenopetala</i>	Serrano
<i>O. imbricata</i>	Cardenche
<i>O. fulgida</i>	Choya
<i>O. choya</i>	Choya
<i>O. macrocentra</i>	Chivero
<i>O. chrysacantha</i>	Espina amarilla
<i>O. lucens</i>	Penca redonda
<i>O. duranguensis</i>	Durango
<i>O. tenuispina</i>	Azul

Fuente: Flores y Aranda (1997).

Flores y Aguirre (1992), citado por Flores y Aranda (1997), mencionan que se calcula que se utilizan alrededor de 200 toneladas de nopal al día en la ciudad de Saltillo, Coahuila y 600 toneladas en Monterrey, N.L.

El nopal se puede utilizar no solamente en época de sequía, sino también como parte integral de la alimentación de los rebaños con lo que se obtiene provecho y se producen efectos benéficos en los animales que han estado sujetos a una base de nopal seco (Ríos, 1954; Rojas et al., 1966; citados por Granados y Castañeda, 1996). En caso de establecer

para el ganado una dieta a base de nopal, hay que tomar en cuenta la digestibilidad del forraje. Digestibilidad es un concepto que indica la cantidad o el porcentaje que aprovecha el organismo que lo consume; el cálculo se haría analizando los nutrientes del alimento inicial y restándole la cantidad de nutrientes en las heces fecales (De Alba, 1971, citado por Granados y Castañeda, 1996). En el cuadro XI se muestran diferentes porcentajes de digestibilidad de cinco raciones alimentarias.

CUADRO XI
Porcentaje de digestibilidad de cinco raciones alimentarias como forraje

Alimento	Materia seca	Cenizas	Proteína cruda	Grasa cruda	Fibra	Extracto libre N2	Materia orgánica
Nopal solo	64.91	35.69	45.56	68.46	44.76	80.77	72.76
Alfalfa sola	55.88	39.29	65.56	37.94	40.35	69.84	57.75
Harinolina	73.70	23.70	88.40	93.30	55.50	60.60	76.10
Nopal-alfalfa	68.41	80.59	60.65	52.28	37.37	78.65	64.38
Nopal.harinolina	74.86	57.32	73.70	103.70	35.55	68.77	76.19

Fuente: Hare (1908), citado por Granados y Castañeda (1996).

Como se puede observar en el cuadro XI, el valor alimenticio del nopal puede ser incrementado mezclándolo con otros forrajes como alfalfa y harinolina, Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991), mencionan que con los mismos fines, el nopal se puede mezclar con rastrojo de maíz, paja de frijol y con tunas y semillas. Revuelta (1963), citado por Granados y Castañeda (1996), encontró que la digestibilidad de los nutrientes de nopal varía según la edad de la penca, ya que la digestibilidad de la proteína y del extracto libre de nitrógeno disminuyen con el paso del tiempo, mientras que la digestibilidad de la grasa y la fibra aumentan.

2.6.2 Fruto

Los frutos de la mayoría de las cactáceas son comestibles. Muchos estados de la República Mexicana, principalmente los ubicados en zonas áridas, dependen en gran parte del nopal tunero para subsistencia, pues gran cantidad de familias se dedican a cultivarlo y a producir tunas (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). CONAFRUT (1975), citado por Granados y Castañeda (1996), reporta que la producción de tunas alcanzó en México 2,697,850 toneladas distribuidas sobre un área de 57,800 hectáreas. Los principales

consumidores de tunas según CONAFRUT (1977), citado por Granados y Castañeda (1996), son los estados de Coahuila, Nuevo León, Chihuahua, Sinaloa, Tamaulipas, Jalisco, Zacatecas y el Distrito Federal.

El fruto de nopal varía en forma y fisiología de acuerdo con la especie; cuando tiene un sabor dulce se conoce como “tuna” y cuando el sabor es ácido, se le conoce como “xoconostle” (Granados y Castañeda, 1996). Las tunas que mayor demanda tienen en el mercado como fruta fresca o tuna fina son las producidas en general por las especies agrupadas en las series *Ficus-indicae*, *Streptacanthae* y *Robustae*. En el cuadro XII, se da una descripción de estos frutos; el cuadro XIII muestra una descripción de los frutos de nopal, correspondientes a especies silvestres de los cuales se tienen mayor demanda de sus productos derivados.

Desde hace algunos años se exporta tuna a Canadá, Estados Unidos y Japón, de la región tunera zacatecana. Esta tuna de exportación proviene de cultivos tecnificados y se somete a un proceso sencillo de industrialización, en el cual la tuna se selecciona por tamaños, se eliminan las espinas con cepillos y se recubre con una cera que mejora notablemente su presentación (Bravo y Piña, 1979, citados por Granados y Castañeda, 1996). Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991), comentan que las espinas o “ahuates” también pueden ser removidos con ramas y arena por los campesinos.

CUADRO XII
Descripción de frutos de nopales de *Opuntia* de tuna fina

Especie	Color del fruto	Nombres comunes	Zona de cultivo
<i>O.ficus-indica</i>	Verde claro, amarillo y rosado	Tuna fina, blanca, mansa y castilla	Altiplano
<i>O.megacantha</i>	Similar a <i>O.ficus-indica</i>	Similar a <i>O.ficus-indica</i>	Sureste Zacatecas, Valle del Mezquital y Edo. de México
<i>O.amyclaea</i>	Verde claro	Tuna Alfajayuca blanca y mansa	Alfajayucan, Hgo.
<i>O.lasiacantha</i>	Verde claro y amarillo	Tuna blanca y xoconostle	Altiplano
<i>O.spinulifera</i>	Verde claro y amarillo	Tuna blanca	Noroeste del Edo. de México
<i>O.robusta</i>	Rojo, rosado y blanco	Tuna taponá y bartolona	Distrito Federal, Sur de Hidalgo, San Luis Potosí y Zacatecas

Fuente: Adaptado de Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991).

CUADRO XIII
Descripción de frutos de nopales de *Opuntia silvestres*

Especie	Color del fruto	Nombres comunes	Zona de cultivo
<i>O.streptacantha</i>	Rosado purpúreo, y rojizo interno	Tuna cardona	San Luis Potosí, Zacatecas, Puebla, Oaxaca, Durango, Aguascalientes, Guanajuato, Querétaro y Distrito Federal.
<i>O.leucotricha</i>	Rosado-amarillo	Duraznillo	Altiplano
<i>O.hyptiacantha</i>	Purpúreo	Tuna chavena, memela y cascarona	Puebla, Oaxaca, San Luis Potosí, Zacatecas y Estado de México

Fuente: Adaptado de Bravo-Hollis y Sánchez Mejorada (1991).

En general, la pulpa, integrada por los funículos de las semillas que al madurar el fruto se llenan de sustancias azucaradas, constituye un alimento fresco y dulce muy gustado en México. Su importancia alimenticia radica en su alto contenido de azúcares y de cantidades considerables de vitaminas B, C y E. La tuna cardona y la procedente del nopal duraznillo tienen una gran aplicación en la producción de jugos y jaleas derivadas de la pulpa y la cáscara. El jugo de tuna, a partir del desarrollo de la tecnología para aprovechamiento del fruto del nopal, es posible envasarlo en latas para su comercialización. El jugo de *Opuntia cardona* tiene un sabor fresco y agradable y es muy rico en azúcares como fructosa (5.68g/100 ml), glucosa (6.03 gr/100 ml), maltosa (0.11 gr/100 ml) y sacarosa (0.14 gr/100 ml) (Laboratorios Nacionales de Fomento Industrial, citado por Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Existen otros productos derivados del fruto del nopal, los cuales se preparan de una forma más artesanal, por ejemplo la miel de tuna, la cual consiste en poner la pulpa en ebullición sin semillas y envasarla en recipientes herméticos; otro producto es la melcocha que constituye una pasta hervida de tunas machacadas y se vende en hojas de maíz en mercados regionales. El queso de tuna sigue el mismo proceso de preparación de la melcocha sólo que se bate muy bien y se enfría súbitamente para obtener una consistencia de ate. Por último, cabe mencionar una bebida llamada "colonche", la cual es de procedencia autóctona y se obtiene por la fermentación del jugo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Granados y Castañeda, 1996).

2.6.3 Obtención de colorantes

Las cactáceas, directa o indirectamente, constituyen una fuente muy importante de colorantes con aplicaciones en diferentes industrias como las de alimentos, farmacéuticas y cosmetológicas. De diversos frutos, sobre todo de tunas y pitayas, se extraen pigmentos betaciánicos usados como colorantes de alimentos, bebidas refrescantes y productos de tocador (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Indirectamente, de las cactáceas se obtiene un colorante comercial llamado “grana” o “cochinilla de nopal”, que consiste de los cuerpos secos de las hembras adultas de varias especies de insectos chupadores, homópteros, pertenecientes al género *Dactylopiidae* y que viven como parásitos de diversas especies de nopales (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991; Granados y Castañeda, 1996).

El cultivo de la grana fina se realiza en las nopaleras especialmente plantadas con este fin. Las especies preferidas en el cultivo son *Opuntia ficus-indica* y *Opuntia tomentosa* var. *hernandezii*. Según Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991), en épocas pasadas también se empleó para el cultivo del insecto otra especie de nopal llamada *Nopalea cochenillifera*.

Las nopaleras para el cultivo de la cochinilla se forman plantando la especie seleccionada en surcos distantes entre sí 1.2 m y a 36 cm de distancia entre cada planta. Para propagar la grana, se colocan alrededor de 150 hembras próximas a oviponer, en una especie de tenates que a su vez se colocan en las pencas, para que al nacer las crías, éstas se distribuyan en toda la planta. Al término de 90 días alcanzan su madurez y se aparean para volver a comenzar un nuevo ciclo biológico, es entonces cuando se realiza la recolección del insecto destinado parte a la nueva infestación y parte a la comercialización. El producto de las hembras que ya han ovipuesto es conocido como “grana negra”, y el de las que no lo han hecho es conocido como “grana blanca”. Se requieren aproximadamente 130 000 insectos para formar un kilogramo de grana negra y unos 80 000 para formar un kilogramo de grana blanca. Esta última tienen un mayor contenido de ácido carmínico (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). Piña (1979), citado por Granados y Castañeda (1996), menciona que los cuerpos secos de las hembras adultas se constituyen de un 10% de ácido carmínico, 40% de materia orgánica, 10% de grasa, 2% de cera y 2% de cenizas.

Según Cremades y Romero (1997), México fue un gran productor de cochinilla durante la época de la colonia, llegando a considerarse el tercer producto en importancia. El uso de la grana comenzó a bajar debido a la síntesis de anilinas; sin embargo el incremento en el consumo de alimentos procesados, obligó a buscar colorantes inocuos, resultando la cochinilla la mejor opción para colorante rojo, el cual no tiene limitaciones de uso. Se estima que para el año 2000 habrá una demanda de 3000 toneladas de cochinilla para lo cual se requerirá incrementar la producción actual en un 500%. En la actualidad (Cremades y Romero, 1997) los principales productores son Perú, España, Chile y Bolivia.

En el comercio existen 4 presentaciones de grana (Piña, 1979, citado por Granados y Castañeda 1996; Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991), los cuales se describen a continuación:

- a) Grana seca y limpia: empleada por los artesanos para colorear materiales textiles.
- b) Extracto de cochinilla: solución acuosa empleada por la industria alimentaria o de cosméticos.
- c) Carmín: laca de aluminio o calcio y aluminio para la elaboración de pigmentos artísticos.
- d) Ácido carmínico: obtenido mediante purificación y se utiliza como indicador de pH y reactivo en reacciones histológicas y bacteriológicas.

2.6.4 Fuente de mucílagos, gomas y pectinas

Por su alto contenido de mucílagos, las cactáceas, desde épocas prehispánicas, se han venido utilizando para la preparación de pegamentos y adhesivos. Para aumentar el poder adhesivo de amargamasas hechas a base de cal, arena y lodo usadas en la construcción de edificios, ciertas tribus indígenas solían agregar el jugo extraído de los tallos de ciertas cactáceas, o bien, el agua donde se habían dejado macerar éstas, práctica aún de uso frecuente en el medio rural, en donde se usa el jugo extraído de ciertos nopales conocido como “baba de nopal”; además, las pencas mismas pueden ayudar al arrastre de grandes bloques de piedra para reducir la fricción entre ellos. Las gomas exudadas en las cicatrices de las galerías excavadas por insectos en los tallos de algunos nopales, se utilizan también en

la producción de adhesivos, pero además tienen usos alimenticios y medicinales (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Con el objeto de aumentar la viscosidad del pulque, por medio de los mucílagos de nopal, al aguamiel en fermentación se le suelen adicionar tallos de “abrojos”, es decir, de *Opuntia imbricata*, *O. tunicata* y *O. rosea*, con lo cual también se aumenta el contenido alcohólico de la bebida por la adición de azúcares (Piña Luján, com. Pers., citado por Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Las propiedades absorbentes de la pulpa de las pencas de nopal, debidas a su alto contenido de polisacáridos, hacen posible su utilización tanto en la purificación de agua (Alderete, 1975, citado por Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991) como para prevenir la incrustación de residuos en tuberías, bombas y calderas (Gambill, 1957, citado por Bravo-Hollis, 1991).

Cárdenas y Goycoolea (1997), realizaron un estudio de las propiedades reológicas de *Opuntia ficus-indica* y encontraron, en pruebas de deformación continua, la posible formación de estructuras agregadas rígidas, lo que en cierto momento podrían darle al mucílago un uso potencial como aditivo en la industria de alimentos como gelificante o espesante.

2.6.5 Verdura

Entre los tallos más utilizados como alimento humano destacan los de las especies del género *Opuntia*, en particular los cladodios (tallos aplanados, comúnmente llamados “pencas”). Estos cladodios en estado juvenil son más conocidos con el nombre de “nopalitos”, éstos se obtienen de diversas especies de nopales que crecen en el altiplano, tanto en sistema de cultivo, como silvestres. Las nopaleras se encuentran distribuidas en los estados de México, Hidalgo, Querétaro, Guanajuato, San Luis Potosí, Zacatecas, Durango, Nuevo León, Tamaulipas y en el Distrito Federal (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Nobel (1998), menciona que las especies de nopal más utilizadas para la producción de “nopalitos” destacan *Opuntia ficus-indica*, *O. robusta*, *O. strepatantha* y *O. rastrera*. También se aprovechan algunas especies de *Nopalea*, como son *N. auberi*, *N. cochenillifera* y *N. karwinskiana*.

Los “nopalitos” suelen prepararse bajo previo cocimiento, para usarse en modo de verdura en guisos y ensaladas, o bien como encurtidos. En México existen grandes áreas de cultivo para satisfacer la gran demanda del mercado nacional; Flores (1992), citado por Rebolledo (1993), considera que “la superficie de nopal para verdura bajo cultivo en todo el país es de alrededor de 10,000 ha”. Enlatados, los nopalitos son objeto de exportación. El uso de nopales como verdura se ha difundido grandemente en el extranjero, principalmente en países como Japón y los Estados Unidos (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

La principal zona productora de nopalitos es la porción sureste del Distrito Federal, en la zona de la Delegación de Milpa Alta, cuyas plantaciones de nopal abastecen al enorme mercado de la Ciudad de México; según Sánchez (1980) citado por Granados y Castañeda (1996), en la región de Milpa Alta se producen semanalmente 1,500 toneladas de nopal; por otro lado, Rodríguez (1992), menciona que en esta misma región se producen 300,000 toneladas al año. En el sur y sureste de la República Mexicana es común el uso de pencas tiernas de nopal de *Nopalea auberi*, llamada vulgarmente “nopal lengüita”, para la preparación de los nopalitos (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991). En el valle de Oaxaca se sabe que también existe el consumo de nopal verdura del llamado “nopal grueso” que probablemente sea *Opuntia ficus-indica* var. Oaxaca y cuyas características son que los cladodios son gruesos y oblongos con una voluminosa capa cerosa blanquecina y sin espinas (Granados y Castañeda, 1996).

Según Granados y Castañeda (1996) la especie de nopal más conocida como verdura es *Opuntia ficus-indica*; sin embargo, el Colegio de Postgraduados de la SARH obtuvo la variedad para verdura conocida como Tlaconopal (*O. inermis*), que se caracteriza por producir brotes carnosos, con muy pocas espinas y tiene la ventaja que su sabor no es agrio. Ese mismo colegio obtuvo la variedad COPENA F-1, la cual puede ser utilizada como verdura, se pueden utilizar sus frutos y como forraje y cuyos brotes son más delgados que el Tlaconopal, no tiene espinas, no presenta sabor agrio y forma poca “baba”. En el cuadro XIV, se resumen las especies del género *Opuntia* utilizadas en México para la producción de verdura.

CUADRO XIV

Especies de *Opuntia* para producción de verdura

Nombre científico	Nombre común
<i>O.ficus-indica</i>	Nopal de Castilla
<i>O.ficus-indica</i> var. <i>oax</i>	Nopal grueso
<i>O.inermis</i>	Tlaconopal
<i>O.ficus-indica</i> var. COPENA F-1	Copena
<i>O.leucotricha</i>	Nopal duraznillo
<i>O.megacantha</i>	Nopal manso
<i>O.robusta</i>	Nopal tapón
<i>O.streptacantha</i>	Nopal cardón

Fuente: O.P.N., Tlanepantla, Morelos (1992), citado por Rebolledo (1993); Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada (1991); Granados y Castañeda (1996).

Rebolledo (1993) menciona que uno de los problemas más grandes en el mercado de los “nopalitos” es lo referente a la oferta. De acuerdo con el mismo autor, el problema radica en la abundancia con que se distribuye por mercados cada vez más grandes, y este hecho determina su precio al mayoreo en un grado ligeramente menor al detalle. La oferta del nopal como verdura presenta un comportamiento constante a lo largo del año excepto en los meses invernales en que se da una notoria disminución de la producción como resultado de las condiciones climáticas de la región de cultivo.

De acuerdo con Flores (1992), citado por Rebolledo (1993), la demanda del nopal verdura muestra un comportamiento más o menos homogéneo a lo largo del año, con pequeños incrementos en épocas donde por tradición y/o costumbre se consumen este tipo de productos, como la cuaresma, semana santa y Navidad.

Cabe mencionar que en un mercado de oferta y demanda en donde el mercado se satura en la época máxima de producción, el nopal se utiliza como abono verde dentro de las plantaciones, porque no alcanza a ser vendida toda la cosecha y el precio de venta no cubre la inversión (Álvarez, 1997). La comercialización del nopal como verdura se mencionará más adelante en este trabajo en el apartado correspondiente a manejo poscosecha del nopal verdura.

2.6.6 Otros usos del nopal

El nopal puede ser utilizado para la protección y mejoramiento de suelos, puesto que resulta ser un excelente medio de retención de la erosión eólica y pluvial. Esto se debe a su sistema radicular amplio y superficial, a su rapidez de crecimiento, a su adaptación en suelos inhóspitos y a su resistencia a factores climáticos adversos. Los pelos absorbentes de las raíces son de naturaleza caduca y constituyen una fuente de materia orgánica que se reincorpora al suelo (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Otro uso que se le da al nopal es para la construcción de setos o cercos vivos. La siembra de nopal puede servir para delimitar propiedades, para dar protección y privacidad donde se ubican casas en zonas rurales, o para cercar corrales de animales domésticos (Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

Como ya se mencionó anteriormente, el nopal es una fuente importante de fibra, esto hace que el nopal se utilice como materia prima para la producción de fibras y pulpa en la industria del papel y materiales aislantes. Negrete (1997), menciona que una de las mejores alternativas para el aprovechamiento del nopal es su deshidratación y producción de cápsulas de nopal. Es posible que la autora justifique su uso como fuente de fibra para nutrición humana.

El nopal también es fuente de azúcares fermentables, los cuales le dan la propiedad de poder ser materia prima en producción de alcohol y vinagre. Esto puede ser de utilidad en producción de bebidas fermentadas y como sazonador de platillos (Haury, 1967; Bruhn, 1973, citados por Bravo-Hollis y Sánchez-Mejorada, 1991).

2.7 Beneficios y valor nutricional del nopal verdura

El contenido de nutrientes en los cladodios puede variar con la composición del suelo, la humedad, la variedad, época del año y la edad de la planta (Bravo-Hollis, 1978; Granados y Castañeda, 1996).

El nopal ha sido motivo de muchos estudios debido a los diferentes usos que se le ha dado desde la época prehispánica, sobre todo por su usos como forraje, fuente de nutrientes para el ser humano y por sus cualidades medicinales. Según Bravo (1978), citado por Granados y Castañeda (1996), el fruto es útil para los que sufren de exceso de bilis o

destemplanza cálida; tiene una goma que templar el calor de los riñones y la orina, además si sus raíces se mezclan con ciertas especies de geranios alivian hernias y curan erisipelas.

Como ya se mencionó anteriormente, el nopal contiene pectinas y mucílago, los cuales son benéficos para el sistema digestivo (http://www.webshed.com/ns/nopal_ic1.htm). Es particularmente útil como abastecimiento de nutrientes al páncreas e hígado, de tal forma que contribuyen a la digestión y mantienen un balance de azúcar en la sangre. Además, se sabe que el consumo de nopal ayuda a reducir el exceso de grasa, ayuda a cicatrizar heridas, mejora el sistema inmunológico, reduce los niveles de colesterol, regula úlceras gástricas y desórdenes gastrointestinales y por su alto contenido de fibra soluble e insoluble, contribuye a la limpieza del colon (http://www.nopal.com/benefits_link.html#Colon). La fibra, constituida por diferentes compuestos de la pared celular, como pectina, mucílago, gomas, celulosa y lignina, tiene la función principal en el organismo de hincharse al absorber agua y facilitar el tránsito, la distensión intestinal y consecuentemente la defecación (Badui, 1994).

Cárdenas (1996), realizó un estudio de ingestión de nopal *Opuntia ficus-indica* en ratas de laboratorio y demostró que un suministro alto de la verdura cruda reduce considerablemente los niveles de colesterol, lo cual es sumamente benéfico para las personas con riesgo de aterosclerosis.

El nopal, como ya se ha dicho, es una fuente de nutrientes importantes, como aminoácidos, fibra, minerales y vitaminas. Cárdenas (1996), encontró 17 aminoácidos en *Opuntia ficus-indica* tanto crudo como cocido, los cuales se muestran en el cuadro XV. Leung (1975), describe los tallos de nopal como un alimento comúnmente usado en América Latina y los resultados de su composición química y valor energético se muestran en el cuadro XVI para *Nopalea cochinellifera* y *Opuntia spp.*

Serna (1996), citado por Cárdenas (1996), menciona que el valor nutritivo de una proteína depende principalmente de tres factores: la cantidad que contiene de cada uno de los aminoácidos esenciales (valor químico), de la digestibilidad de la proteína y de la cantidad de factores antinutricionales que contenga el alimento.

CUADRO XV
Contenido de aminoácidos de *Opuntia ficus-indica*

Aminoácido	Nopal crudo⁽¹⁾ (g de AA/100 g de proteína)	Nopal cocido⁽¹⁾ (g de AA/100 g de proteína)	Requerimiento adulto⁽²⁾ (g de AA/100 g de proteína)
Ác. aspártico (Asp)	10.01	9.68	----
Treonina (Thr)	5.05	4.85	0.9
Serina (Ser)	5.81	5.34	----
Ác. glutámico (Glu)	14.40	13.11	----
Prolina (Pro)	6.14	5.82	----
Glicina (Gly)	5.04	5.45	----
Alanina (Ala)	7.43	6.96	----
Cistina (Ácido Cys)	1.51	1.50	----
Valina (Val)	5.82	6.23	1.3
Metionina (Met)	1.75	1.95	1.7 (con cisteína)
Isoleucina (Ile)	4.57	5.18	1.3
Leucina (Leu)	9.22	9.43	1.9
Tirosina (Tyr)	0.31	4.48	1.9 (con fenilalanina)
Fenilalanina (Phe)	5.02	3.85	1.9 (con tirosina)
Histidina (His)	2.23	2.38	1.6
Lisina (Lys)	6.69	7.24	1.6
Arginina (Arg)	5.67	6.09	----

Fuente: (1) Adaptado de Cárdenas (1996); (2) Adaptado de FAO/WHO (1990), citado por Serna (1996).

En el nopal se encuentran 8 aminoácidos esenciales ([http://www.nopal.com/benefits_link.html# Colon](http://www.nopal.com/benefits_link.html#Colon)). Según Cárdenas (1996), en su estudio de ingestión de nopal en ratas, la proteína del nopal tiene un alto valor químico, pero encontró que la proteína era de baja digestibilidad. Esto la autora lo atribuye a la asociación de las proteínas con los componentes fibrosos. Badui (1994), comenta que el exceso en el consumo de fibra tiene el inconveniente de que algunos de los polisacáridos que la constituyen se unen a elementos importantes como calcio, magnesio, cinc, hierro, fósforo y cobre, así como a la vitamina B₁₂ y algunos aminoácidos, lo que provoca que estos nutrimentos no sean aprovechados y se eliminen por las heces. No todas las fibras tienen las mismas propiedades, algunas reducen los niveles de glucosa en la sangre y otras los de colesterol, por un mecanismo de unión con el material fibroso como tal que no facilita su reabsorción. La fibra contribuye a retener en el intestino todos aquellos compuestos de moléculas grandes que generalmente son irritantes, dañinos y tóxicos.

CUADRO XVI
Composición química de tallos de nopal

Composición (100 g de porción comestible)	<i>Nopalea cochinellifera</i>	<i>Opuntia spp</i>
Valor energético (Cal)	29.00	37.00
Humedad (%)	90.80	88.80
Proteína (g)	1.30	1.10
Grasa (g)	0.10	0.40
Carbohidratos totales (g)	6.90	8.80
Fibra (g)	6.80	2.60
Cenizas (g)	0.90	0.90
Calcio (mg)	—	110.0
Fósforo (mg)	17.00	20.00
Fierro (mg)	2.70	0.50
Vitamina A (actividad µg)	220.0	50.00
Tiamina (mg)	0.03	0.04
Riboflavina (mg)	0.04	0.04
Niacina (mg)	0.40	0.20
Ácido ascórbico (mg)	16.00	19.00

Fuente: Adaptado de Leung (1975).

Como se puede observar en el cuadro XVI, los tallos de nopal tienen muy alto contenido de humedad, lo que lo hace un alimento muy fresco; sin embargo, también tiene compuestos de gran importancia nutricional como la tiamina, la cual es una vitamina del complejo B cuya deficiencia en el hombre se manifiesta con pérdida de la memoria, dificultad para hablar e incapacidad para ciertos movimientos musculares, y en condiciones extremas, su deficiencia puede ocasionar la enfermedad conocida como beriberi que se manifiesta por problemas gastrointestinales, cardiovasculares y del sistema nervioso (Badui, 1994). Según Badui (1994), los requerimientos diarios de esta vitamina son para una persona adulta entre 1.0 y 1.4 mg; para un niño de 0 a 11 meses se recomienda de 0.06 a 0.05 mg/Kg.

Otra vitamina del complejo B encontrada en el nopal es la riboflavina o vitamina B2, para el hombre, según Badui (1994), se recomienda una ingestión de 0.6 mg por cada 1000 Kcal consumidas. Su deficiencia produce queilosis, dermatitis seborreica, vascularización corneal y coloración anormal de la lengua.

La niacina, contenida en el nopal, es otra vitamina que contiene una amina indispensable en dos coenzimas muy importantes, el dinucleótido de adenina y nicotinamida (NAD) y su derivado fosfatado (NADP), ambas encargadas de la transferencia de

hidrógenos en muchas reacciones metabólicas. Se deficiencia da rigen a la enfermedad llamada pelagra, la cual se manifiesta con diarreas, dermatitis y demencia (Badui, 1994).

El contenido de ácido ascórbico o vitamina C en el nopal es considerable; en el cuadro XVII se muestra el contenido de vitamina C del nopal comparado con otras frutas y hortalizas. Esta vitamina es de gran importancia puesto que contribuye en la síntesis de colágena, huesos, dentina de los dientes, cartilagos y paredes de los vasos capilares sanguíneos. Ayuda a la absorción de hierro, por lo que es fundamental en la dieta de los pueblos que basan su alimentación en granos y semillas (Badui, 1994).

CUADRO XVII
Contenido de vitamina C en frutas y verduras

Producto	Contenido (mg/ 100 g)
Brócoli	300
Guayaba	300
Chiles	120
Limón	50
Naranja	50
Papa	30
Mandarina	25
Tallos de <i>Opuntia spp</i>	19
Tallos de <i>Nopalea cochinellifera</i>	16
Manzana	10
Plátano	10
Durazno	4

Fuente: Leung (1975); Ting (1983) citado por Badui (1994).

En el cuadro XVI se puede observar que la actividad de provitamina A que contienen *Nopalea cochinellifera* y *Opuntia spp*, son 220 y 50 μg respectivamente. Actividad de provitamina significa que la vitamina no existe como tal, sino que el nopal contiene sustancias precursoras de la misma como el β -caroteno. Según Badui (1994), la deficiencia de esta sustancia en el organismo inhibe el crecimiento, produce endurecimiento del epitelio de varias partes del cuerpo, principalmente en los sistemas respiratorio, visual, reproductivo y urinario, además de afectar las estructuras óseas y dental.

Comparando con otros alimentos (Badui, 1994), el nopal tiene un alto contenido de actividad de vitamina A; por ejemplo la fresa tiene 60 μg , la cebolla 40 μg ; y la carne de vacuno y porcino; sin incluir el hígado, tienen 40 y 30 μg respectivamente.

Leung (1975), encontró en los géneros de nopal que analizó (cuadro XVI), tres minerales: calcio, fósforo y fierro. Al igual que las vitaminas, algunos minerales son indispensables para el buen funcionamiento del organismo humano y su carencia puede provocar daños a la salud. El calcio es el elemento químico más abundante en el ser humano y se recomienda una ingestión de 500 a 1000 mg diarios; la absorción de este mineral se favorece por la acción de la vitamina D, la lisina, la arginina y la lactosa de la leche. El calcio es indispensable para la formación de huesos y dientes además de favorecer la contracción muscular y la coagulación de la sangre (Badui, 1994). El fósforo, por otro lado, sirve para la formación de los huesos, fosforilación de la glucosa, transporte de ácidos grasos y formación de ATP; por su parte, el fierro, tiene la función de formar la hemoglobina, contribuir a la oxidación celular por citocromos y participa en el sistema inmunológico (Ames, 1973, citado por Badui, 1994).

2.8 Manejo poscosecha del nopal verdura

El manejo poscosecha engloba a todas aquellas actividades que se realizan para el traslado de los productos del campo al consumidor. Involucra resolver problemas de carácter científico-técnico y de carácter socioeconómico, es decir, hacer que los productos lleguen a su destino en buenas condiciones, con oportunidad, a precios accesibles, distribuirlos adecuadamente entre la población consumidora, lograr que el producto reciba un precio remunerativo y reducir al mínimo las pérdidas (Pelayo, 1992).

Cosecha

[La cosecha de nopal se realiza en forma manual con o sin ayuda de un cuchillo; de cualquier forma se recomienda usar guantes de tela gruesos o de cuero] Rodríguez (1992) menciona que el tamaño en el que el cladodio se corta varía entre 10 y 18 cm; por otro lado, Corrales-García (1997) menciona que el **índice de cosecha** es el tamaño que varía entre 18 y 23 cm. Cuando no se utiliza cuchillo, el cosechador toma la penca de la parte inferior y le da un giro de más de 90° para desprenderlo de la penca madre. Esta operación se debe realizar con cuidado puesto que los tejidos se pueden desgarrar y quedar porciones del cladodio en la penca madre, lo cual presenta un peligro de **infección** por parte de algunos **patógenos**. Cuando la cosecha se hace por medio de cuchillos, el tallo se corta en la base lográndose una separación más uniforme y limpia. Cualquiera que sea el método de cosecha, es

recomendable proteger el producto inmediatamente del sol para no acelerar su metabolismo y evitar la deshidratación, de tal forma que se prolongue su vida de útil (Corrales, 1992, citado por Corrales, 1997). *

Corrales (1997), menciona que la temporada de cosecha abarca desde marzo hasta septiembre u octubre en las plantaciones a cielo abierto, en el invierno, la cosecha se da en microtúnel. El corte se puede realizar a medio día, pero principalmente en la mañana, para dar oportunidad a que la venta del producto se realice durante el día en los mercados locales. En cuanto a la hora del corte, se debe considerar el metabolismo ácido crasuláceo que presenta el nopal, esto es, asimilación nocturna de CO₂, aumento en la acidez en las primeras horas del día y disminución al medio día, con lo que puede variar su sabor (Granados y Castañeda, 1996; Corrales, 1997). Si la venta se realiza por peso, hay que considerar el tamaño de las pencas más grande, pero también se debe tomar en cuenta, que mientras se deje crecer más el nopalito, se torna más fibroso y se pierde su ternura, lo cual es uno de sus principales atributos sensoriales.

Luego de la cosecha, los nopalitos se pueden llevar directamente al mercado local sin ningún tipo de acondicionamiento, incluso con espinas. Para mercados distantes, los nopalitos se empaacan en área sombreada. El empaclado protege y facilita la comercialización y transporte del producto (Corrales, 1997). ③

Según Rebolledo (1993), la comercialización del nopal en México es un proceso particularmente difícil por el exceso de producto disponible en todo el año, además de tratarse de un bien que no toda la gente está acostumbrada a consumir. El comercio del nopal se presenta después de la cosecha; la forma en que se prepara el producto para enviarse al mercado depende de la distancia en que éste se encuentre, del tipo de transporte a disposición de los agentes de comercialización, del lugar o región en que se producen los nopales y del tipo de mercado al que van destinados.

A continuación se describen las formas más comunes como se empaca y transporta el nopal para su comercialización en México:

- a) Pacas: método más común en la central de abastos en el Distrito Federal, utilizada por los productores de Milpa Alta y Tlanepantla. Consisten en nopales acomodados de tal manera que forman un cilindro con una altura aproximada de 1.70 m, un peso entre 250 y 300 kg, un diámetro ente 70 y 80 cm y un contenido que varía entre 2 500 y 3 000 pencas. Los cilindros se atan por sus extremos fuertemente con costales e hilos, lo que permite su manejo (Flores, 1992, citado por Rebolledo, 1993).
- b) Canastos o colotes: Esta forma es muy común en el mercado de Milpa Alta. La capacidad de los canastos es aproximadamente de 200 nopales con un tamaño variable entre 15 y 25 cm de longitud, se utiliza en distancias cortas como para mercados locales (Borbolla, 1987, citado por Rebolledo, 1993 ; Corrales, 1997).
- c) Granel: A veces los productores cargan las pencas de nopal en camionetas con capacidad promedio de tres toneladas, Este método, según Corrales (1997), sirve para la transportación de la verdura en distancias cortas.
- d) Rejas: A veces el nopal se acomoda en rejas de madera y cubiertos en sacos de cartón perfectamente amarrados con el objeto de trasladarlos de la central de abastos a ciudades como Monterrey, Guadalajara y León.
- e) Arpillas o costales: Forma muy utilizada en San Luis Potosí y Zacatecas. Después de la cosecha, los nopales se limpian de espinas y se colocan en arpillas de plástico o ixtle. Ya que generalmente este nopal abastece a agroindustrias potosinas, se buscan nuevas formas de empacar el producto, puesto que las arpillas son un medio de contaminación (Flores, 1992, citado por Rebolledo, 1993).

Aragón et al. (1990), mencionan que el principal problema que enfrentan los productores de nopal en la región de Milpa Alta es la comercialización, debido principalmente a que carecen de infraestructura para la conservación en fresco o industrializado.

Aragón et al. (1990), también comentan que se presentan otras condiciones desventajosas:

- a) Un mercado de oferta y demanda saturado en las épocas de mayor producción.
- b) El intermediarismo, que incrementa el número de eslabones en la cadena de comercialización y el costo del producto. Como consecuencia de esto, el producto se calienta y disminuye su vida útil, en detrimento de la satisfacción del consumidor.
- c) Comportamiento natural de la planta frente a factores climatológicos de la región.
- d) Conflictos sociales derivados de los problemas de tenencia de la tierra.
- e) Atributos de calidad condicionados a las prácticas de cultivo y al poder adquisitivo del productor.

Flores (1997), menciona que en cuanto a la comercialización del nopalito no existe una infraestructura adecuada y que los canales son tradicionales e ineficientes; se ha fomentado poco el consumo de este producto a nivel nacional y no recibe un adecuado manejo en poscosecha, lo que demerita su calidad y su vida de anaquel; además no se están aplicando normas de calidad. Este mismo autor comenta que en cuanto al comercio exterior, el mercado internacional del nopalito es de poca significación, México y Chile son los únicos países que exportan nopalitos a Estados Unidos pero en muy pequeña cantidad, sin embargo, el mercado de este país presenta un gran potencial de consumo de nopal por sus 13 millones de personas de origen mexicano.

El mercadeo se realiza durante los tres primeros días después de la cosecha, por ser relativamente corta, la comercialización en forma de pacas ha sido muy conveniente; de acuerdo con Cantwell (1991), citada por Corrales (1997), si el período de comercialización fuera más prolongado, se produciría una gran cantidad de calor en el centro de la paca, por la tasa respiratoria de la verdura, lo cual reduciría el peso y la calidad del producto.

Según Rodríguez (1992), el nopal verdura es una hortaliza perecedera con tasas de ~~velocidad de~~ respiración de, aproximadamente 20 ml CO₂/Kg-hr y de producción de etileno, de 0.10 µl C₂H₄/Kg-hr; pierde su turgencia a los cuatro días a temperatura ambiente, lo que disminuye su aceptabilidad. Cantwell y colaboradores (1992), citados por Rodríguez-Félix y

Villegas-Ochoa (1998), mencionan que las pencas de nopal tienen una **tasa de respiración** moderada de $25\mu\text{l CO}_2/\text{g-h}$ a 20°C , y una **tasa de producción de etileno** de 0.2 nl/g-h a 20°C . Se ha encontrado en estudios de almacenamiento de nopal, que a 10°C entre 80 y 85% de humedad relativa puede incrementarse la calidad de la verdura por 30 días. Los principales problemas presentados en el almacenamiento son las pudriciones en el sitio de corte debido a una cosecha inadecuada y la deshidratación que ocasiona pérdida de turgencia.

El nopal se puede vender como penca entera que puede estar o no sumergida en agua y se desespina al momento de venderse; también se puede vender ya desespina entera o cortada en cuadritos empacados en bolsas de polietileno. Cuando los nopales se comercializan desespina o en cuadritos el principal problema es el oscurecimiento. Este desorden se presenta después de 1 a 2 días si se mantienen a temperatura ambiente y después de 5 a 7 días si se mantienen en refrigeración a 5°C (Rodríguez, 1992).

El precortado o el proceso mínimo del nopal, es otra modalidad en el manejo poscosecha del nopal verdura, este tipo de productos encierra ciertos aspectos tecnológicos y de calidad, los cuales se explicarán en el siguiente apartado de este escrito.

2.9 Productos precortados

2.9.1 Historia y definición

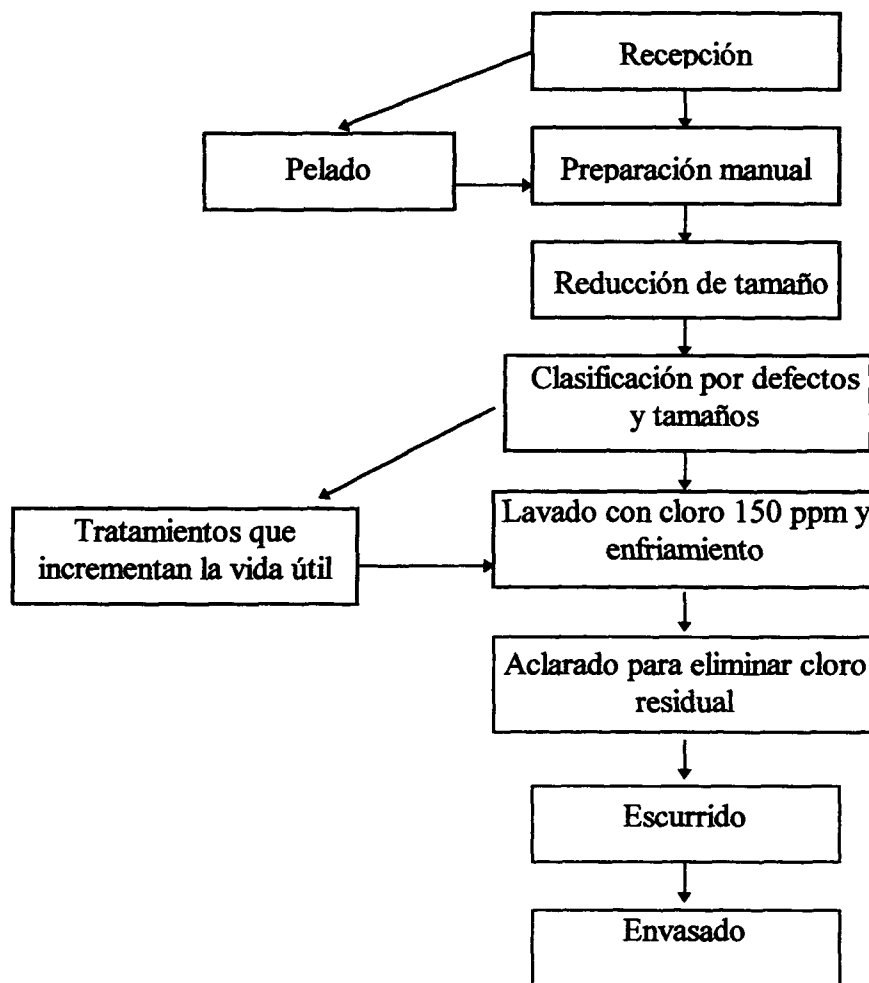
Los productos precortados o productos mínimamente procesados son definidos por la Asociación Internacional de Productos Precortados (IFPA, por sus siglas en inglés) como “cualquier fruta fresca, vegetal fresco o combinaciones, los cuales han sido alterados físicamente de su forma original, pero mantienen un estado de frescura” (International Fresh-cut Produce Association -PMA, 1997). Cantwell (1992), define los productos hortícolas mínimamente procesados como productos que han sido preparados y manejados para mantener su frescura natural a la vez de que proporcionan conveniencia al consumidor. La misma autora menciona que algunos ejemplos de estos productos son: papas peladas y rebanadas, lechugas y coles picadas, espinaca lavada y cortada, rebanadas de mango, melón y otras frutas, floretes de brócoli y coliflor y ensaladas de mezclas de verduras.

En Francia, a este tipo de productos se les conoce con el nombre de productos de la cuarta gama y son definidos como “legumbres o frutas vivas sometidas a un tratamiento de

preparación, lavadas, embaladas y listas para el consumo” (Mazollier, 1986). De acuerdo con Cantwell (1992), los productos mínimamente procesados pueden recibir los nombres de “ligeramente procesados”, “parcialmente procesados”, “procesados en fresco”, y “pre-preparados”.

2.9.2 Proceso general

La preparación de productos precortados involucra varios pasos, los cuales pueden resumirse en operaciones unitarias específicas, tal como se muestra en la figura 1. Cada una de estas operaciones debe ser ejecutada propiamente para asegurar la calidad del producto terminado y las expectativas de vida de anaquel y seguridad alimentaria (Gorny, 1997).



Fuente: Adaptado de Gorny (1997).

Fig. 1. Operaciones unitarias en el proceso de productos precortados.

A continuación se describen cada una de estas operaciones del proceso general de precortados (Gorny,1997):

a) Recepción y almacenamiento de la materia prima.

La calidad de los productos precortados es altamente dependiente de la calidad de la materia prima que se utilizará durante el proceso. Calidad deficiente inicial, originará calidad deficiente final. En la recepción, los productos deben muestrearse y buscar incidencia de defectos y daños por insectos. El lugar debe estar bien iluminado y contar con temperatura no mayor a 10°C. Si los productos están defectuosos, se le debe hacer saber al vendedor; los productos que pasan la selección deben identificarse con la fecha de entrada de tal forma que se asegure la rotación del mismo.

b) Lavado y clasificación preliminar.

Muchas frutas y hortalizas al ser recibidas vienen con suciedad. Un lavado e incluso restregado con agua clorinada será de gran utilidad para remover polvo y carga microbiana antes de ser cortadas. También es importante eliminar todas aquellas frutas y hortalizas que muestren signos de senescencia para evitar posteriores contaminaciones por microorganismos.

c) Pelado.

Algunos productos como la cebolla y zanahoria, requieren ser peladas con el objeto de remover capas fibrosas antes de ser cortadas. Aunque en la industria de alimentos existen muchos métodos de pelado, sólo dos son apropiados en mínimamente procesados; el primero es el pelado manual, el cual es muy recomendado puesto que da muy buenos resultados en el producto final y existen productos que no tienen otra alternativa, este método constituye una labor extremadamente intensiva. El otro método de pelado es por abrasión, el cual utiliza rodillos con superficies abrasivas que quitan la piel, proceso que se complementa con aspersores de agua para facilitar a remoción de la materia suelta. Este último tipo de pelado puede causar severos daños, por lo cual es importante seleccionar la maquinaria más apropiado según el tamaño y la forma del producto.

d) Reducción de tamaño/cortado.

Las cortezas, brotes, semillas y otras partes indeseables de la planta deben ser eliminados del lote de productos antes de comenzar la reducción de tamaño. Esta operación puede realizarse con cuchillos y maquinaria estacionaria. Los cuchillos deben estar debidamente saneados y afilados, los productos que muestren signos de pudrición deben ser eliminados, pues un corte en estas unidades provocaría la inoculación microbiana de los demás productos. Después de la limpieza preliminar, la reducción de tamaños se efectúa mediante máquinas cortadoras. El filo de las cuchillas es un factor crítico que puede afectar la vida de anaquel del producto terminado, por lo cual se requiere de una inspección tanto de la maquinaria como de la superficie de corte para reemplazar las cuchillas por otras bien afiladas en el momento más apropiado.

e) Clasificación por tamaños y defectos.

La clasificación por tamaños se hace para asegurar que el producto terminado tenga el tamaño adecuado que cubra con las necesidades del consumidor. Para este fin se utilizan superficies vibratorias que permitan caer a las piezas más finas. La clasificación después del corte también se efectúa para eliminar todas aquellas porciones mal cortadas o que muestren daños fisiológicos, esta operación es bien llevada a cabo por una línea de personal calificado.

f) Tratamientos que incrementan la vida útil.

Una de las razones por las cuales los productos precortados son muy buscados es porque no contienen aditivos, sin embargo, algunos tratamientos son aceptados para prolongar su vida útil, la cual se puede ver disminuida por tres razones principales: [contaminación microbiana, ablandamiento excesivo de los tejidos y oscurecimiento en las superficies de corte.]

- La mejor herramienta contra el crecimiento de microorganismos es un efectivo programa de supervisión de limpieza y saneamiento. La clorinación y la baja temperatura del agua de enjuagado garantizan (Gorny,1997) la disminución del crecimiento microbiano así como una mayor vida útil del producto. Si se utilizan conservadores como sorbatos y benzoatos, deben especificarse debidamente en la etiqueta.

El reblandecimiento de los tejidos es un problema muy común en productos precortados que se puede evitar adicionando sales de calcio. Un método efectivo es la

inmersión de los productos en soluciones de cloruro de calcio en el rango de 0.5 a 1.0%; sin embargo, esta sal puede ocasionar sabores amargos al producto. La clave de este tratamiento está en controlar la temperatura y el tiempo de exposición.

Un problema muy frecuente en los productos precortados es el oscurecimiento de las superficies de corte, éste se debe a una reacción oxidativa causada por la enzima polifenoloxidasas (PPO), la cual, en presencia de oxígeno, convierte los compuestos fenólicos del producto en pigmentos de color café. Existen varias estrategias para evitar este tipo de oscurecimiento. Un método empleado para controlar el oscurecimiento enzimático es la reducción de oxígeno modificando la atmósfera del envase por medio de vacío o inyección de gases. La reducción de la concentración de oxígeno en el envase puede aminorar la reacción de oscurecimiento pero no detenerla por completo. La concentración excesiva de oxígeno acelerará el oscurecimiento, mientras que muy poco oxígeno puede causar anaerobiosis y por consecuencia generación de malos sabores y aromas.

Otro método que disminuye el oscurecimiento enzimático es la acidificación de los productos por inmersión en soluciones de ácidos de grado alimenticio como el acético, ascórbico, cítrico, tartárico, fumárico o fosfórico. Esto se explica porque la PPO tiene su máxima actividad a pH neutro de 7.0 (Gorny, 1997); sin embargo, con el uso de ácidos orgánicos se pueden generar ciertos sabores por lo que deben utilizarse con cuidado.

La reducción de la actividad de la PPO también se puede efectuar utilizando agentes reductores como el ácido ascórbico o eritorbato, los cuales convierten las quinonas (compuestos que forma la PPO a partir de compuestos fenólicos) a compuestos fenólicos. Estos compuestos se utilizan a concentraciones de 1% en soluciones para inhibir el oscurecimiento efectivamente.

g) Lavado con cloro y enfriamiento.

El lavado y enfriamiento inmediatamente después del corte es un paso muy importante en el proceso de precortados. El lavado debe darse con agua clorada para eliminar la carga microbiana, además ayuda a eliminar suciedad y fluidos extracelulares de la superficie de las frutas y hortalizas. En esta etapa es importante cuidar ciertos parámetros como la temperatura del agua de enjuagado, tiempo de inmersión, concentración de cloro y pH.

La temperatura del agua de enjuagado recomendada como óptima para estos productos es de 0°C y debe ser monitoreada constantemente tanto al inicio como al final de la línea de operación para asegurarse de que el producto está enfriándose adecuadamente. Mientras más largo sea el tiempo de inmersión en el agua fría se garantiza un mejor enfriamiento del producto precortado, lo cual es muy deseable puesto que una vez envasado y paletizado es casi imposible enfriarlo. El agua de enjuagado también puede ser aplicada por aspersión, sin embargo, la inmersión tiene la ventaja que se puede incluir una agitación que garantice un mejor enfriamiento. La clorinación del agua con 200 ppm es la que garantiza que el agua sea potable, sin embargo un rango de 50 a 100 ppm es muy aceptable en el proceso de precortados. El monitoreo de la adición de cloro es importante porque se elimina la carga bacteriana, se evita la contaminación cruzada en el agua de enjuagado e inhibe reacciones de oscurecimiento en el producto. El cloro se puede inyectar como gas o líquido con un adecuado monitoreo de la concentración del mismo en el agua. Una concentración muy elevada puede producir sabores desagradables, dañar el producto y disminuir la vida útil. La actividad bactericida del cloro funciona mejor a pH neutro o ligeramente ácido, por lo cual se debe efectuar un adecuado monitoreo para ajustar el pH con el ácido o la base correspondiente.

h) Aclarado

Esta operación consiste en enjuagar las frutas u hortalizas saneadas con el objeto de eliminar el exceso de sustancias desinfectantes.

i) Operaciones de escurrimiento.

Un método alternativo para escurrir el agua de los productos precortados es la centrifugación, siempre y cuando se controlen muy bien el tiempo y la velocidad de la centrífuga. Si el tiempo y velocidad son excesivas, el producto se puede dañar y puede migrar fluidos extracelulares después del envasado. Los productos precortados que sean muy delicados, pueden ser escurridos por medio de un secador de aire forzado con lecho semifluidizado; el aire en este tipo de secador debe estar frío y seco además de ser filtrado para evitar contaminación del producto.

j) Envasado.

El primer paso para envasar el producto es determinar el peso exacto que llevará cada unidad, la dosificación se puede hacer de forma manual o con llenadoras mecánicas especiales. Una computadora puede monitorear la dosificación de cada bolsa rechazando todas aquellas que estén fuera de los límites. Se pueden utilizar varios tipos de envases poliméricos y charolas para el envasado, pero hay que considerar que la elección del envase se debe hacer de acuerdo al capital y la maquinaria con que se cuente. Es importante eliminar oxígeno del interior de la bolsa para lograr una **atmósfera modificada** que prolongue la vida de anaquel/esto se hace generalmente con una mezcla de gases que se inyectan al interior; también es importante considerar la temperatura en el envasado y un sellado eficiente de las bolsas.

Como parte de una **buena práctica de manufactura**, los productos precortados deben ser monitoreados por un detector de metales. Muchas veces los productos pueden llevar grapas o fragmentos metálicos del cuchillo lo cual se considera contaminación por metales. Este tipo de equipos deben ser calibrados correctamente según el tamaño del producto y deben proporcionar un mecanismo que rechace aquellas unidades defectuosas. El último paso en la línea de envase es la colocación de las bolsas en cajas, estas deben ser preenfriadas y contener un código de fecha de manufactura para dar una adecuada rotación al producto.

2.9.3 Mercado

Los productos precortados constituyen un segmento creciente de la industria hortícola, aunque no existen estadísticas definitivas, los economistas estiman que este tipo de productos abarcan de un 8 a un 10% del mercado de frutas y hortalizas; por su parte, algunos economistas anticipan que este porcentaje crecerá a más de un 25% dentro de 5 a 10 años (Cantwell, 1997).

Según Mazollier (1986), el mercado en Francia comprendía en 1988, 30,000 toneladas de legumbres, y en 1989 entre 35,000 y 40,000 toneladas. La evolución rápida muestra el interés que despierta este tipo de productos al consumidor. Según Cantwell (1997), los beneficios que los productos precortados traen al consumidor son la reducción

del tiempo de preparación de sus alimentos, calidad uniforme y consistente, incremento en el consumo de frutas y vegetales saludables y frescos, facilidad de almacenamiento y la reducción de desperdicio y manejo. Este tipo de productos se ha dirigido a consumidores de ciertas zonas urbanas de clase acomodada. Generalmente este segmento es sensible a problemas dietéticos pero también dispone de poco tiempo para la preparación de los alimentos.

Mazollier (1986) también comenta la situación del mercado europeo, donde para después de 1987 se advertía una expansión generalizada, el desarrollo de estos productos varía en los distintos países en función de la situación social, donde influyen factores como el poder adquisitivo y el trabajo de la mujer. En Estados Unidos se observa una gran tendencia de su comercialización, así como productos muy elaborados a base de fruta.

2.9.4 Calidad

Según Cantwell (1992), la naturaleza de la demanda para los productos mínimamente procesados requiere que sean visualmente aceptables. Los productos deben tener una apariencia fresca, consistentes en calidad dentro y fuera del envase, y razonablemente libres de defectos. En mezclas de ensaladas, la calidad del producto será tan buena como lo sea el producto más perecedero. Esto también aplica para espinacas lavadas y otros productos con diferencias en la edad de las hojas o daños físicos que pueden llevar al producto a una perecederabilidad desuniforme.

Según Kader y Mitcham (1997), la calidad de frutas y vegetales precortados es una combinación de atributos que determinan su valor como alimento humano. Estos factores de calidad incluyen la apariencia visual, textura, sabor, valor nutricional y seguridad alimentaria. La calidad de los productos precortados depende de la calidad de la materia prima y su preservación durante el método de preparación y condiciones subsecuentes de manejo (rapidez de enfriamiento, temperatura del cuarto, humedad relativa, sanidad y mercadeo). Las operaciones en productos precortados no deben verse como el aprovechamiento de productos de inferior calidad que no se pueden vender frescos. La materia prima de superior calidad es la que se debe emplear en este tipo de productos.

A continuación se describen los factores que influyen la composición y la calidad de productos hortofrutícolas intactos (Kader y Mitcham, 1997):

a) Factores genéticos.

En frutas y hortalizas existen diferencias entre variedades tanto en composición como en calidad. Por ejemplo, el brócoli y la coliflor pueden presentar diferencias en la unión de sus floretes, los menos compactos podrán ser separados más fácilmente y dañar menos al producto. Con los avances en horticultura y biotecnología se pueden modificar ciertas características deseables en los productos para ser utilizados como materia prima en precortados. Se puede reducir la actividad de la PPO, la actividad enzimática degradante de la pared celular y mejorar el sabor.

b) Factores antes de la cosecha.

Las condiciones climáticas como la temperatura y precipitación pluvial, influyen la calidad en la cosecha y en la vida poscosecha de los productos, ya que los efectos ambientales estresantes son acumulativos. La composición del suelo, uso de pesticidas, abastecimiento de agua y nutrientes, afectan la composición de la parte cultivada de la planta. Si el abastecimiento de agua es excesivo al igual que la concentración de nitrógeno y la cantidad de calcio es pobre, se garantiza una vida poscosecha muy pobre. Si el uso de fertilizantes orgánicos no es estéril, existe un alto riesgo de que se desarrollen microorganismos patógenos para el ser humano.

c) Etapa de cosecha.

Con el objeto de encontrar un balance entre la calidad esperada por el consumidor y una vida poscosecha prolongada, es importante seleccionar la madurez óptima para cosechar los productos hortofrutícolas. Si un producto es cosechado cuando aún está creciendo, tendrá una alta actividad metabólica y pobres contenidos de reserva, mientras que un producto que se cosecha maduro tendrá baja actividad metabólica y alto contenido de reserva. Los frutos tienen un mejor sabor si se cosechan maduros, sin embargo en el proceso de precortados serían muy suaves por lo tanto se recomienda que la materia prima utilizada tenga una madurez intermedia.

d) Manejo entre la cosecha y la preparación.

La calidad en esta etapa poscosecha depende mucho de todo el manejo que se le dé a los productos. Entre las actividades clave destaca el preenfriamiento rápido, mantenimiento de la temperatura y humedad relativa óptimas y la eliminación del etileno para aquellos productos sensibles al mismo.

Kader y Mitcham (1997), también describen los procesos de preparación que influyen la calidad de los productos precortados. Estos procesos se exhiben a continuación:

a) Limpieza.

Esta operación garantiza la limpieza del producto terminado, y es necesaria tanto para la materia prima, que remueve suciedad y carga microbiana inicial como para el equipo utilizado en el proceso, el cual puede contaminar el producto precortado. Otro paso fundamental es el lavado que elimine todos aquellos fluidos extracelulares que pueden servir como medio de cultivo para microorganismos.

b) Corte.

En esta etapa existen muchos factores que pueden disminuir la calidad del producto precortado, estos son el incremento en la tasa respiratoria, producción de etileno, oscurecimiento y pérdida de agua. Es muy importante asegurar que el filo de los cuchillos o navajas de corte sea efectivo para dañar lo menos posible al producto.

c) Uniformidad.

Es importante que las piezas de el producto precortado sean lo más uniformes posibles. El producto debe estar libre de tejidos indeseables de la planta como brotes, cortezas y semillas, ya que esto disminuye la calidad del producto terminado.

d) Envasado. /

Seleccionar el método de envasado adecuado, puede contribuir a mantener la calidad de los productos precortados, ya que se puede evitar la pérdida de agua y controlar la reacción de oscurecimiento. Las películas del material de envase no deben restringir tanto la difusión del oxígeno, ya que esto puede llevar a una acumulación de dióxido de carbono que traiga consigo reacciones fermentativas y generación de malos olores.

Existen también factores que pueden influenciar la calidad de los productos precortados después de su preparación. La temperatura de almacenamiento y transporte del producto terminado debe mantenerse a 0°C y la humedad relativa debe fluctuar entre 95 y 98%. Otro factor importante que hay que considerar es el tiempo que se da entre la preparación del producto y el consumo, éste debe ser el menor posible para asegurar una mejor calidad, además de que es muy deseable colocar la información de fechas de elaboración en los envases de tal forma que se consuma en el tiempo apropiado. Todas las actividades de manejo del producto terminado durante su venta al mayoreo o menudeo deben ser sumamente cuidadosas para asegurar que lleguen bien al consumidor final (Kader y Mitcham, 1997).

Los signos de deterioro de los productos precortados son muy variados. De acuerdo con Kader y Mitcham (1997), estos signos incluyen magulladuras o piezas rotas por un envase muy apretado o por mal manejo; marchitamiento, arrugas, encogimientos, reblandecimientos y flacidez, causados por un excesivo secado y la subsecuente pérdida de humedad; desarrollo de coloraciones por la pérdida de clorofila, oscurecimiento enzimático y desórdenes fisiológicos; presencia de líquido libre en los envases, lo cual está asociado por la incidencia de microorganismos; presencia de olores indeseables, como aromas de fermentación causado por la presencia de etanol y acetaldehído, aroma a sucio causado por bacterias o aroma rancio y añejo causado por hongos; por último, se pueden presentar bolsas infladas debido al exceso de gas resultado de la fermentación o descomposición del producto.

Otro aspecto importante dentro de la calidad de productos precortados es la calidad nutrimental de los mismos. Las lesiones en los tejidos de las plantas pueden ocasionar la pérdida de vitaminas, especialmente la hidrosoluble vitamina C. Todos los procedimientos en el proceso deben minimizar la pérdida del valor nutricional de los productos (Kader y Mitcham, 1997).

2.10 Sistemas de calidad organizacional

Dado que el cliente de las industrias de productos precortados espera encontrarse con un producto sano, fresco y nutritivo que le proporcione cierta conveniencia, es necesario que las organizaciones de este giro reúnan estándares altos de calidad y cuenten con una estrategia que se enfoque a resolver las necesidades del cliente.

Mitre (1990) desarrolló un modelo llamado “La Estrella de la Calidad”, el cual permite visualizar de manera integral o sistémica los varios aspectos que pueden intervenir en esta estrategia de calidad (figura 2).



Fig. 2. La Estrella de la Calidad (Mitre, 1990).

Este modelo describe a la organización como una interrelación de seis componentes orientados hacia un mismo objetivo: el **cliente**. En la base de la estrella se encuentra el *liderazgo*, el cual soporta a toda la organización; en la punta se encuentra el *recurso o factor humano*, es decir, todo el personal que labora en la organización incluyendo a la alta gerencia. Esta parte central (liderazgo y recurso humano) constituye la columna vertebral del Modelo.

En el lado izquierdo del modelo se localizan el *proceso* y el *producto*, los cuales son elementos que se desarrollan dentro de la organización; y por último, del lado derecho se encuentran los factores externos de la empresa: los *proveedores* y la *competencia*, Mitre (1990) explica que el funcionamiento de una organización se basa en el buen desempeño de estas seis partes fundamentales de forma sistémica.

A continuación se describen brevemente los nuevos paradigmas y algunas metodologías que apoyan a los seis componentes del Modelo de la Estrella de la Calidad (Mitre, 1990):

Liderazgo

Anteriormente se pensaba que el jefe era aquél que daba las órdenes, las cuales se debían obedecer. El liderazgo de hoy es aquél que debe conducir, apoyar y ayudar a que se den los resultados. Para que todo esto se lleve a cabo, el líder debe poner los medios para establecer la visión, misión, valores organizacionales y Política de Calidad en la empresa.

Recurso Humano

El recurso o factor humano constituye el capital más importante de la empresa. Es necesario capacitarlo y facultarlo para tomar sus propias decisiones. El 95% de los problemas se deben al sistema de trabajo y la gerencia es la responsable de hacer las mejoras. Anteriormente se pensaba que el recurso humano sólo valía por sus manos y sus pies y que la culpa de todos los problemas de calidad se debían al operador. Las técnicas y metodologías que apoyan al recurso humano son: la capacitación, el trabajo en equipo y la participación en las soluciones de la organización.

Producto

El diseño del producto se debe hacer en forma conjunta por varios departamentos de la empresa y se debe incluir de manera predominante la presencia de los requerimientos del cliente. La calidad del producto se hace en el diseño y en la fabricación del mismo.

Las técnicas que apoyan a este acercamiento con el cliente son (Mitre, 1990):

- Encuestas y entrevistas con el cliente.
- Diseño de experimentos.
- Despliegue de las Funciones de Calidad (QFD, por sus siglas en inglés).

El QFD es un método de diseño (Kaneko, 1994) o una herramienta de planeación (Eureka y Ryan, 1988) la cual traduce los requerimientos del cliente en requerimientos apropiados para una compañía en cada etapa del proceso de desarrollo del producto.

Según Eureka y Ryan (1988), el QFD contribuye a alcanzar el doble de productividad y calidad con la mitad de los costos en dos terceras partes del tiempo utilizado. Mitre (1990) menciona que esta técnica fue desarrollada para asegurar un diseño más rápido y eficiente. Una característica importante es que la metodología busca el diseño del producto como un todo, de tal manera que si hay conflicto de intereses entre varias características, se resuelva éste desde un inicio y no en el momento de producción, evitando desperdicios de dinero, tiempo y mano de obra.

Dentro de los beneficios de utilizar QFD para el desarrollo de un producto, se encuentran los siguientes (Kaneko, 1994):

- Visualización del proceso de diseño.
- Mejoramiento en la comunicación interfuncional de una organización.
- Acortamiento del tiempo de desarrollo del producto.
- Reducción de los problemas en el comienzo de desarrollo del producto.
- Desarrollo de técnicas ingenieriles.

Kaneko (1994), menciona que el QFD también proporciona beneficios para el departamento de aseguramiento de calidad de una empresa, dentro de los cuales destacan: el involucramiento de los sectores de planeación y diseño en actividades de aseguramiento de

calidad, la realización de actividades preventivas contra responsabilidad por el producto, realización de actividades contra fallas y construcción de un mejor sistema de aseguramiento de calidad.

Los pasos que implica esta metodología son los siguientes (Eureka y Ryan, 1988; Hauser y Clausing, 1988; Mitre, 1990):

- Determinar quiénes son los clientes de la empresa.

Para quién está destinado el producto: clientes internos y externos, distribuidores, consumidor final.

- Conocer las requerimientos del cliente.

Los requerimientos de calidad son conocidos en esta metodología como los “qués”. Para conocerlos se efectúan investigaciones de mercado o entrevistas con el que se ha definido como cliente de la organización.

- Realizar diagramas de afinidad con los requerimientos del cliente.

Agrupar por familias de requerimientos de calidad según sus semejanzas para abarcar con una sola solución varios “qués”.

- Convertir los requerimientos del cliente en requerimientos de diseño.

Encontrar qué acciones se necesitan llevar a cabo para resolver cada uno de los “qués”. Éstas constituirán los “cómos” de la metodología.

- Construir la Casa de la Calidad.

Elaborar una matriz, llamada Casa de la Calidad, en la cual los requerimientos del cliente (“qués”) se escriben en el eje vertical y los requerimientos de diseño (“cómos”) se escriben en el eje horizontal (figura 3).

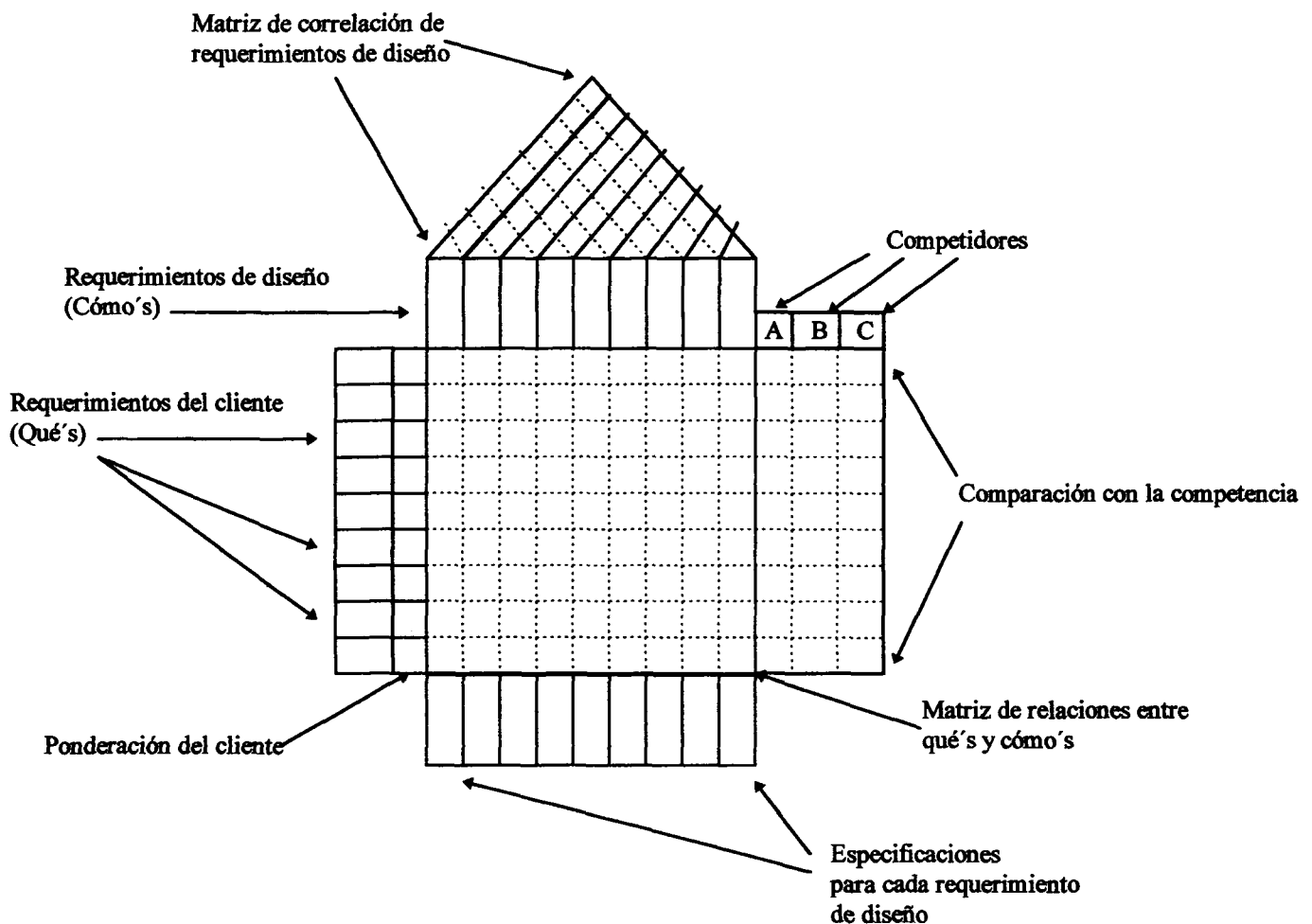


Fig. 3. La Casa de la Calidad (Adaptado de Eureka y Ryan, 1988).

En las intersecciones entre "qués" y "cómos", se deben poner símbolos los cuales indiquen relación fuerte, relación media y relación débil (generalmente se utilizan doble círculo, círculo y triángulo respectivamente). Donde no existe relación alguna el espacio se deja en blanco. Estas relaciones sirven para tomar decisiones según el orden de importancia asignado por el consumidor, para conocer cuáles son las actividades prioritarias en la planeación del producto.

Una vez establecidas las relaciones, en el eje horizontal, en la parte inferior de la matriz, se deben poner las especificaciones para cada cómo, es decir, datos medibles que

indiquen valores para cada requerimiento de diseño. Estos datos describen el estado óptimo del producto, es decir, cómo debe ser diseñado.

En seguida se deben establecer relaciones entre los mismos requerimientos de diseño, esto se hace construyendo una matriz de correlación triangular en la parte superior de los “cómos”. Se necesita establecer para cada combinación de requerimientos de diseño si existe una relación fuertemente positiva (doble círculo), positiva (círculo), negativa (cruz) o fuertemente negativa (doble cruz); con esto se pretende buscar si las acciones para cada uno de los “cómos” son sinérgicas o antagónicas entre ellas.

La última parte de la Casa de la Calidad, nombre tomado por la semejanza que tiene la matriz con una casa (Eureka y Ryan, 1988), es la comparación de los “qués” con los productos de la competencia. Esto se realiza estableciendo escalas numéricas, donde el número más alto indica que la competencia cumple muy bien con el requerimiento del cliente. De esta forma se compara el resultado de la competencia con la ponderación hecha por el consumidor con respecto a los “qués” y si el cliente considera un requerimiento como muy importante y la competencia salió mal evaluada (número bajo), se establece un área de oportunidad.

• Fases subsecuentes del QFD

Comúnmente, se utiliza esta metodología hasta la construcción de la Casa de la Calidad, de ahí se toman las acciones pertinentes para ofrecer al consumidor el producto que realmente desea encontrar, esto es, la planeación del producto. La metodología puede continuar con una serie de fases que involucran construir matrices similares para encontrar el despliegue de los materiales del producto, la planeación del proceso y la planeación de la producción.

En resumen, se puede decir que el QFD es una herramienta que se adapta a un ciclo de mejora continua de Deming (figura 4), en el cual, primero se obtiene lo que el cliente quiere, después se busca cómo lograrlo, posteriormente se define cuánto (especificaciones) para cada requerimiento de diseño, después se lleva a cabo la acción y finalmente se confirma con el cliente para ver si realmente es lo que necesitaba. En caso de que no se

satisfaga al cliente, se generan nuevas maneras (cómos) para lograr sus requerimientos (qués).

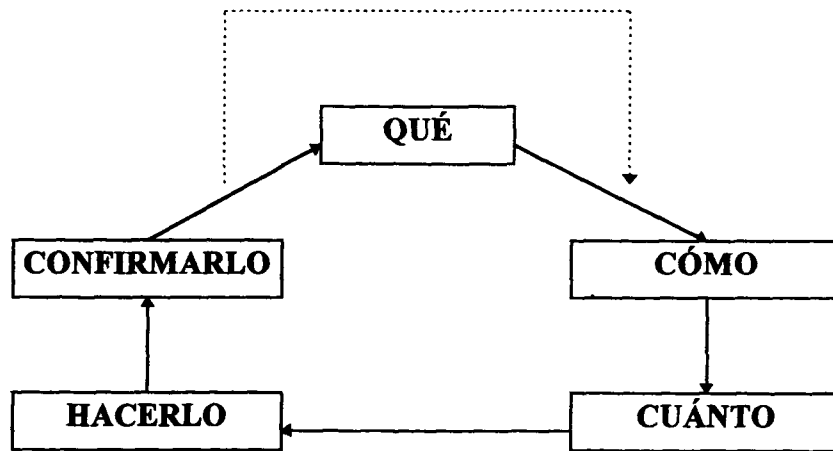


Fig. 4. Adaptación del ciclo de Deming para el QFD.

Proceso

A través de técnicas estadísticas es posible determinar cuáles son las variables que causan la mayor variación y por lo tanto se deben controlar; anteriormente se pensaba que no era posible medir la variación que producía cualquier proceso.

Las técnicas utilizadas actualmente para controlar y planear el proceso son (Mitre, 1990):

- Diseño ingenieril.
- Diseño de experimentos.
- Control estadístico del proceso.
- QFD (descrito en el punto anterior).

Proveedores

Las relaciones con proveedores deben tener permanencia a largo plazo, especificando calidad, oportunidad y precio razonable. El proveedor y la empresa deben trabajar juntos en sus procesos para establecer beneficio mutuo.

Competencia

El paradigma actual consiste en eliminar la “soberbia organizacional” y observar lo que la competencia directa o indirecta hace bien. De esta manera se pueden adoptar y mejorar los procesos y métodos de trabajo.

2.11 Sistemas de seguridad alimentaria

La seguridad alimentaria es crítica para alcanzar el éxito en la industria de precortados. Muchos proveedores están implementando programas de seguridad alimentaria, la Asociación Internacional de Productos Precortados (IFPA, por sus siglas en inglés), recomienda el uso de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) publicadas por la Administración de Alimentos y Drogas de Estados Unidos de Norteamérica (FDA, por sus siglas en inglés), así como el Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (HACCP, por sus siglas en inglés), el cual describe las prácticas apropiadas del personal y procedimientos con los cuales se eviten riesgos biológicos, químicos y físicos de los productos precortados (International Fresh-cut Produce Association -PMA, 1997).

Las Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) se dividen en cuatro partes (<http://vm.cfsan.fda.gov/lrd/part110t.txt>):

1) Definición términos relevantes, incluyendo puntos críticos de control y atiende las prácticas del personal. Para la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura es necesario cambiar la cultura de la gente, según lo prescribe la FDA con cuatro requerimientos principales:

- Cualquier persona con evidencia de enfermedad debe ser excluida de cualquier operación en la cual esté en contacto directo o indirecto con el alimento.
- Los empleados deben mantener su propia higiene, incluyendo el lavado de manos.
- Los empleados deben estar entrenados en prácticas sanitarias.
- Los empleados deben ser adecuadamente supervisados.

- 2) La segunda parte se encarga de las instalaciones, incluyendo el mantenimiento de pisos, construcción de planta física, adecuada iluminación y ventilación, control de plagas, uso y almacenamiento de sustancias químicas, abastecimiento de agua y plomería, y eliminación del desperdicio.
- 3) La tercera parte se enfoca a los requerimientos del equipo, incluyendo requerimientos de construcción, la facilidad de que el equipo se pueda limpiar y el mantenimiento del equipo.
- 4) La última parte se encarga de los controles de producción, los cuales especifican que el proceso debe ser conducido de forma sanitaria utilizando la precauciones adecuadas y controles para prevenir contaminación. Esta sección se enfoca a las áreas de producción (<http://vm.cfsan.fda.gov/lrd/part110t.txt>):
 - Recepción de materia prima, la cual debe ser inspeccionada para asegurar que no haya contaminación con microorganismos, toxinas, plagas u otros contaminantes. Adicionalmente los materiales deben ser almacenados de forma apropiada (temperatura, humedad, compatibilidad de almacenaje, distribución, etc.).
 - Operaciones de manufactura. En esta fase se mide el control para minimizar el crecimiento de microorganismos y promover la destrucción de patógenos. Estas mediciones incluyen no sólo el control de la temperatura sino también el control de los alimentos en el proceso, es decir el manejo óptimo de los alimentos para evitar agentes contaminantes; control del calentamiento y enfriamiento de alimento, y monitoreo de niveles de actividades de agua (agua disponible en cada alimento para el desarrollo de microorganismos).
 - Almacenamiento y transporte, en los cuales se requiere que el alimento esté protegido de contaminación microbiológica, química y física.

Como ya se ha mencionado, el Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control ha sido recomendado para productos precortados puesto que es la mejor opción para el control de microorganismos patógenos. Este sistema identifica puntos críticos de control concernientes a riesgos biológicos, químicos y físicos en un proceso de manufactura y durante el transporte; establece una guía para el control de estos riesgos. Para productos precortados se debe dar un control en el almacenamiento de materia prima, la temperatura de preenfriamiento antes del proceso abajo de 5°C, la remoción de materia extraña. La limpieza de producción antes y después del proceso con agua de saneamiento, la detección de metales en el producto terminado ,el almacenamiento del producto terminado y la temperatura durante el proceso (1-5°C). Si se controlan bien estos puntos críticos, se asegura prolongar la vida de anaquel de los productos (http://www.cdfa.ca.Gov/foodsafet/food_safety_info/fresh-cut_produce).

HACCP es un método lógico y simple, pero altamente específico en la prevención de riesgos, este sistema consta de una serie de 7 principios que describen de una manera sistémica la forma de alcanzar seguridad alimentaria. Estos principios se describen a continuación (International Fresh-cut Produce Association, 1996; Flickinger, 1999):

Principio 1: Asignación de riesgos asociados con el crecimiento, cosecha, materias primas e ingredientes, proceso, manufactura, distribución, mercadeo, preparación y consumo del producto.

Principio 2: Determinar puntos críticos de control (CCP, por sus siglas en inglés) requeridos para el control de los riesgos identificados.

Principio 3: Establecer límites críticos que deben satisfacer cada CCP identificado.

Principio 4: Establecer procedimientos de monitoreo de CCP.

Principio 5: Establecer acciones correctivas las cuales se deban tomar cuando exista una desviación identificada por el monitoreo de un CCP.

Principio 6: Establecer sistemas eficientes de recolección de datos que documenten el programa de HACCP.

Principio 7: Establecer procedimientos para verificar que el sistema HACCP está trabajando correctamente.

Las tres categorías de riesgos (microbiológicos, químicos y físicos) están asociados con la producción de precortados. El industrial no sólo debe familiarizarse con estos riesgos, sino que también debe estar alerta de las consecuencias que traería una contaminación microbiana hacia un consumidor. Debido a la importancia de seguridad alimentaria, un sistema HACCP bien planeado puede minimizar toda esta clase de riesgos (International Fresh-cut Produce Association, 1996).

Los riesgos microbiológicos y químicos ya se han explicado en cierta forma; sin embargo, hay que considerar también los riesgos físicos que se dan durante todas las etapas del proceso. El diseño de la planta debe ser eficaz para remover todos aquellos contaminantes que se generen o entren al proceso. Los riesgos físicos para productos precortados incluyen: objetos extraños como piedras, metales, insectos y madera traídos desde el campo; grapas de las cajas, alambres, grapas y plástico, generados en la recepción de materia prima; insectos, metales, suciedad y piedras, que pueden acompañar al alimento durante su distribución; vidrios, fragmentos metálicos, madera, tornillos, pintura y grasa, resultados del proceso y manejo; artículos propios del personal puestos en el producto intencional o accidentalmente; y por último, trazas de soldadura, herramientas y falta de limpieza por inadecuados procedimientos de mantenimiento (International Fresh-cut Produce Association, 1996).

La IFPA(1996), sugiere una guía para diseñar un programa específico de HACCP para este tipo de productos, ésta consta de 11 pasos, los cuales se exponen a continuación:

1. Designar a una persona responsable para el plan de HACCP y miembros del equipo.
2. Lista de productos meta, describir cada uno, listar materias primas e ingredientes y preparar un diagrama de flujo preliminar.
3. Documentar el análisis de riesgos asociado con los productos meta, sus ingredientes y sus riesgos en la cadena entera del alimento (Principio 1).
4. Desarrollar diagramas de flujo individuales para cada producto de tal forma que se documente la localización y tipo de CCP para identificar los riesgos (Principio 2).

5. Documentar descripciones de cada CCP, incluyendo el tipo de riesgo, procedimientos o procesos para controlar el riesgo y definición de los límites críticos o tolerancias que aplican a cada CCP (Principios 2 y 3).
6. Documentar procesos de monitoreo para los CCP y límites críticos, frecuencia de monitoreo y persona(s) responsable(s) para cada actividad específica (Principio 4).
7. Documentar procesos de desviación para cada CCP que especifiquen la acción que se debe llevar a cabo si el monitoreo determina que está fuera de control. La acción debe incluir todo aquello que corrija peligros para la salud y no afecte al producto (Principio 5).
8. Desarrollar y documentar un sistema de recolección de datos para HACCP utilizando el principio 6. Designar para este propósito a gente calificada por la compañía para administrar y registrar información.
9. Desarrollar un documento de procedimientos de verificación basándose en el principio 7. Designar personas responsables que lleven a cabo la verificación y que no estén involucradas con el sistema de HACCP.
10. Documentar procedimientos de revisión y puesta al día para el programa de HACCP, por si en algún momento existe un cambio en los ingredientes, condiciones de manufactura, evidencia de un nuevo riesgo potencial, o alguna otra razón que pueda afectar la seguridad del producto.
11. Consultar con agencias regulatorias apropiadas con respecto a la intención de la compañía de desarrollar un plan de HACCP e involucrar a la agencia en el desarrollo e mismo para que lo apruebe.

2.12 Regulaciones para productos precortados

En Estados Unidos existen algunas agencias regulatorias que influyen en los productores de precortados. Los productos de importación a los Estados Unidos regulados por la FDA, están sujetos a inspección. Los embarques que no cumplan las leyes y regulaciones son detenidos, y deben confinarse, destruirse o re-exportarse. La Asociación Federal de Alimentos, Drogas y Cosméticos (FD&C, por sus siglas en inglés) prohíbe la distribución en los Estados Unidos, o importación, de aquellos artículos adulterados o sin

marca. Los productos adulterados se refieren a defectuosos, inseguros o producidos en condiciones no higiénicas. Cualquier acción tomada por la FDA debe estar basada en hechos científicos que la puedan defender en la corte. La Organización Americana de Química Analítica (AOAC, por sus siglas en inglés) tiene una guía de procedimientos científicos reconocidos (International Fresh-cut Produce Association, 1996).

La etiqueta de los productos requiere que contenga lo siguiente (International Fresh-cut Produce Association, 1996):

- a) El nombre, dirección, estado y código postal del productor, empacador o distribuidor.
- b) Un valor exacto del contenido neto del producto envasado.
- c) El nombre común o usual del alimento.
- d) Los ingredientes del alimento.
- e) Información nutrimental.

Los requerimientos de los productos precortados para su venta al menudeo siguen esta misma norma de etiquetado, no importa que sean mezclas de frutas u hortalizas, la información que se da es del producto completo, además, si el producto trae consigo otro producto adicional como un aderezo o pan frito, se debe dar información del producto extra (International Fresh-cut Produce Association, 1996).

El Departamento de Agricultura de los Estados Unidos (USDA, por sus siglas en inglés), establece un lenguaje comúnmente aceptado para facilitar el mercado de frutas y hortalizas. Los estándares son voluntarios y son utilizados para determinar la calidad del producto y el valor final. Debido a la variedad de productos precortados que son únicos de cada productor, poner un grado o estándar no es aplicable, para llevar a cabo una inspección en productos precortados, la USDA escribió instrucciones que proporcionan medidas consistentes en los Estados Unidos. Estas instrucciones engloban tamaño del producto por métodos de muestreo únicos de defectos en los productos, condiciones del envase, medición de temperatura y otras condiciones de calidad que se consideran en la inspección (International Fresh-cut Produce Association, 1996).

La Administración Ocupacional de Seguridad y Salud de los Estados Unidos (OSHA, por sus siglas en inglés) establece unos principios aplicables a la industria de precortados. Según la OSHA primero debe efectuarse una actitud por parte de la alta gerencia que refleje seguridad y salubridad para sus empleados; se debe dar lugar al análisis de riesgos, se deben controlar y prevenir; debe existir un adecuado entrenamiento para los empleados y todo el proceso se debe documentar (International Fresh-cut Produce Association, 1996).

La Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos (EPA, por sus siglas en inglés) se encarga de la regulación de desperdicios, ya sean sólidos, líquidos o gaseosos. En la industria de precortados existen dos tipos de desperdicios, con los cuales los productores deben estar alerta en el curso de sus actividades normales (International Fresh-cut Produce Association, 1996):

a) Desperdicio de riesgo.

Todos los generadores de desperdicio requieren por ley la identificación y evaluación de sus desperdicios para saber si son o no riesgosos. Existen dos formas en que los desperdicios sólidos pueden ser de riesgo: 1) si el desperdicio está citado como de riesgo por listas regulatorias y 2) si el desperdicio falla una prueba característica. Las cuatro características que describen a un desperdicio de riesgo son: su inflamabilidad, corrosividad, reactividad y toxicidad.

b) Aceite en uso.

El aceite es utilizado en la industria con varios fines, los cuales incluyen lubricación, metalmecánica y enfriamiento. Después de su uso, los aceites son guardados para un uso posterior o quemado con fines de combustible, donde no se considera residuo de riesgo. El principal impacto del uso del aceite en la regulación es la emisión de los constituyentes en el aire durante la conducción.

El personal bien entrenado es una herramienta eficiente para evitar la acumulación, mal manejo y generación innecesaria de este tipo de desperdicios.

2.13 Productos precortados de nopal verdura

Como ya se ha mencionado, una alternativa para el manejo poscosecha del nopal es su venta como verdura precortada. Aunque no existe mucha información acerca de este tema, algunos aspectos tecnológicos se han comenzado a evaluar (Trachtenberg y Mayer, 1982; Cámara-Cabrales et al., 1990; Rodríguez-Félix y Soto-Valdez, 1992; citados por Corrales, 1997). Actualmente algunas empresas en el norte del país y en el Estado de México, se dedican a la producción de “nopalitos” precortados. Las presentaciones varían de acuerdo a las exigencias de los puntos de venta. Puede ser picado en cuadros aproximadamente de 1 cm por 1 cm, o bien en rajadas o pencas. En todos estos productos se eliminan las espinas y se envasan en bolsas de polietileno. Generalmente la producción se hace de forma manual, aunque últimamente se están buscando nuevas alternativas tecnológicas que automaticen más el proceso, como en el diseño de desespinadoras mecánicas (Pérez, 1998).

[El producto precortado de nopal es más perecedero que la materia prima intacta. Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa (1998) mencionan que la vida útil de los nopales precortados es de 1 a 2 días a 20°C. Temperaturas más bajas de almacenamiento, como 5°C, incrementan la vida útil a más de 7 días.] Los principales problemas encontrados en este producto son el oscurecimiento en las superficies de corte, pérdida del mucílago y cambio de color de la superficie de verde brillante a verde-café, lo cual da una apariencia a cocinado.

El lavado, desespinado y corte de las pencas de nopal, incrementan la pérdida del mucílago. El envasado al vacío para este producto no incrementa la vida útil a condiciones de refrigeración (Rodríguez-Félix y Soto-Valdez, 1992, citado por Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa, 1998). Para optimizar la vida útil de nopal precortado, Rodríguez-Félix y Villegas-Ochoa (1998) recomiendan mantener las superficies de corte limpias y secas, así como almacenar y manipular a bajas temperaturas. La comercialización de los “nopalitos” en Estados Unidos está restringida principalmente al suroeste. En la década de los ochenta, en Arizona, California y Texas se consumieron 400 ton al año. La venta se incrementa durante la cuaresma. En Estados Unidos, casi todos los “nopalitos” se importan de México y los consumen gente de ascendencia mexicana, aunque se está incrementando su popularidad en otros grupos (Nobel, 1998).

3. METODOLOGÍA

3.1 Diagnóstico de la producción de nopal como materia prima para la empresa bajo estudio

Se realizó una visita a la zona de las nopaleras en la región de Llera, Tamaulipas, la cual sirvió para familiarizarse con las características de la materia prima antes y después de la cosecha. Se recolectaron datos referentes a las variedades cultivadas en la zona, características del cultivo, la cosecha y el manejo poscosecha.

3.2 Diagnóstico del sistema de calidad actual de la empresa y desarrollo de áreas de oportunidad

Para conocer la situación actual de la organización se tomaron en cuenta los seis componentes organizacionales del Modelo de la Estrella de la Calidad (Mitre, 1990), el cual se muestra en la figura 4 en la sección 2.10 de la revisión de literatura. Para lograr este objetivo se realizaron algunas entrevistas con la gerencia alta y media de la empresa y se cubrieron los siguientes aspectos de los seis componentes organizacionales:

Liderazgo

- Misión
- Visión
- Valores
- Política de Calidad
- Despliegue

Recurso Humano

- Capacitación
- Facultamiento (“empowerment”)
- Trabajo en equipo
- Capacidad para resolver problemas
- Ambiente de trabajo
- Nivel de satisfacción de trabajo

- Condiciones físicas del trabajo
- Incentivos y premios
- Retroalimentación y comunicación
- Rotación y retención de personal de valor agregado

Producto

- Necesidades del cliente
- Producto
- Diseño del producto
- Identificación y adecuación a las necesidades del cliente
- Evaluación de la calidad del producto
- Calidad en el servicio

Proceso

- Definición del proceso
- Procesos esenciales
- Procesos de apoyo
- Cadenas cliente - proveedor internos y externos
- Diseño del proceso
- Monitoreo y control del proceso
- Evaluación del proceso
- Consideraciones de mejora del proceso

Proveedores

- Proveedores
- Intermediarios
- Selección de proveedores
- Diseño del producto en conjunto con proveedores y programa de mejora
- Trabajo conjunto para mejora de la calidad, oportunidad y costo

Competencia

- Competencia directa e indirecta
- Ventajas competitivas propias
- Ventajas competitivas de la competencia
- Comparación referencial (“benchmarking”)

Una vez conocida la situación actual de la organización se evaluaron las áreas de oportunidad encontradas en el diagnóstico de la siguiente manera: para cada una se detectaron soluciones que fueron evaluadas de forma muy general desde los puntos de vista tecnológico, operativo y económico; bajo estos criterios y las limitaciones económicas actuales de la empresa se eligió la propuesta de solución más congruente para cada área de oportunidad.

Después de evaluar cada una de las áreas de oportunidad para el proceso productivo, se hicieron recomendaciones generales acerca del sistema de calidad actual de la organización. Las soluciones a cada punto de mejora se dejaron a nivel propuesta, ya que su implementación no es objetivo del presente trabajo.

3.3 Conocimiento de las necesidades del consumidor final

Para conocer las características de calidad que requiere el cliente final para el producto de nopal precortado se realizaron los siguientes pasos:

3.3.1 Grupo de expertos de opinión

Se realizaron cinco entrevistas de voz a voz con amas de casa de poder adquisitivo estable y cinco con amas de casa de clase social con carencias económicas, ambas eran consumidoras de nopal y se les pidió que enumeraran los requerimientos de calidad esperados para el siguiente producto: “Producto de nopal fresco embolsado y listo para consumirse en crudo o para cocinarlo”. Para que quedara claro de qué producto se trataba se les mostró el envase que actualmente maneja la empresa. Después se agruparon los requerimientos de calidad descritos en familias de elementos de calidad.

Las respuestas de grupos de expertos de opinión de las dos clases, se utilizaron para conocer los elementos de calidad esperados en el producto y con ellos poder elaborar la encuesta que se aplicó en los centros comerciales o puntos de venta.

3.3.2 Diseño y aplicación de encuesta en puntos de venta

Se diseñó una encuesta que cubriera los criterios encontrados en los dos grupos de expertos de opinión anteriores.

Se aplicaron 40 encuestas “cara a cara” en un centro comercial de estatus alto (HEB Contry) y 40 encuestas en un centro comercial más popular (Soriana Contry) y se analizaron los datos.

Esta encuesta constituyó un método cualitativo que permitió obtener información relevante sobre las preferencias del consumidor para ser aplicadas al proceso productivo de la empresa. Los lineamientos fueron los siguientes:

- Se preguntó sobre hábitos de consumo.
- Se preguntó la preferencia en cuanto a elementos de calidad encontrados en los grupos de expertos de opinión de las dos clases sociales.
- Se procuró utilizar preguntas cerradas que facilitaran la codificación de las respuestas.
- Las preguntas numéricas se establecieron por rangos, para facilitar las respuestas al consumidor.
- El cuestionario fue previamente probado para poder determinar si las preguntas estaban claras y si las expectativas de la investigación se cumplían. Para lograr esto, se realizaron 5 encuestas en cada centro comercial y se hicieron los ajustes convenientes.
- No hubo degustación del producto, sólo se mostró; de esta forma se logró minimizar la subjetividad que podrían haber causado algunas preguntas.
- Sólo se encuestaron a personas del sexo femenino que se encontraban efectuando sus compras en el área de frutas y vegetales de los dos centros comerciales.

- La encuesta fue del tipo administrada, esto es, el investigador realizó las preguntas y él mismo llenó los datos, el consumidor únicamente respondió las preguntas de forma oral.
 - Se entrevistó a consumidores reales de nopal en cada centro comercial; sin embargo, no se descartaron aquellas encuestas de personas que no consumen nopal, puesto que se consideran consumidores potenciales del producto.
- La encuesta se muestra en el anexo 1.

Para analizar y codificar la información de las encuestas se utilizó el paquete computacional SPSS para Windows, de tal forma que se pudieron obtener frecuencias y correlaciones entre las respuestas del cuestionario.

3.4 Conocimiento de las necesidades del cliente distribuidor.

3.4.1 Entrevista “cara a cara” con personal de supermercados

Se realizó una entrevista “cara a cara” con personal de piso de los supermercados mencionados anteriormente, ya que esta gente es la que está en contacto directo con el producto y conoce su comportamiento en anaquel.

Los entrevistados describieron los requerimientos de calidad esperados en el producto así como el tiempo de vida útil que requieren para poder comercializar el nopal precortado. Los requerimientos de calidad encontrados en estas entrevistas, se unieron a los requerimientos de las amas de casa de los dos supermercados; después se procedió a realizar un Despliegue de Funciones de Calidad.

3.5 Despliegue de las Funciones de Calidad (QFD, por sus siglas en inglés)

El procedimiento usado es el que se explica en la sección de sistemas de calidad organizacional (2.10) de la revisión de literatura.

Para abarcar la metodología se tomaron en cuenta las siguientes consideraciones:

- Aunque en el presente trabajo están considerados el cliente final, el cliente distribuidor, el recurso humano (como cliente interno de la organización) y el cliente gobierno; para efectos del QFD, sólo se tomaron en cuenta el cliente final y el cliente distribuidor.

- Los requerimientos del cliente final se encontraron en las encuestas realizadas en los dos supermercados; mientras que los requerimientos del cliente distribuidor fueron detectados en las entrevistas realizadas al personal de piso (área de frutas y hortalizas) de los supermercados.

- Se determinó cómo lograr cada requerimiento del cliente por separado y después se procedió a colocar los “cómos” en la matriz de la Casa de la Calidad que se muestra en la figura 3.

- Los requerimientos del cliente (“qués”) fueron escritos en la matriz, listados según los diagramas de afinidad realizados, que al quedar agrupados, establecieron áreas importantes visibles en la matriz según la relación con los requerimientos de diseño.

- La ponderación de requerimientos del cliente se hizo a través de un grupo de expertos de opinión de 10 miembros, los cuales evaluaron cada requerimiento utilizando una escala no lineal (con un sesgo positivo hacia lo más importante) con el fin de determinar de todos los requerimientos los que realmente eran importantes y de esta forma poder enfocarse a ellos para el diseño del producto. La encuesta aplicada se muestra en el anexo 2.

- La comparación con la competencia la realizó el mismo grupo de expertos de opinión, a los cuales se les mostró nopal cortado en cuadritos proveniente de un puesto de la calle y nopal cortado en cuadritos comprado en el supermercado. Cabe mencionar que ambos productos de la competencia por definición no son precortados, ya que hace falta lavarlos y desinfectarlos, pero son considerados como competidores puesto que sustituyen al producto precortado sujeto a investigación en esta tesis.

- La escala de evaluación de la competencia fue del 1 al 5; se pidió a los miembros del grupo que compararan cada producto competidor con respecto a cada requerimiento del

cliente (“qués”) y que calificaran con un número mayor cuanto más se apegaran. La encuesta aplicada se muestra en el anexo 3.

- Para algunos de los requerimientos de diseño no existían especificaciones, ya que uno de los objetivos de la tesis fue encontrar esas especificaciones, por lo cual en la Casa de la Calidad construida aquí, algunas sólo son nombradas como “Diseño de Experimentos” (DEX). Después de haber realizado la experimentación en laboratorio, las especificaciones de la Casa de la Calidad fueron completadas.

- La metodología se queda hasta la construcción de la Casa de la Calidad, dado que dentro del alcance de esta tesis, sólo se considera el diseño del producto en base a las características de calidad requeridas por el cliente.

3.6 Conocimiento de las necesidades del proceso

Una vez realizado el Despliegue de las Funciones de Calidad para el cliente final, se identificaron los ajustes que debe tener el proceso para poder proporcionar las características de calidad que el cliente desea. Para realizar el trabajo en laboratorio se tomó en cuenta experimentación preliminar hecha en el ITESM, Campus Monterrey, para la empresa bajo estudio.

El trabajo constó de los siguientes pasos:

3.6.1 Establecimiento de la vida útil esperada para el producto de nopal precortado.

Se buscó una vida útil que satisficiera tanto a la empresa bajo estudio como al distribuidor y cliente final. Para esto se sumó el tiempo que espera el producto terminado en la planta productora, con el tiempo estimado por el cliente distribuidor en el grupo de expertos de opinión y el tiempo de vida útil esperado más solicitado por las amas de casa entrevistadas en los dos centros comerciales.

3.6.2 Análisis de materia prima.

Con el objeto de tener un patrón de referencia del nopal fresco se realizó un análisis de materia prima con las tres variedades de nopal, las que fueron proporcionadas por las

personas que producen nopal en la región de Llera, Tamaulipas, en conjunto con la Universidad Autónoma de Tamaulipas. Las tres variedades utilizadas fueron: Villanueva e Italiano, pertenecientes al género *Opuntia* y Nopal Imperial o Huasteco, perteneciente al género *Nopalea*. Las siguientes variables fueron medidas:

1. **Textura:** se realizó con el equipo Texture Analyser modelo TA-XT2i, de la marca Stable Micro Systems. La prueba consistió en un ensayo de compresión - extrusión por medio de la célula de Kramer y el conjunto de cinco cuchillas. Se colocaron 30 g de nopal cortado en cuadros de aproximadamente 1 x 1 cm en el interior de la célula y se accionó el equipo a una velocidad de 7 mm/s (anexo 4). Se registró el pico máximo de fuerza.

2. **Color:** se realizó con un colorímetro Minolta modelo CR-300 en el espacio de color CIE $L^*a^*b^*$ y una fuente de luz D_{65} . El equipo estaba multicalibrado con los cerámicos de Minolta de color blanco y verde. La prueba consistió en realizar tres disparos en el nopal cortado en cuadros de aproximadamente 1 cm x 1 cm y acomodado de tal forma que no tuviera espacios libres (anexo 5). Todas las mediciones se efectuaron a través de un cristal de baja reflectancia patentado por Minolta, con el objeto de uniformizar la superficie de la lectura así como sostener la muestra y proteger el equipo. Después se promediaron todos los valores de L^* , a^* y b^* para cada tratamiento.

3. **Tono:** Una vez obtenidos los valores de L^* , a^* y b^* con el colorímetro, se procedió a calcular el tono con la fórmula: $\text{tono} = \arctan(b/a)$ (Minolta Camera Co., Ltd, 1988).

4. **pH:** para medir el pH se utilizó un potenciómetro manual calibrado marca Cole Parmer modelo pHTestr 3 introduciéndolo en nopal molido.

5. **Acidez:** cada muestra de nopal cortado se molió en una licuadora y se filtró con una manta hasta obtener 2 ml de filtrado, el cual se introdujo en un matraz, al cual se le agregaron 2 ml de agua destilada y 2 gotas de fenolftaleína como indicador. La mezcla se tituló con NaOH 0.1N y el resultado de acidez se expresó en miliequivalentes de ácido por 100 ml de filtrado de nopal.

Las determinaciones de todas las variables se realizaron por triplicado para cada variedad y los resultados se promediaron.

3.6.3 Diseño experimental

Se realizó un arreglo ortogonal de 3 niveles y 6 factores (Taguchi, et al., 1987), los cuales se muestran en el cuadro XVIII.

CUADRO XVIII
Factores y niveles del diseño experimental

FACTORES	NIVELES
1. Variedad de nopal	Variedad I: Villanueva Variedad II: Italiano Variedad III: Imperial
2. Material de envase	Material I: Polietileno de baja densidad monocapa.* Material II: Multicapa de poliolefina PD-961 EZ** Material III: Multicapa CP-9250**
3. Cloruro de calcio	Concentración I: 0% Concentración II: 0.05% en peso de nopal precortado. Concentración III: 0.1% en peso de nopal precortado.
4. Ácido cítrico	Concentración I: 0% Concentración II: 0.25% en peso de nopal precortado. Concentración III: 0.5% en peso de nopal precortado.
5. Ácido ascórbico	Concentración I: 0% Concentración II: 0.1% en peso de nopal precortado. Concentración III: 0.2% en peso de nopal precortado.
6. Conservador	Conservador I: Ninguno Conservador II: Citricidal 260 ppm en peso de nopal. Conservador III: Ácido láctico 0.1% en peso de nopal.

* Proveedor: PLEMSA. Monterrey, N.L.

** Proveedor: CRYOVAC DE MÉXICO S.A. DE C.V. Monterrey, N.L.

Con el arreglo ortogonal aplicado, se definió un total de 18 tratamientos (anexo 6) los cuales incluyen una combinación de los diferentes niveles y factores. Se prepararon 4 muestras de cada tratamiento de tal forma que se pudieran medir los 4 últimos días de almacenamiento y se efectuó cada muestra por duplicado. El total de unidades experimentales fue de 144.

Las muestras se almacenaron de 1 a 4°C durante el tiempo estimado de vida útil y los cuatro últimos días se realizaron las determinaciones para las variables de textura, color, tono, pH y acidez tal y como se efectuaron para la materia prima.

Se determinaron las siguientes mediciones de variables adicionales:

1. Pérdida en peso: cada unidad experimental se pesó antes de envasarse y al final de cada día de almacenamiento utilizando una báscula granataria. De esta forma se pudo determinar cuánto perdió en peso cada muestra con respecto al primer día de almacenamiento.

2. Evaluación subjetiva de salida de mucílago (baba de nopal): Se definió la siguiente escala para la determinación subjetiva de la presencia de mucílago en cada unidad experimental:

- 4 *No hay mucílago*
- 3 *Mucílago escaso*
- 2 *Mucílago moderado*
- 1 *Mucílago excesivo*

3. Evaluación subjetiva de oxidación: Se definió la siguiente escala para la determinación subjetiva de la oxidación (oscurecimiento enzimático) en cada unidad experimental:

- 4 *No hay oxidación*
- 3 *Oxidación escasa*
- 2 *Oxidación mediana*
- 1 *Oxidación excesiva*

4. Evaluación subjetiva del aroma: Se definió la siguiente escala para la determinación subjetiva del aroma en cada unidad experimental:

- 3 *Aroma fresco*
- 2 *Aroma ligero a fermentación*
- 1 *Aroma a excesiva fermentación o putrefacción*

Aunque estas tres últimas evaluaciones se realizaron de manera muy subjetiva y sin validez estadística, se consideraron importantes debido a que constituyeron observaciones generales que involucran la apariencia general del producto, las cuales no siempre son reflejadas por mediciones objetivas.

3.6.4 Preparación de muestras

Antes de iniciar la fase experimental y con el objeto de eliminar el calor de campo, las tres variedades de nopal se almacenaron a 10 °C a una humedad relativa de 90-95% utilizando una cámara bioclimática.

El área de trabajo y refrigeradores fueron saneados con una solución de 5 - 10 ppm de cloro libre y se siguieron estrictas prácticas de manufactura e higiene.

Las pencas de nopal fueron seleccionadas evitando incluir unidades que estuvieran rotas o que tuvieran alguna enfermedad causada por hongos o insectos. Después se lavaron con esponja cuidadosamente bajo el chorro de agua potable para eliminar la tierra. Los cladodios se sanearon por inmersión en una solución de 150 ppm de cloro libre durante 15-20 min. Inmediatamente después se aclararon (enjuagaron) con agua purificada para eliminar el exceso de cloro.

Las pencas limpias y bien escurridas fueron desespínadas utilizando cuchillos de acero inoxidable previamente saneados (5 - 10 ppm de cloro libre) y enfriados a 4°C (anexo 7). Constantemente se cambiaron éstos por cuchillos nuevos que se encontraban en refrigeración en una solución de 5 - 10 ppm de cloro libre para evitar contaminación por utensilios.

Las pencas desespínadas se cortaron en cuadros pequeños (1 cm x 1 cm aproximadamente) utilizando cuchillos afilados y saneados. El nopal precortado se acomodó en camas de producto uniforme donde los cuadros estaban bien distribuidos. Después se aplicaron por aspersion los aditivos mencionados en el diseño experimental disueltos en la mínima cantidad de agua purificada (30 ml) (anexo 8) y se sometieron a un proceso de secado por ventiladores hasta que la superficie del producto se observara libre de agua (anexo 9).

Terminado el secado, se separaron lotes de aproximadamente 200 g de nopal calculando su peso exacto para poder llevar el registro de pérdida en peso. El producto se introdujo en las bolsas de plástico previamente saneadas y bien escurridas con una solución de 5 - 10 ppm de cloro libre y se almacenaron de 1 a 4 °C durante los días de vida útil esperada por el consumidor.

La temperatura del área de proceso fue en promedio de 25°C.

3.6.5 Análisis de datos

Se realizó un análisis de medias por variable medida (ver sección 3.5.3) para cada factor con su respectivo nivel y los mejores tratamientos fueron seleccionados considerando los criterios más deseados por el consumidor obtenidos en el Despliegue de las Funciones de Calidad.

3.6.6 Evaluación sensorial

Con el objeto de comprobar el diseño experimental así como corroborar el Despliegue de las Funciones de Calidad se elaboró una evaluación sensorial, en la cual se pretendió conocer el nivel de agrado (Pedrero y Pangborn, 1996) que el consumidor tiene para los tratamientos que resultaron del análisis de datos del diseño experimental.

A cada tratamiento se le determinaron los parámetros fisicoquímicos de pH, acidez, textura y color, para poder tener una medida objetiva.

Las muestras de 15 g se presentaron frías (recién sacadas del refrigerador a 4°C después del tiempo de vida útil) en envases pequeños de plástico. Se pidió a 100 consumidores que evaluaran por medio de escalas hedónicas estructuradas de 9 puntos los atributos de color, textura, aroma, sabor y apariencia general de cada tratamiento y que vaciaran sus observaciones en una encuesta (anexo 10).

En la misma encuesta se preguntaron las razones que tuvo el consumidor para elegir cada nivel de agrado, algunos datos demográficos y si estaría dispuesto a comprar el producto precortado que evaluó.

La prueba se realizó entre las 11:00 a.m. y las 4:00 p.m. con consumidores reales de nopal que no hubieran ingerido alimento por lo menos 1 hora antes. El área física se acondicionó para que cada encuestado estuviera en un cubículo separado de tal forma que su respuesta no influyera en la de los demás.

A cada consumidor se le proporcionó un vaso con agua para enjuagar su boca antes de probar el producto, también se les dio un vaso para expectorar la muestra. El área de preparación de muestras se encontró en un lugar separado al de la prueba sensorial.

Los resultados se analizaron como recomienda Pedrero y Pangborn (1996) para una prueba de nivel de agrado.

3.6.7 Propuesta para el proceso productivo

Una vez terminada la evaluación sensorial, se pudieron determinar los pasos del proceso productivo, ya que se aseguró que el producto realmente satisfizo las necesidades del consumidor.

3.7 Satisfacción de las necesidades del cliente salubridad.

Con el objetivo de satisfacer las necesidades de salubridad se diseñó un programa de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de control (HACCP, por sus siglas en inglés) aunado a un sistema de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM). Con la aplicación de este diseño, la empresa será capaz de proporcionar al consumidor final seguridad alimentaria evitando riesgos físicos, químicos y microbiológicos. Cabe mencionar que este diseño abarca únicamente al proceso productivo propuesto.

4. RESULTADOS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

4.1 Diagnóstico de la producción de nopal como materia prima para la empresa bajo estudio.

El día 27 de mayo de 1998 se efectuó la visita a las zonas nopaleras de los ejidos de la Libertad y el Peñón en el municipio de Llera, Tamaulipas. Esta zona abarca una superficie de 200 hectáreas y constituye una parte de la reserva ecológica de "El Cielo". En este lugar crecen de forma silvestre una gran variedad de árboles frutales como café, ciruela, mango, chote, tamarindo y durazno entre otros. Los agricultores de la región tienen sus propias huertas de nopal y forman una cooperativa para vender el producto a su consumidor principal: la empresa bajo estudio. A continuación se exponen algunos datos recabados durante la visita.

El nopal en tiempo de sequía se torna fibroso, tal y como se presenció durante el recorrido. La única variedad que se cultiva es la de nopal "Imperial" (*Nopalea nuda*). La siembra del nopal se efectúa enterrando las pencas "madre" a una distancia de 0.5 a 1 m entre planta y planta y 1.8 m entre cada "callejón". Para que se dé el primer corte pasan 8 meses desde la siembra. Según el Instituto de Investigaciones Forestales (1981), en diferentes plantaciones se han observado distancias de 4 m entre callejones y 2.5 m entre plantas. En huertos donde se utiliza maquinaria, se tienen distancias entre callejones de cuando menos 5 m y 3 m entre planta y planta.

El terreno donde se encuentran las nopaleras en la región de Llera generalmente es accidentado y la siembra de las plantas está a favor de la pendiente. Esto origina que en época de lluvias se erosione la tierra, se pierdan los nutrientes del suelo y no se aproveche el flujo de agua de forma conveniente. Se están empezando a sembrar huertas de nopal en contra de la pendiente del suelo de tal forma que el agua de lluvia se encharque entre los callejones y se evite todo lo anterior.

No se utiliza ningún fertilizante orgánico, y se están realizando estudios para determinar que aquellas zonas que ya han sido muy cultivadas, poseen o no el mismo valor nutrimental en el suelo que las zonas de huertas nuevas. También se está pensando la implementación de uso de composta producida con desperdicios de mango y del mismo nopal. Ganados y Castañeda (1996) mencionan que en la región de Milpa Alta se aplica

abono orgánico en grandes cantidades (30 a 40 cm) que generalmente se trata de estiércol de vaca, el cual se coloca someramente en el momento de la plantación y tapa casi por completo al cladodio; posteriormente se agrega cada seis meses, cada año o hasta casi dos años, y se aplica una capa gruesa antes de las lluvias según se necesite.

Tampoco se utiliza ningún herbicida, por lo que uno de los principales problemas que poseen los productores de Llera es que sus huertas se llenan de maleza, y ésta no es removida constantemente. De esta forma no se permite el flujo del aire y la incidencia de luz, esenciales para el buen desarrollo de la planta. La maleza no permite el brote del cladodio tierno, sin embargo, no mata al nopal, así que lo único que se requiere es eliminar la hierba.

En la región existen algunas plagas que afectan la siembra, las cuales se muestran a continuación:

- a) Cochinilla, o araña roja como le dicen los productores, que generalmente crece en épocas de sequía (mayo).
- b) Chapulín, o “chivita”, el cual se come el cladodio tierno en épocas de lluvia (agosto).
- c) Los productores llaman “mosca” a un insecto, de menor incidencia, el cual deposita un huevecillo que perfora el nopal, con lo que se generan malos olores. La época de aparición de este insecto es en tiempo seco.

No existe un control preciso de plagas, sin embargo, algunos productores queman la planta de tal forma que no se siga propagando la plaga de cochinilla. En Milpa Alta, según Granados y Castañeda (1996), para combatir las plagas se utiliza agua y jabón, agua con cal o se corta el pedazo afectado.

Otro problema en el cultivo es una mancha amarilla que forma una especie de costra en el nopal y seca los tallos, los cuales despiden un olor desagradable cuando están mojados. Los agricultores desconocen la causa de esta enfermedad; sin embargo, el Instituto Nacional de Investigaciones Forestales (1981), reporta esta enfermedad como ataque de chinche gris, la cual aparece en los meses en que se incrementa la temperatura afectando a plantas jóvenes.

Los principales animales depredadores de la planta son el venado cola blanca y el guajolote borrado silvestre, que bajan de forma eventual desde las montañas. En la región de Milpa Alta, las ardillas, ratas y pájaros se combaten con trampas o se matan con armas de fuego (Granados y Castañeda, 1996).

En los meses de diciembre a marzo, el nopal comienza a dar fruto que es una tuna de color verde a la cual no se le ha dado ninguna utilidad. Desde que brota el fruto se elimina, ya que ocupa el mismo lugar que ocuparía el cladodio tierno, es decir, mientras haya tuna, no hay cladodio.

La recolección del nopal se efectúa cuando el cladodio está tierno y tiene de largo entre 18 y 25 cm. Granados y Castañeda (1996) reportan que en la cosecha de Milpa Alta se seleccionan las pencas más grandes, de 20 a 25 cm. El cliente principal de la región de Llera pide los nopalitos de preferencia grandes y tiernos, puesto que les genera mejores rendimientos. En épocas de sequía, cuando el nopal está más fibroso, en el momento de separar el nopal de la penca madre éste puede sufrir algunos daños mecánicos, pues la fibrosidad hace que no se separe bien de la base del tallo.

Dado que el nopal es más ácido en las primeras horas del día, la cosecha se realiza a partir de las 10:00 a.m. que ya haya bajado la acidez. Dependiendo de la demanda del producto, se puede realizar durante todo el día la recolección, o simplemente una vez al día.

Como ya se ha mencionado, la cosecha se realiza de forma manual, dando un pequeño giro a la penca para facilitar su separación; a continuación las pencas se van acomodando en una caja de madera con forro de papel periódico hasta completar 20 kg aproximadamente (no se pesa). Una sola persona puede completar hasta 30 cajas en un período de 6 horas.

El nopal después se desespina de forma manual con unos cuchillos pequeños y no se coloca en refrigeración, aunque poseen equipo de enfriamiento, no cuentan con la capacidad de voltaje para conectarlo. La producción máxima, según los productores, se realiza en la Semana Santa, por su tradición de consumo. En los meses de febrero a marzo, la caja de 20 kg se cotiza en \$40.00, mientras que en los demás meses puede bajar hasta \$8.00.

Puesto que el mercadeo del producto se efectúa entre lunes y martes, el desespinado se lleva a cabo entre sábado y domingo.

La región de Llera, Tamaulipas posee una tierra muy rica y la producción de nopal es de buen rendimiento; sin embargo se poseen escasas prácticas de cultivo, y el éste es casi de recolección. Con mejores prácticas de cultivo, aumentaría la productividad y se alargaría la vida útil de las huertas.

4.2 Diagnóstico del sistema de calidad actual de la empresa bajo estudio y desarrollo de áreas de oportunidad

4.2.1 Liderazgo

La empresa bajo estudio es una organización netamente familiar. La visión, misión y valores de la organización no están documentados, sin embargo éstos se tienen claros y la alta gerencia los describe de la siguiente manera:

- **Visión**

“Tener una empresa procesadora de nopal fresco para el noreste de la República Mexicana y la frontera de la misma región”.

- **Misión**

“ Es una empresa procesadora de nopal, la cual garantiza entrega de producto durante todo el año, buen servicio, calidad y precios justos”.

- **Valores organizacionales**

Honestidad con el distribuidor y trato justo a sus empleados.

- **Política de calidad**

No existe, no está escrita.

Lo anterior se difunde a través de toda la organización mediante pláticas los días sábados, así como reuniones familiares.

4.2.2 Recurso Humano

Los familiares ocupan tres puestos gerenciales: gerente general, gerente de producción y mantenimiento de planta, así como gerente de promoción y ventas. Otro

miembro de la familia es el encargado de producir la materia prima en la región de Llera, Tamps., para abastecer a la empresa de nopal durante todo el año.

La gerencia alta y media se involucra en todas las etapas del proceso, a veces el excesivo trabajo ocasiona que ellos desempeñen cualquier operación necesaria para absorber la variedad del proceso.

Los empleados de línea trabajan dos turnos: día y noche. Existe convivencia, pues se realizan dos fiestas al año, la primera es el 10 de mayo para celebrar el día de las madres que trabajan en la empresa, en la cual se reparten regalos; la segunda fiesta es una posada en la cual también se involucra a los jefes de las tiendas.

El organigrama de la empresa se puede observar en la figura 5.

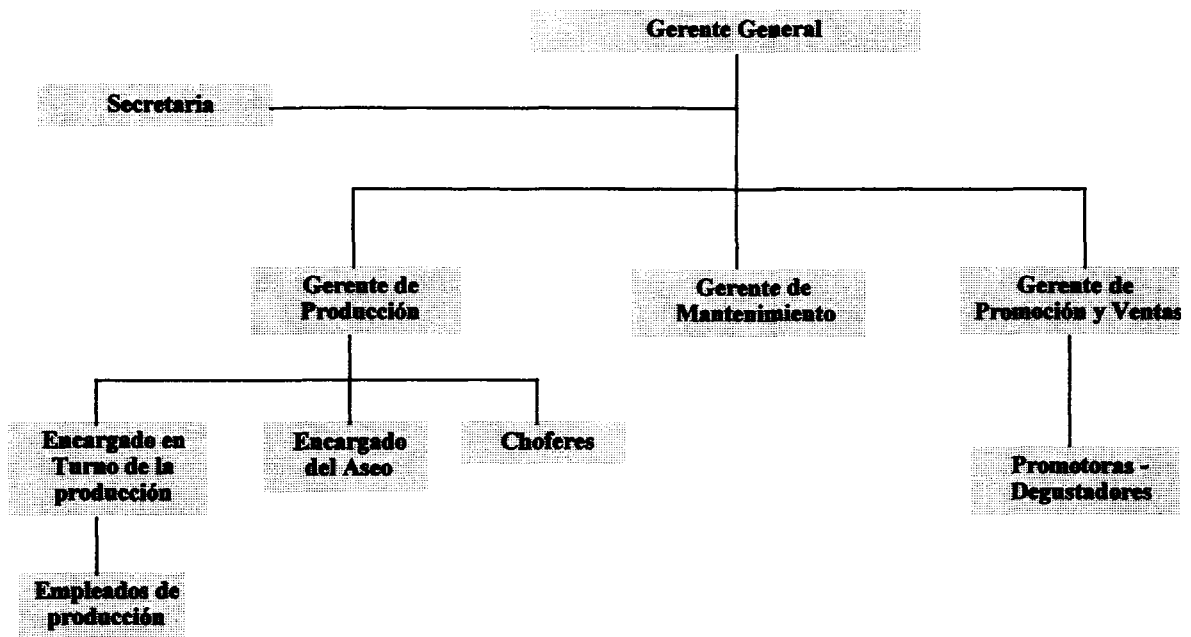


Fig. 5. Organigrama de la empresa bajo estudio.

La descripción de puestos en la organización es la siguiente:

- Gerente general: se encarga de las actividades concernientes a compras, pagos, contratación, ventas, presupuestos y créditos.
- Gerente de producción y mantenimiento de planta: encargado de la organización de turnos, producción, control de pedidos y mantenimiento de maquinaria.
- Gerente de promoción y ventas: realiza la función de ventas, supervisión, degustación en centros comerciales, visitas a los mismos y negociaciones con compradores.
- Empleados: gente de producción, degustadoras, choferes, gente de aseo, secretaria y encargados de turno.

En la empresa se cuenta con un total de 30 empleados; la toma de decisiones se lleva a cabo por la gerencia alta y media. A veces se realizan concensos familiares.

La alta gerencia reconoce que sus instalaciones actualmente son algo incómodas, que hace falta un comedor más grande y otro baño para poder tener uno de damas y otro de caballeros.

La rotación de empleados es alta, la gerencia explica que esto se debe a dos razones principales:

- Existe mucha competencia de fuentes de empleo a ese nivel.
- La gente no conoce el oficio de desespinar.

No existe un programa de capacitación definido, cuando llega un empleado nuevo, éste genera mucha merma en la producción. Se tiene la intención de elaborar un manual de funciones y descripción de puestos.

Los empleados recurren mucho a pedir ayuda a la alta gerencia, ya sea económica o por algún problema que surja durante sus actividades. Cierta personal está facultado para la toma de decisiones además de la gerencia alta y media, principalmente en los casos de control de pedidos o distribución del producto.

Existe una cultura de trabajo en equipo y debido al tamaño de la empresa, existe una mayor cercanía de los trabajadores. Los dueños siempre tratan de apoyar a los empleados en la medida de sus posibilidades. La seguridad de la planta es considerada deficiente según la alta dirección y actualmente están invirtiendo tiempo y dinero en lo concerniente a control de extinguidores, pintura de tuberías y cableado y el uso de botas. En cuestión de higiene, la empresa no tiene ningún problema, la administración se ha dedicado a mostrar a su gente la importancia que tiene la limpieza en el lugar de trabajo.

A los desespinares se les paga por kilogramo de nopal que limpien, mientras que los choferes tienen instituido un programa de incentivos por comisión sobre ventas.

4.2.3 Producto

La empresa maneja diferentes presentaciones de nopal precortado, las cuales son:

- Bolsa de 5 kg de nopal precortado a granel
- Bolsa de nopal precortado de 1 lb
- Bolsa de nopal entero “Cambray” de 1 lb
- Bolsa de nopal precortado en rajitas de 1 lb
- Charola de 500 g de nopal

En la actualidad la empresa piensa expandir su línea de productos “a lo ancho” con algunas otras verduras precortadas. Están en fase de prueba.

Los distribuidores lo único que piden para poder comprar su producto es que les surtan durante todo el año.

La empresa tiene el conocimiento por sondeos de que el cliente consume su producto de dos formas:

- Nopal licuado, se le atribuyen propiedades contra la diabetes, colesterol y enfermedades cardiovasculares.
- Nopal guisado, para lo cual se prefiere que sea verde claro, fresco y tierno.

Aunque se tiene el conocimiento de lo anterior, existe muy poca comunicación con el mercado meta. El producto se diseña hasta los requerimientos del cliente distribuidor, pero no con los del cliente final.

4.2.4 Proceso:

El proceso consiste en la transformación de cladodios de nopal en un producto precortado, para lo cual se realizan actualmente los siguientes pasos:

1. Recepción de materia prima.
2. Lavado y saneamiento manual.
3. Preenfriamiento a 5°C.
4. Desespinado manual.
5. Picado - cubicado con máquina de cuchillas afiladas.
6. Envasado con máquina envasadora.
7. Almacenamiento de producto terminado 6-8 h a 5°C.
8. Distribución en refrigeración (4 a 10°C).

Los procesos anteriores son considerados como esenciales, los cuales cuentan con procesos de apoyo de la administración, mantenimiento, capacitación y ventas (figura 6).

Para este proceso no existe un programa de monitoreo y control, las normas existen pero no están documentadas.

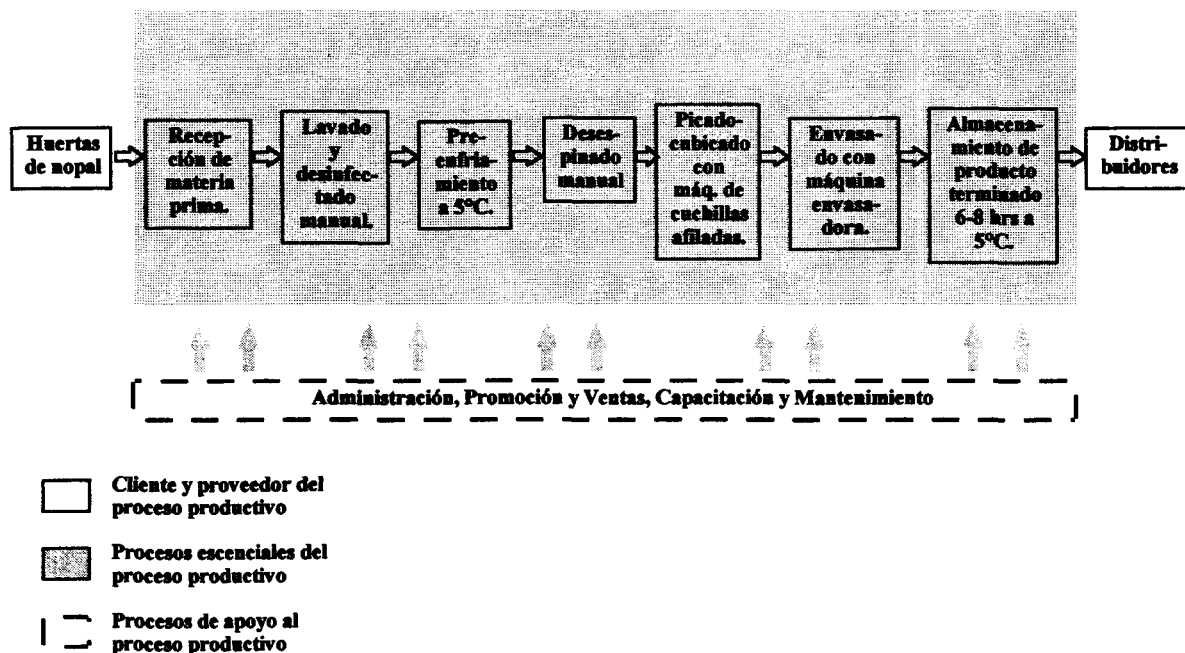


Fig. 6. Diagrama del proceso productivo de la empresa bajo estudio.

Se cuenta con dos maquinarias: una envasadora y una cortadora. Los procesos administrativos se llevan a cabo manualmente y aunque se tiene una computadora, ésta sólo se utiliza para imprimir formatos (facturas, órdenes de compra, etc.).

Como se mencionó en el apartado de recurso humano, cuando se incorporan empleados de piso nuevos a la empresa, se genera bastante desperdicio, ya que los procesos no están documentados, poca gente sabe el oficio y no se les involucra en el mismo.

4.2.5 Proveedores

Como ya se dijo, el único proveedor de la compañía es parte misma del negocio familiar, es productor de nopal en la región de Llera, Tamps. En caso de no tener producto, hace tratos con la cooperativa de la misma región para surtir a la empresa durante todo el año.

No existen políticas documentadas de proveedores, sólo se basan en la experiencia; sin embargo, el proveedor participa activamente en el diseño del producto.

4.2.6 Competencia

La alta dirección afirma que existen diversas ventajas competitivas con respecto a sus competidores directos, las cuales convierten a la empresa bajo estudio en líder en su área. Estas ventajas se presentan a continuación:

- Experiencia.
- Buen servicio de distribución.
- Buen precio.
- Calidad.
- Alta vida útil.
- Variedad de nopal preferida.
- Información al cliente por medio de volantes, recetas y atención telefónica.

La empresa está consciente de que la competencia tiene como ventaja principal su poder monetario. La empresa ha realizado comparaciones referenciales (“benchmarking”) en empresas de productos precortados, no precisamente de nopal, en las cuales se han generado ideas de cómo mejorar su producto y su proceso.

Es importante hacer notar que la competencia indirecta de la empresa puede ser todo aquel productor de frutas y hortalizas que puedan competir con los hábitos de consumo de nopal; sin embargo, el producto de la compañía bajo estudio tiene la ventaja de que ofrece facilidad para cocinar y ahorra tiempo al ama de casa. La principal ventaja de los productos de competencia indirecta es que pueden durar más al no haber sido cortados, esto si se les da un manejo poscosecha adecuado.

4.2.7 Desarrollo de áreas de oportunidad para el proceso productivo

De acuerdo al análisis realizado a la empresa bajo estudio, por medio del Modelo de la Estrella de la Calidad (Mitre, 1990), se identificaron las siguientes áreas de oportunidad que impactan al área productiva:

1. Instalaciones incómodas. La evaluación del área de oportunidad se puede ver en el cuadro XIX.
2. Tasa de rotación alta. La evaluación del área de oportunidad se puede ver en el cuadro XX.
3. Deficiente seguridad en la planta. La evaluación del área de oportunidad se puede ver en el cuadro XXI.
4. No existe un programa de monitoreo y control de calidad de la producción. La evaluación del área de oportunidad se puede ver en el cuadro XXII.
5. Se tienen devoluciones del producto (por calentamiento del mismo). La evaluación del área de oportunidad se puede ver en el cuadro XXIII.
6. Desconocimiento de Buenas Prácticas de Manufactura, así como riesgos al consumidor (en la producción de alimentos). La evaluación del área de oportunidad se puede ver en el cuadro XXIV.

CUADRO XIX .Evaluación de instalaciones no funcionales en la empresa bajo estudio como área de oportunidad

Problemas o áreas de oportunidad	Propuestas de solución	Evaluación tecnológica	Evaluación operativa	Evaluación económica
<p>• Instalaciones no funcionales. (hace falta un comedor más grande y otro baño para poder tener uno de damas y otro de caballeros, así como contar con temperatura de frío constante en todas las áreas de trabajo).</p>	<p>1) Cambio de ubicación de la planta con una nueva distribución (lineal), ya que las instalaciones actuales están adaptadas en una casa habitación.</p> <p>2) Cambio de "layout".</p>	<p>1) Se contaría con una mejor distribución del equipo y un mejor aprovechamiento de la cadena de frío para la conservación del producto alimenticio.</p> <p>2) Se aprovecharían al máximo las instalaciones actuales, incluyendo la refrigeración.</p>	<p>1) Se obtendría un mejoramiento de casi el 100% del flujo de material de un proceso a otro.</p> <p>2) Se mejoraría el flujo de material, con respecto al actual. Pues la planta se adaptó a la distribución de una casa de dos pisos.</p>	<p>1) Según los recursos disponibles de la empresa, a corto plazo no es viable invertir, pues se requiere parar la producción (ya que la producción actual del producto es diaria debido a que es un prod. alimenticio y no pueden almacenarlo más de 1 día).</p> <p>2) Actualmente sería lo mejor. Sólo se invertiría en el cambio de ubicación del área de lavado, distribución interna del cuarto de enfriamiento (separar producto terminado, producto en proceso y materia prima), cerrar un área abierta (área de recepción de materia prima). Construir a un lado del único baño existente, otro para poder separar damas de caballeros.</p>

CUADRO XX. Evaluación de tasa de rotación alta en la empresa bajo estudio como área de oportunidad

Problemas o áreas de oportunidad	Propuestas de solución	Evaluación tecnológica	Evaluación operativa	Evaluación económica
<ul style="list-style-type: none"> • Tasa de rotación alta 	<p>1) Documentar procesos productivos y desplegarlos a los empleados para que se involucren en la empresa y no exista abandono de puestos.</p> <p>2) Integración del personal por medio del desarrollo de multihabilidades y facultamiento.</p>	<p>1) Se garantizaría el uso adecuado del equipo.</p> <p>2) Los empleados se involucrarían en dar mantenimiento al equipo, y tomar decisiones.</p>	<p>1) Se reducirían las actividades de contratación de personal. Los empleados se involucrarían en el oficio.</p> <p>2) Se eliminaría la función de supervisión, la cual la desempeñarían los mismos empleados.</p>	<p>1) Se reduciría el nivel de desperdicio (merma de nopal) al proporcionarle el proceso documentado al nuevo personal.</p> <p>2) Reducción de costos en mantenimiento, eliminación costos por ausentismo y eliminación de costos de supervisión.</p>

CUADRO XXI. Evaluación de deficiente seguridad de la planta en la empresa bajo estudio como área de oportunidad

Problemas o áreas de oportunidad	Propuestas de solución	Evaluación tecnológica	Evaluación operativa	Evaluación económica
<ul style="list-style-type: none"> • Deficiente seguridad en la planta 	<p>1) Adquisición del equipo de seguridad de acuerdo a las Normas Oficiales Mexicanas para la planta y capacitación.</p>	<p>1) Se protege el equipo y la infraestructura de la empresa.</p>	<p>1) Al proteger al empleado y las instalaciones, se evitan paros productivos prolongados.</p>	<p>1) Se evitan costos por accidentes, pago de multas y deterioro de las instalaciones. Al evitar paros productivos se evita el desperdicio de materia prima.</p>

CUADRO XXII. Evaluación de la falta de un programa de monitoreo y control de calidad en la producción en la empresa bajo estudio como área de oportunidad

Problemas o áreas de oportunidad	Propuestas de solución	Evaluación tecnológica	Evaluación operativa	Evaluación económica
<p>• No existe un programa de monitoreo y control de calidad de la producción.</p>	<p>1) Implementar un programa de monitoreo y control manual.</p> <p>2) Implementar un sistema de información para monitorear y controlar la calidad en producción.</p>	<p>1) Se obtiene un mayor provecho de la capacidad del equipo, detectándose las causas de variación.</p> <p>2) Con el sistema de información se tiene un eficiente proceso de toma de decisiones de la producción.</p>	<p>1) Se genera mucho papeleo, pero se mejora el proceso productivo.</p> <p>2) Se agilizan los procesos y se evita el desperdicio al tener tiempo suficiente para implementar cambios.</p>	<p>1) A corto plazo es económico, a largo plazo genera ineficiencias en el manejo de información.</p> <p>2) A corto plazo es costoso, pero a largo plazo se recuperaría la inversión del equipo tecnológico.</p>

CUADRO XXIII. Evaluación de devoluciones del producto en la empresa bajo estudio como área de oportunidad

Problemas o áreas de oportunidad	Propuestas de solución	Evaluación tecnológica	Evaluación operativa	Evaluación económica
<p>• Se tienen devoluciones del producto.</p>	<p>1) Hacer cambios en el "layout" actual y la secuencia de producción.</p> <p>2) Aumentar capacidad de refrigeración.</p>	<p>1) Se aprovecharía al máximo las instalaciones actuales, incluyendo la refrigeración (aunque no cubriría todo el proceso productivo).</p> <p>2) Se tendría una refrigeración completa, manteniendo las características del producto fresco.</p>	<p>1) Se optimiza el uso de áreas refrigeradas Se mejoraría el flujo de material, con respecto al actual. Pues la planta se adaptó a la distribución de una casa de dos pisos.</p> <p>2) Se optimiza 100% la cadena de frío.</p>	<p>1) Actualmente sería lo mejor. Sólo se invertiría en el cambio de ubicación de algunas áreas y redefiniendo la secuencia de producción</p> <p>2) Representa una gran inversión, ya que se requiere otro cuarto frío para recepción de materia prima y evitar contaminación con el producto terminado. Además de aumentar los equipos de aire acondicionado en el área de producción y techar áreas descubiertas.</p>

CUADRO XXIV. Evaluación de desconocimiento de Buenas Prácticas de Manufactura y riesgos al consumidor en la empresa bajo estudio como área de oportunidad

Problemas o áreas de oportunidad	Propuestas de solución	Evaluación tecnológica	Evaluación operativa	Evaluación económica
<p>• Desconocimiento de Buenas Prácticas de Manufactura, así como riesgos al consumidor (en la producción de alimentos).</p>	<p>1) Contratar especialistas para implementar un Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control (HACCP) y Buenas Prácticas de Manufactura.</p>	<p>1) El equipo sufriría modificaciones por la adaptación de nuevo equipo de monitoreo para evitar que los puntos críticos se salgan de control.</p>	<p>1) Se aplicaría un sistema completo de monitoreo y control para proporcionar al consumidor seguridad alimentaria.</p>	<p>1) Aumento en costos de consultoría. Inversión en equipo de monitoreo: sensores de metales, termómetros y otros dependiendo de cómo se vaya a monitorear cada punto crítico. Costos de capacitación de personal.</p>

4.2.8 Recomendaciones acerca del diagnóstico del sistema de calidad actual

Se recomienda generar la Política de Calidad para la empresa, no basta con que la administración la tenga clara, hay que documentarla y darla a conocer. La Política de Calidad debe contener lo que para la empresa significa calidad y una serie de lineamientos para lograrla. El compromiso con la calidad y la mejora continua atañe a todo el recurso humano (Mitre, 1990; Imai, 1998).

La misión, visión, valores organizacionales y Política de Calidad de la empresa deben estar documentados, esto es, tenerlos por escrito y a la vista de todo el recurso humano, se deben dar a conocer desde el nivel más alto hasta el nivel más bajo de la organización; de esta forma, todo el personal sabrá hacia dónde tiene que ir la empresa, a qué se dedica y cuáles son las convicciones y políticas que los encaminarán a ser mejores en el ámbito social y de calidad (Mitre, 1990; Imai, 1998).

El líder de la empresa debe ser congruente entre lo que dice y lo que hace, esto es, una vez desplegados la misión, visión, valores y políticas de calidad, éste debe dirigirse hacia el sentido que éstos marcan. Cuando el personal se dé cuenta de esta congruencia, se facilitará el clima de trabajo en equipo encaminado hacia el mismo objetivo (Mitre, 1990).

La empresa bajo estudio tiene la ventaja de contar con un solo proveedor que además es familiar de los miembros de la gerencia alta y media; esto implica que se involucra en el diseño del producto y del proceso. Mitre (1990) menciona que las organizaciones de hoy en día deben tener pocos proveedores y muy buenos con relaciones a largo plazo, de esta forma se establece una intracción ganar-ganar. Al proveedor se le debe pedir calidad de materias primas, tiempo oportuno de entrega, precio justo y servicio post-venta si es requerido; además debe participar activamente en el diseño del producto.

En cuanto al recurso humano, es recomendable generar facultamiento, esto es, que tenga la libertad de decidir y actuar, siempre y cuando se cuente con la debida capacitación e información oportuna y válida.

Mitre (1990), menciona que el facultamiento se puede describir como una mesa de cuatro patas en donde cada una de éstas corresponde a los siguiente puntos:

- Autoridad y responsabilidad.
- Conocimiento y habilidad.
- Información adecuada y oportuna.
- Sentimiento de autoestima y confianza en sí mismo.

El facultamiento como tal puede lograr la disminución en la tasa de rotación del personal, ya que al tener libertad de decidir y actuar el personal se siente más importante, se le emplea para ser más creativo, además de agilizar todas sus actividades para una entrega de producto oportuna, lo cual es muy importante para el distribuidor.

Tannehill (1980), menciona que una forma de incrementar la integración y motivación del personal es enriqueciendo el trabajo tanto de forma horizontal, como de forma vertical. La primera consiste en generar multihabilidades en el personal, esto es, capacitar al personal para que desempeñe todas las actividades del proceso productivo, de esta forma disminuiría la rutina, no afectaría el ausentismo y aumentaría la concentración en las labores. El enriquecimiento vertical consiste en que el trabajador participe en la toma de decisiones, se integre y se comprometa. Este enriquecimiento es socialmente atractivo y productivo.

También es recomendable generar un programa de capacitación para el personal. Para esto se deben tomar en cuenta los puntos relativos al enriquecimiento del trabajo mencionados anteriormente. Es importante documentar la descripción de puestos así como las soluciones posibles a problemas existentes para cada puesto. La alta dirección debe listar todos aquellos problemas que sean frecuentes y diversas alternativas de solución, para que la toma de decisiones se dé en todos los niveles. Al describir los puestos, se debe aclarar la flexibilidad en las responsabilidades del personal, esto es, si un trabajador tiene oportunidad de ejercer cierto trabajo que según su descripción no le corresponda, debe entender que cuando se necesite, es su obligación cambiar su actividad para desempeñar otra, de aquí la importancia del desarrollo de multihabilidades (Imai, 1998).

La gerencia de la empresa argumenta que existe muy poca comunicación con el mercado meta, la satisfacción de necesidades se realiza hasta el cliente distribuidor. Esta tesis está contribuyendo al acercamiento con el cliente final para un diseño del producto y proceso adecuado que genere el producto que el consumidor prefiera. Mitre (1990) menciona que la calidad del producto se debe diseñar con ingeniería simultánea, esto es, que participe toda la organización de forma horizontal enfocada a lo que el cliente necesita realmente. Cuando se diseña el producto, todos los departamentos (proveedores, diseño, ingeniería, producción, mercadotecnia, distribuidores, etc.) deben estar presentes para ponerse de acuerdo. La herramienta de Despliegue de Funciones de Calidad (QFD, por sus siglas en inglés), utilizada en esta tesis, es una alternativa para alcanzar este objetivo de ingeniería simultánea (Mitre, 1990; Kaneko, 1994).

En cuanto al proceso productivo se recomienda implementar un cambio en la distribución del proceso (“layout”) en la empresa, pues como ya se mencionó anteriormente, sólo se invertiría en el cambio de ubicación del área de lavado al interior de la casa para que el producto no sufra alteraciones a consecuencia de altas temperaturas y evitar su descomposición; también se recomienda un cambio en la distribución interna del cuarto de enfriamiento (separar producto terminado, producto en proceso y materia prima para que no sufra contaminación y eficientizar la circulación de aire con adecuado acomodo de las tarimas). El área de recepción de materia prima se comunica directamente con el área de envase, lo cual no es muy recomendable por higiene y seguridad en el manejo de producto, por lo tanto, se recomienda cerrar el área. Se debe construir otro baño para poder separar damas de caballeros, ya que esto proporcionaría mayor higiene y comodidad para el personal.

Para contrarrestar la tasa de rotación alta en la empresa se recomiendan las dos opciones descritas en la evaluación (cuadro XVIII); sin embargo el documentar los procesos productivos es básico para el entendimiento de cualquier proceso y así poder estandarizarlo, medirlo y mejorarlo continuamente. Posteriormente se recomienda seguir con la integración del personal por medio del enriquecimiento del trabajo.

Dado que no cuentan con el equipo mínimo de seguridad, la adquisición del mismo es la única recomendación que se hace. Esto debe ir de acuerdo a las normas oficiales

mexicanas para la planta y capacitación. Al incrementar la seguridad en la empresa, el personal se puede ver más motivado al darse cuenta de que trabaja en condiciones más seguras y este podría ser otro factor para disminuir la tasa de rotación.

Para evitar la falta de un programa de monitoreo y control de calidad de la producción se sugiere seguir la primer etapa: implementar un programa de monitoreo y control manual, ya que es menos costosa. Esta opción apoyaría a la estandarización del proceso, registro de datos, y detección de causas de variación de la producción. Se recomienda que los datos recabados se capturen en una base de datos en el equipo de cómputo, con el que ya se cuenta así como respaldar en discos flexibles y reciclar el papel ya capturado. El programa de control de calidad debe incluir análisis microbiológicos periódicos para verificar que el producto de la empresa esté dentro de los requerimientos de las Norma Oficial Mexicana correspondiente (Secretaría de Salud, 1994) y en caso de salirse de los límites permitidos (150,000 UFC/g de cuenta total de mesofílicos aerobios y 100 UFC/g de coliformes fecales), poder tomar acciones correctivas correspondientes. Mitre (1990) menciona que las nuevas organizaciones deben ser capaces de monitorear sus procesos de tal forma que se pueda medir y corregir su variación, para esto se emplean las herramientas de control de calidad, así como el diseño de experimentos.

Dado que la causa principal de devolución del producto es la descomposición (rápida) del mismo, la opción ideal es el mantener la planta a una temperatura de 10 a 15°C debido a que es un producto precortado y el frío ayuda a que disminuya su tasa respiratoria del nopal evitando la rápida descomposición del mismo. El producto se debe conservar a una temperatura constante, es por esto que el realizar los cambios en el “layout” también ayudarían a evitar la fluctuaciones en la temperatura del producto, que actualmente se manejan. Como se mencionó anteriormente, los cambios serían: el cambio de ubicación del área de lavado al interior del área que ya cuenta con aire acondicionado, distribución interna del cuarto de enfriamiento (separar producto terminado, producto en proceso y materia prima), y el cerrar un área abierta (área de recepción de materia prima).

Las alternativas para el desconocimiento de Buenas Prácticas de Manufactura así como de riesgos al consumidor son complementarias, sin embargo, la primera requiere de consultoría, capacitación y adquisición de equipo especial. Por esta razón se recomienda

primero que nada, la implementación de Buenas Prácticas de Manufactura, las cuales son básicas para cualquier empresa de alimentos y para lo cual se requiere capacitación y un alto esfuerzo del involucramiento de la alta administración. Por otro lado, esta opción provocaría cambios en la distribución del proceso (“layout”) en cuanto a la ubicación de baños, áreas productivas, áreas de desechos orgánicos y no orgánicos, área de mantenimiento, etc; de manera que no se afecte la calidad del producto para prevenir cualquier riesgo al consumidor. En este trabajo se realizó un diseño para la implementación de un programa de Buenas Prácticas de Manufactura (BPM) así como el sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control específicamente para el proceso productivo; sin embargo, la recomendación de estos sistemas de calidad y seguridad alimentaria se deben hacer de manera integral (a lo largo y a lo ancho de la organización).

El cumplimiento de Buenas Prácticas de Manufactura, facilita la implementación de un sistema de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control.

4.3 Conocimiento de las necesidades del consumidor final

4.3.1 Grupo de expertos de opinión de poder adquisitivo estable

Agrupación por familias de elementos de calidad según criterios encontrados:

- **Textura.**

“Crujientes”

“No fibrosos, tiernos”

“Piel tierna, que al morder no se separe”

“Penca tierna”

“Textura firme”

- **Presentación.**

“Cortados casi del mismo tamaño”

“En penca entera”

“Variedad en contenido neto”

“Bien cortados en cuadritos, no en tiritas”

“En cuadritos pequeños”

- **Color.**

“Verde brillante”

“Sin manchas cafés”

“Verde tierno”

“Verde homogéneo”

- **Limpieza**

“Bien limpios (considerado como higiene)”

“Sin espinas”

- **Apariencia general.**

“Sin mucílago, sin baba”

“Que no esté seco”

“Que esté fresco”

- **Envase.**

“Que contenga fecha de caducidad”

“Que describa bien el producto”

- **Sabor.**

“A nuevo, fresco”

“Que se conserve el original”

- **Aroma.**

“Que huela fresco”

“Herbal, a campo”

- Otros.

“Bien refrigerados”

“Sin conservadores”

4.3.2 Grupo de expertos de opinión de clase social con carencias económicas

Agrupación por familias de elementos de calidad según criterios encontrados:

- Textura.

“No pellejudo”

“Penca tierna”

- Presentación.

“Pelado en el momento”

- Color.

“Verde fresco”

“Que no esté negro, ya no sirve”

“Que no esté amarillo (considerado como refrigerado)”

- Limpieza.

“Limpio (considerado como higiene)”

- Apariencia general.

“Sin baba”

“Que no se vea seco”

“Que tenga baba (considerado como nuevo)”

“Con baba (considerado como no seco)”

- Sabor.

“Natural”

- Otros.

“Buen precio (bajo)”

“Listo para comer”

4.3.3 Aplicación de encuesta en puntos de venta

Las encuestas realizadas en Soriana Contry y HEB Contry arrojaron los siguientes resultados:

- Hábitos de consumo

De las personas que consumen nopal, la mayoría lo hace porque les gusta (61%), otros lo hacen por cuestiones de salud o porque lo consideran nutritivo (figura 7).

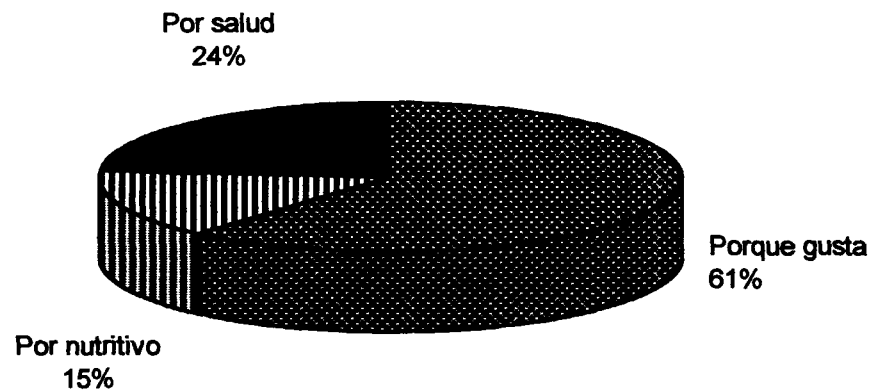


Fig. 7. Razones por las que amas de casa entrevistadas en supermercados del sur de Monterrey compran nopal.

En cuanto a la frecuencia de consumo de nopal, se encontró que la mayoría de los encuestados (65%) consumen la verdura de 1 a 4 veces por semana (figura 8), sólo un 13% lo hacen de 1 a 3 veces al día. También se preguntó acerca de la variedad de recetas utilizadas en la preparación de nopal en casa, a lo cual un 50% respondió que lo hace de dos maneras, un 30% de una sola manera y el resto de tres maneras o más (figura 9).

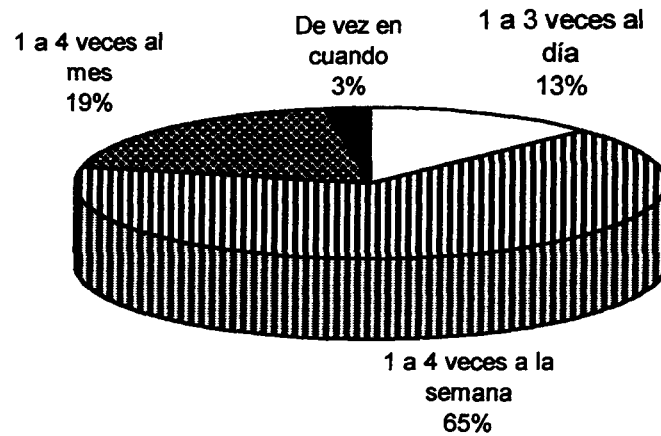


Fig. 8. Frecuencia de consumo de nopal de las amas de casa entrevistadas en supermercados.

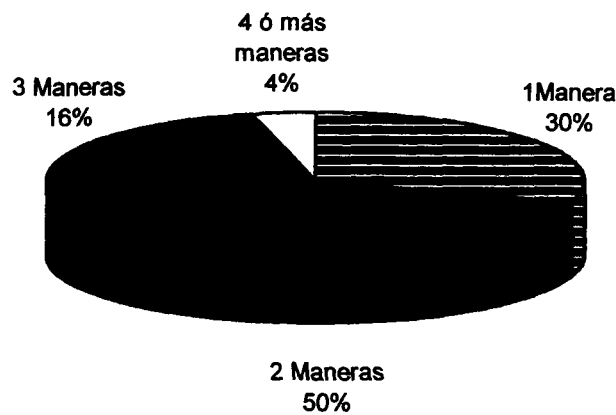


Fig. 9. Variedad de recetas en la preparación de nopal utilizadas por amas de casa entrevistadas en supermercados.

Como se puede observar en la figura 10, la mayoría de los consumidores de nopal (91%) están interesados en encontrar el producto precortado, sólo un 9% no están interesados por razones de desconfianza de frescura y sanidad. La figura 11 muestra las razones por las cuales a los consumidores les interesaría encontrar el nopal precortado, siendo aproximadamente un 92% los que lo harían por comodidad.

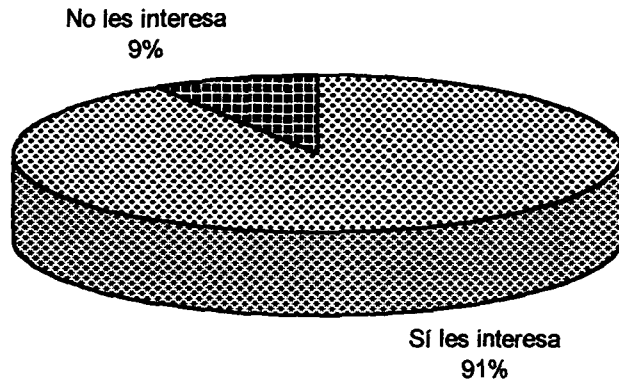


Fig. 10. Interés por parte de amas de casa entrevistadas en supermercados en adquirir nopal precortado.

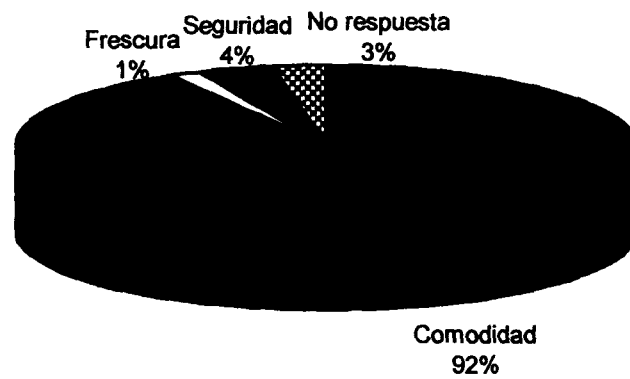


Fig. 11. Razones por las cuales amas de casa entrevistadas en supermercados comprarían nopal precortado.

- Características del producto

En cuanto a la textura del nopal, un 60% de las personas lo prefieren crujiente y un 35% suave, sólo a un 5% les gusta el producto fibroso (figura 12); en cuanto al grosor de la penca, la mayoría (64%) la prefiere ni gruesa ni delgada y un 30% la prefiere delgada (figura 13).

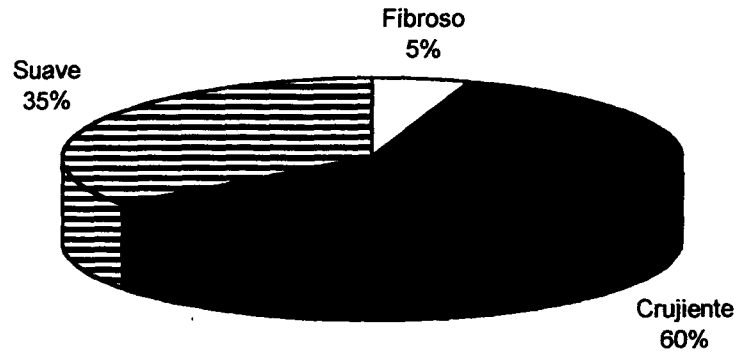


Fig. 12. Preferencias de textura de nopal en amas de casa entrevistadas en supermercados del sur de Monterrey.

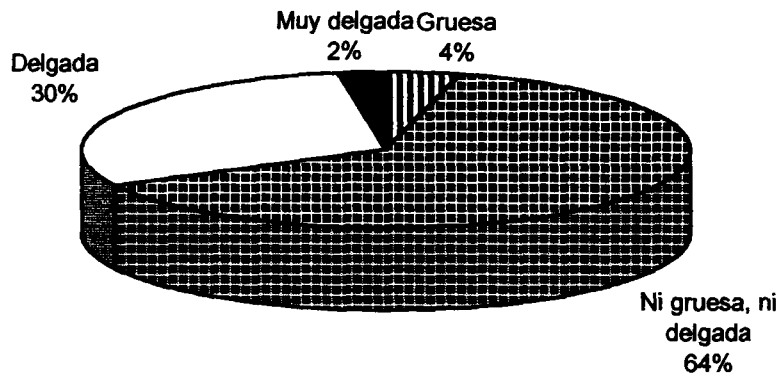


Fig. 13. Preferencias de grosor en penca de nopal en consumidoras entrevistadas en supermercados.

Se mostraron tres presentaciones de nopal precortado (cuadros pequeños, tiras y penca entera desespínada) para que el consumidor decidiera cuál era la que más le gustaba; 39% lo prefieren en cuadros pequeños, de los cuales, la mayoría argumentó que en ese formato se adapta más a sus necesidades de preparación. 39% lo prefieren en penca entera desespínada, de los cuales la mayoría dio la razón de que así lo pueden cortar a su gusto en casa. En la figura 14 se muestran las preferencias del consumidor con respecto a la presentación del producto.

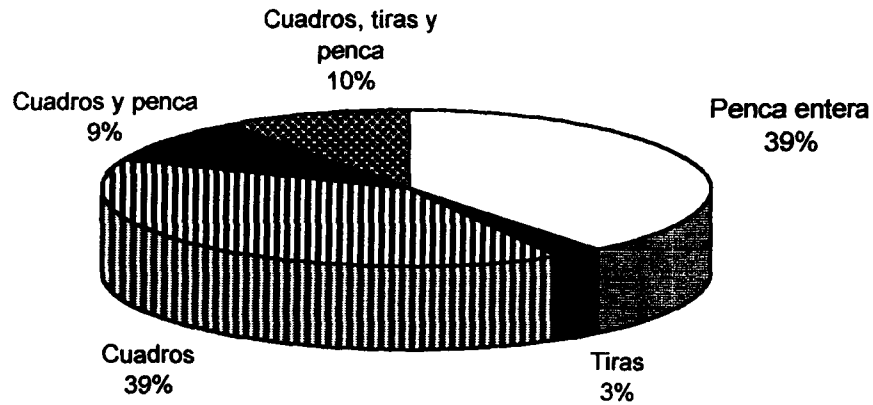


Fig. 14. Preferencias de presentación de producto precortado de nopal en amas de casa entrevistadas en supermercados.

Para investigar acerca del color que prefería el consumidor para el nopal precortado, se mostró una referencia de nopal Imperial (*Nopalea nuda*) y a la mayoría (90%) le gustó el color de dicha variedad; 1% mencionó que le gustaría encontrarlo más oscuro que la referencia y un 9% más claro (figura 15).

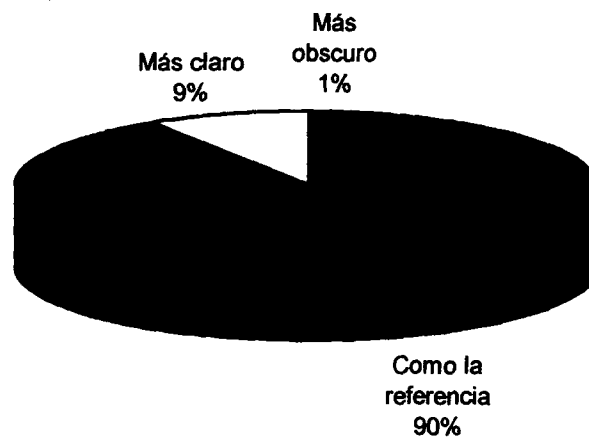


Fig. 15. Preferencias de color de nopal en amas de casa entrevistadas en supermercados.

En cuanto al sabor del nopal, 57% de los encuestados lo aceptan poco ácido y a un 34% no les gusta ácido (figura 16).

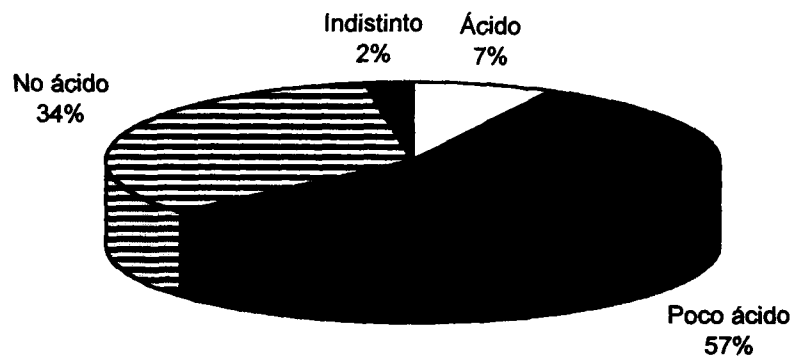


Fig. 16. Preferencias de sabor de nopal en consumidoras entrevistadas en supermercados.

Se preguntó acerca de la presencia de mucílago (baba) en el producto precortado (figura 17) y un 52% lo prefiere sin éste, dado que a la mayoría de este grupo no le gusta el aspecto; 40% de los entrevistados lo prefieren con poco mucílago, ya que a algunos no les gusta pero lo aceptan como un atributo natural del nopal, además argumentan que es un constituyente nutrimental y funcional en la preparación de platillos con la verdura. Sólo un 6% lo prefiere con mucho mucílago puesto que este grupo es el más interesado en las propiedades nutrimentales y de salud que confiere esta sustancia.



Fig. 17. Preferencias de presencia de mucílago en producto precortado de nopal en consumidores entrevistados en supermercados.

Se presentó a los entrevistados el envase que anteriormente manejaba la empresa bajo estudio para vender el nopal precortado y un 96.2% dijeron que sí les gustaba la bolsa, las razones se exponen en la figura 18. El resto de los encuestados argumentaron que el producto no se veía o simplemente no respondieron.

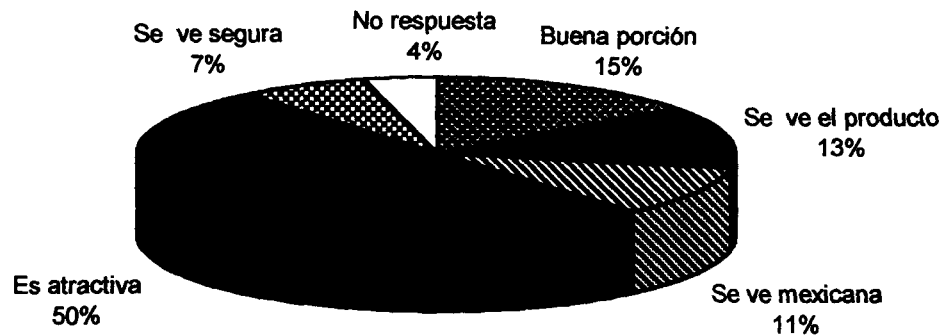


Fig. 18. Razones por las cuales gusta a consumidoras entrevistadas en supermercados el envase de nopal precortado de la empresa bajo estudio.

Con el objeto de estimar la vida útil del producto precortado para el consumidor final, se preguntó el tiempo que ellos esperarían que les durara el nopal en el refrigerador. 36% respondió que les gustaría conservar el producto de 5 a 6 días; 29%, de 1 a 2 días; 13% de 3 a 4 días y 13%, una semana. Estos resultados se muestran en la figura 19.

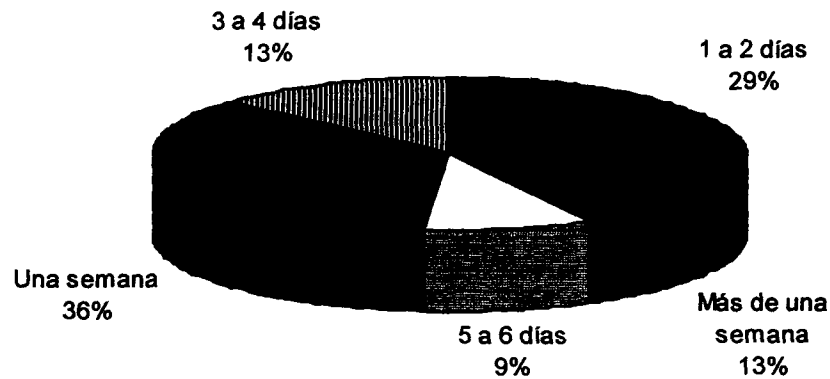


Fig. 19. Vida útil esperada de producto precortado de nopal en consumidoras entrevistadas en supermercados.

La mayoría de los encuestados (72%) preferirían encontrar el producto en supermercados y un 15% tanto en supermercados como fruterías y tiendas de conveniencia (figura 20). Con respecto al costo esperado del producto, el 83% de la muestra estarían dispuestos a pagar de 5.00 a 10.00 pesos por una presentación de 450 g (figura 21).

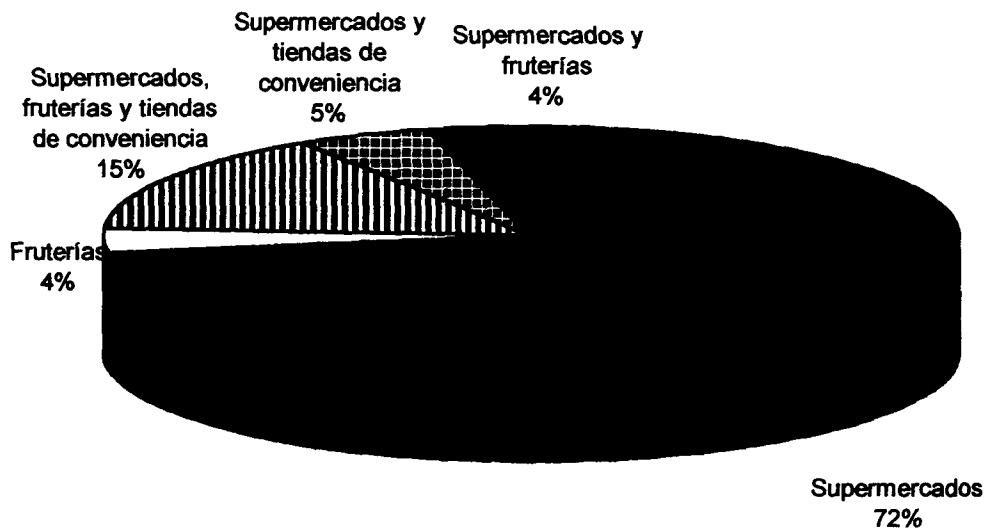


Fig. 20. Lugar donde consumidoras de nopal entrevistadas en supermercados prefieren encontrar el producto de nopal precortado.

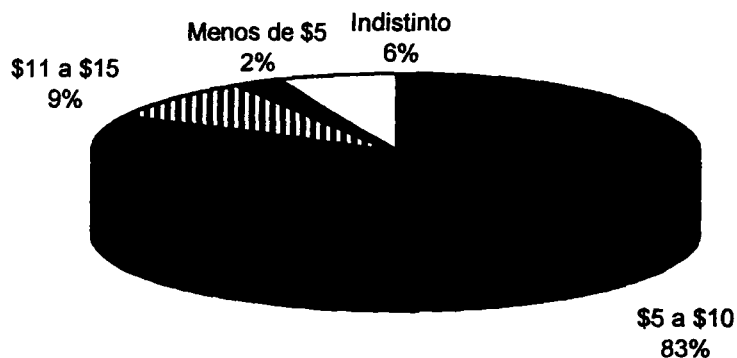


Fig. 21. Costo esperado por consumidoras entrevistadas en supermercados para el producto de nopal precortado.

- Información adicional

De las mujeres entrevistadas, un 42.5% correspondían a gente mayor de 50 años; 33.8% estaban en el rango de 41 a 50 años; 20% de 31 a 40 años y sólo el 3.8% eran personas de 18 a 30 años. La razón principal de las personas mayores de 50 años para consumir el producto es por cuestiones de salud, ya que tienen conocimiento de que baja los niveles de azúcar y colesterol en la sangre. Por otro lado, el 100% de las personas entrevistadas entre 18 y 30 años, consumen el producto porque les gusta.

Con respecto a la cantidad de miembros de familia por persona encuestada, el 41.3% de la muestra tiene de 5 a 6 miembros, mientras que el 30% tiene de 3 a 4 miembros.

El 61% de las amas de casa tienen de 1 a 2 horas al día para cocinar sus alimentos y 31% tienen menos de una hora (figura 22). Con respecto a la compra de alimentos en el supermercado, la mayoría (85%) tiene de 1 a 2 horas al día y un 12% menos de una hora al día (figura 23).

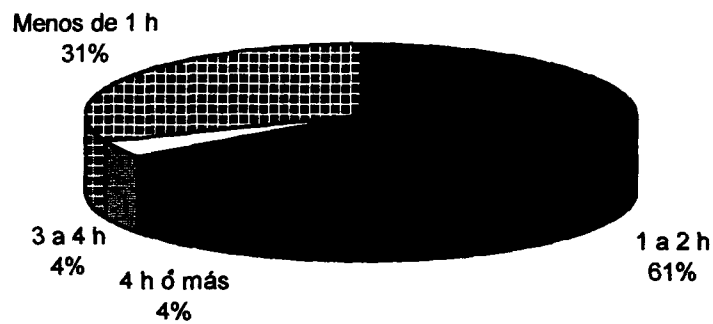


Fig. 22. Horas al día que amas de casa entrevistadas en supermercados poseen para cocinar sus alimentos.

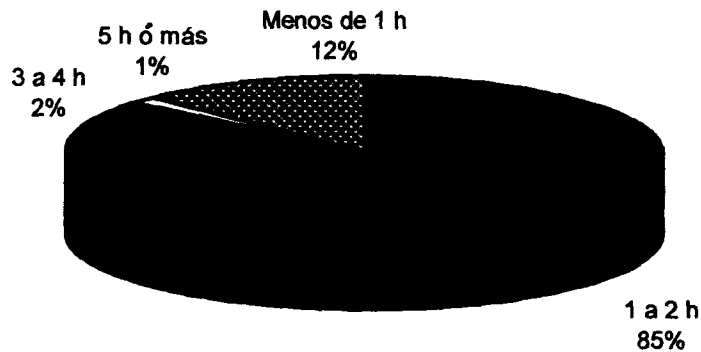


Fig. 23. Horas al día que amas de casa entrevistadas en supermercados poseen para comprar sus alimentos.

Comparando los dos supermercados, el 97.5% de la gente entrevistada en Soriana Contry, está dispuesta a pagar por el producto de 5.00 a 10.00 pesos, que corresponde a la escala más baja de la encuesta; mientras que en HEB Contry el 67.5% está dispuesta a pagar dentro de este rango, otros pagarían de 11.00 a 15.00 pesos e incluso sólo en este supermercado se encontraron personas a las que no les importaba el precio.

Aunque no es notable la diferencia, es mayor el porcentaje de personas que están interesadas en el producto precortado (95%) en HEB Contry, que los interesados en Soriana Contry (87.5%).

Como se mencionó en la sección de metodología de la presente tesis, se realizaron 40 entrevistas de personas que sí consumen nopal en cada supermercado, por lo que son pocas

las personas que resultaron no consumirlo; sin embargo es importante hacer notar que las razones por las que no lo consumen son porque no les gusta o porque no lo saben preparar. Como se mencionó en la sección de resultados del diagnóstico del sistema de calidad actual de la empresa bajo estudio, ésta se preocupa por proporcionar al cliente recetas de preparación de nopalitas en casa, quizá sería importante hacer más esfuerzo en esta publicidad resaltando las propiedades nutrimentales y a la salud que tiene la verdura. También es importante hacer hincapié en el concepto de conveniencia y seguridad que ofrecen estos productos precortados, de tal forma que el consumidor en Monterrey, N.L., se informe al respecto, lo compre más y puedan abarcar un mejor mercado.

Tomando en cuenta el corto tiempo que poseen las amas de casa para la compra y cocinado de alimentos, el producto precortado de nopal ofrece una alternativa de conveniencia, ya que está listo para su uso y los consumidores no tienen que hacer fila esperando los procesos de desespinado y cortado de la verdura.

4.4 Conocimiento de las necesidades del cliente distribuidor.

4.4.1 Entrevista “cara a cara” con personal de supermercados

• Respuesta HEB Contry:

a) Requerimientos de calidad esperados: “que el nopal no se oxide” y “que no suelte mucho jugo”.

b) Tiempo de vida útil esperado en anaquel: 3 a 4 días.

• Respuesta Soriana Contry:

a) Requerimientos de calidad esperados: “que esté cortado de manera uniforme”, “que esté fresco” y “que sea la variedad que le gusta al cliente”.

b) Tiempo de vida útil esperado en anaquel: 2 días

4.5 Despliegue de las Funciones de Calidad (QFD)

• Clientes de la empresa.

Para efectos del QFD, sólo se tomaron en cuenta el cliente final y el cliente distribuidor.

• Requerimientos del cliente.

Requerimientos del cliente final (amas de casa):

- a) Que le nopal esté crujiente (que truene al morder).
- b) Que la penca del producto tenga grosor medio.
- c) Que venga en presentación de cuadros pequeños.
- d) Que venga en presentación de penca entera desespínada.
- e) Que tenga color el color característico del nopal (se les mostró la variedad Imperial).
- f) Que el sabor sea poco ácido o no ácido.
- g) Que no presente baba o que presente poca baba.
- h) Que se utilice la presentación de envase que se mostró.
- i) Que se encuentre en supermercados.
- j) Que dure 13 días desde su proceso.
- k) Que cueste de \$5.00 a \$10.00 (presentación de 450g).

Requerimientos del cliente distribuidor (supermercados):

- l) Que no presente oxidación.
- m) Que se vea fresco.
- n) Que esté cortado de manera uniforme.
- ñ) Que sea de la variedad de nopal que le gusta al cliente final.

• Diagramas de afinidad con los requerimientos del cliente.

En la figura 24 se muestran los diagramas de afinidad de los requerimientos de ambos clientes. Como se puede observar, se eligieron 5 elementos de calidad: características organolépticas, presentación, vida útil, precio y disponibilidad.

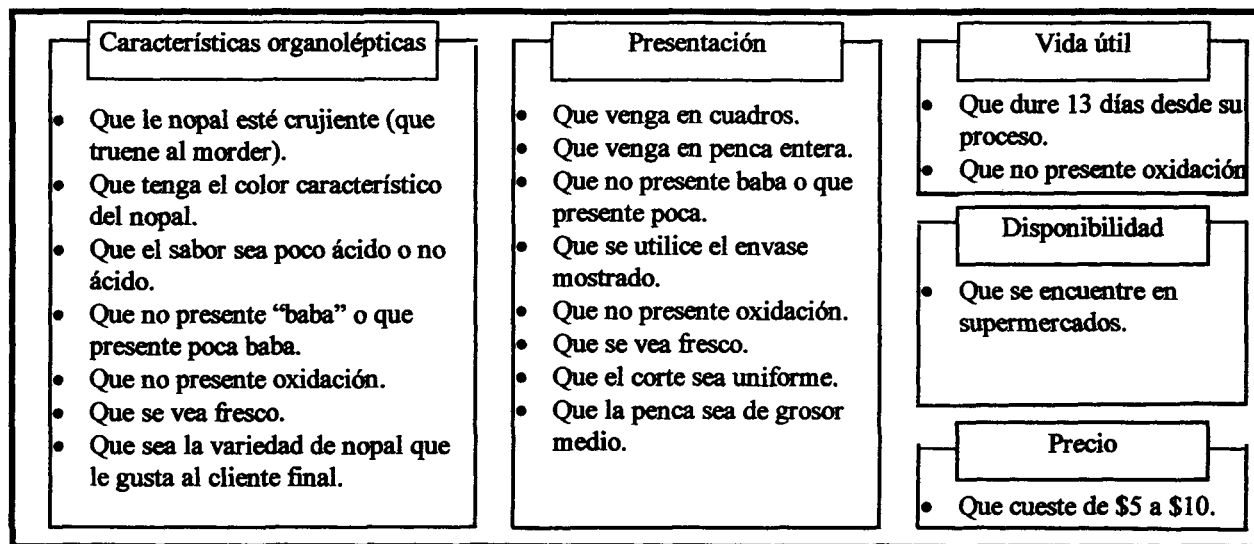


Fig. 24. Diagramas de afinidad de requerimientos del consumidor de nopal precortado.

• Conversión de los requerimientos del cliente en requerimientos de diseño.

Los requerimientos de diseño encontrados según experiencia previa del comité que trabajó en esta tesis se describen a continuación:

a) Cadena de frío: mantener las condiciones óptimas de temperatura para productos precortados desde su cosecha, hasta su producción.

b) Condiciones de envasado: se refiere únicamente al material de envase para el producto precortado, así como a la composición gaseosa del espacio libre del envase.

c) Variedad de nopal

d) Higiene: en la planta, utensilios y personal.

e) Aditivos permitidos: conservadores orgánicos, películas comestibles e inhibidores de oscurecimiento enzimático permitidos en productos precortados.

- f) Manejo del producto: actividades transcurridas desde la cosecha del nopal hasta antes de su distribución como producto terminado en las cuales no se presente daño de ninguna especie al producto.
- g) Contenido de humedad del nopal: se refiere al % de agua que tiene el nopal como constituyente natural.
- h) Agua adicionada en el proceso: es el agua que se necesita involucrar en el proceso para lavar, sanear y disolver ciertas sustancias.
- i) Proceso de cortado: desespinado y corte del nopal para obtener el formato final del producto.
- j) Contacto con metales de transición: se refiere al contacto que pueda tener el producto con metales que no sean de acero inoxidable y que puedan potenciar la oxidación del producto.
- k) Tiempo de poscosecha: es el tiempo que transcurre desde que se cosecha el nopal, hasta que llega al consumidor final como precortado.
- l) Hora del día en que se cosecha.
- m) Etapa de desarrollo del cultivo: estado de desarrollo en el que se encuentra la planta de nopal antes de ser cosechado.
- n) Labores culturales: uso de plaguicidas, herbicidas y fertilizantes en el campo.
- ñ) Clima: o condiciones climáticas.
- o) Tipo de corte: formato en el que queda el nopal precortado para su presentación.
- p) Impresión del envase: se refiere a la etiqueta de la empresa.
- q) Capacitación del personal: de la empresa.
- r) Mantenimiento del equipo: de producción.
- s) Cadena de distribución: actividades desarrolladas desde que el producto sale de la empresa bajo estudio hasta que llega al consumidor final.
- t) Costos de producción.

- Construcción de la Casa de la Calidad.

Ver figura 25.

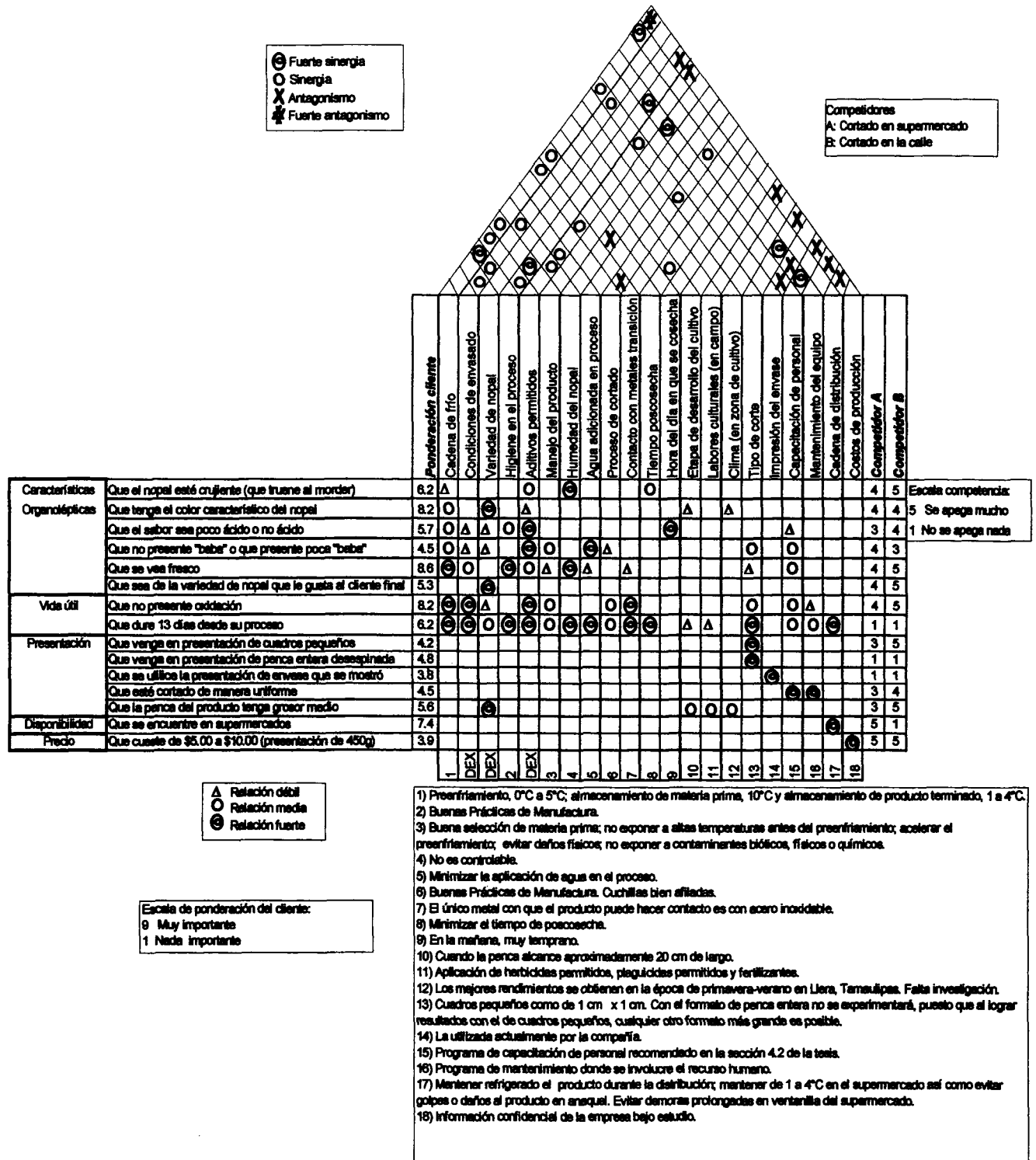


Fig. 25. Despliegue de las Funciones de Calidad (QFD) para el diseño de nopal verdura precortado.

4.5.1 Discusión acerca del QFD

De acuerdo al seguimiento del QFD, los requerimientos del cliente más importantes son los siguientes:

- Que le nopal esté crujiente.
- Que tenga el color característico del nopal.
- Que el sabor sea poco ácido o no ácido.
- Que se vea fresco en el envase.
- Que no presente oxidación (oscurecimiento en las zonas de corte).
- Que dure 13 días desde su proceso.
- Que la penca del producto tenga grosor medio.
- Que se encuentre en supermercados.

Para lograr los requerimientos del cliente más importantes descritos anteriormente, se necesitan los siguientes requerimientos de diseño:

- Mantener la cadena de frío.
- Tener extrema higiene durante el proceso.
- Tener un cuidadoso manejo del producto.
- Contar con cuchillas afiladas para el proceso de cortado.
- Eliminar el contacto con metales de transición.
- Realizar la cosecha en la primera hora del día.
- Utilizar pencas de aproximadamente 20 cm de largo.
- Utilizar herbicidas permitidos, fertilizantes y plaguicidas permitidos en la zona de cultivo.
- Tener adecuados programas de capacitación y mantenimiento en la planta.
- Distribuir a supermercados conservando la cadena de frío, evitando golpes y demoras en ventanilla.

- Realizar un diseño de experimentos para investigar cuál es la mejor variedad de nopal, cuáles son las condiciones de envase adecuadas y qué aditivos se deben utilizar para prolongar la vida útil del producto a 13 días desde su producción, de tal forma que conserve su frescura, no se oxide y no cambie el color característico.
- Aunque la ausencia de “baba” en el producto no fue un requerimiento de alto impacto para el cliente, se debe ser cuidadoso, ya que la “baba” constituye un medio de cultivo para microorganismos por su alto contenido de azúcares.

La comparación con los productos de la competencia ayudó a establecer las áreas de oportunidad que tiene la empresa bajo estudio, es decir, aquellos requerimientos del cliente en los cuales la competencia tuvo una evaluación baja y que resultaron ser muy importantes según la ponderación. A continuación se enlistan las áreas de oportunidad:

- Que el producto dure 13 días desde su producción.
- Que se encuentre en supermercados (ya que algunos se venden en la calle).
- Que la penca del nopal utilizado tenga grosor medio.
- Que el sabor sea poco ácido o no ácido.

La comparación con la competencia también ayudó a determinar las áreas de mejora, es decir, aquellos requerimientos del cliente en los que la competencia está bien evaluada y resultaron muy importantes en la ponderación. Las áreas de mejora son las siguientes:

- Que el nopal esté crujiente.
- Que tenga el color característico del nopal.
- Que el producto se vea fresco.
- Que sea la variedad de nopal que le gusta al cliente final.
- Que no presente oxidación (oscurecimiento de las zonas de corte).

La recomendación es que la empresa se concentre en la satisfacción de áreas de oportunidad para establecer ventajas competitivas, mientras que cubra las áreas de mejora ya que son características que el cliente quiere y que la competencia está cumpliendo bien.

Los demás requerimientos del cliente que no fueron ponderados como muy importantes, no quiere decir que no se deban cumplir, al contrario cumpliéndolos, pueden constituir “sorpresas agradables” para el cliente y pueden convertirse en ventajas competitivas para la empresa bajo estudio.

Con respecto al análisis de la matriz triangular entre requerimientos de diseño se puede decir que cualquier cambio o intento de mejora que se realice en la empresa impacta de manera antagónica en sus costos de producción, sobre todo si se trata de mantener la cadena de frío; sin embargo, se puede considerar esto como una inversión debido a que al generar un producto tal y como el cliente lo requiere, existe la posibilidad de recibir mayores ingresos.

Las prácticas de higiene están muy relacionadas con el mantenimiento de la cadena de frío, con las condiciones de envasado y con el manejo del producto, ya que todos estos procesos juntos contribuyen a la disminución y control de microorganismos que pueden afectar la salud del consumidor.

Hines (2000) menciona que los procesadores de productos precortados están tomando algunos pasos para el control de microorganismos, los cuales incluyen: saneamiento con soluciones de cloro, control de bajas temperaturas, Buenas Prácticas de Manufactura, Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control y envasado en atmósferas modificadas.

4.6 Conocimiento de las necesidades del proceso

4.6.1 Resultados de la vida útil esperada para el producto de nopal precortado

El producto precortado en la planta debe salir inmediatamente a los centros comerciales para evitar acumulación de inventarios y para que llegue más fresco, sin embargo, para dar un margen de seguridad se consideraron 2 días de espera en la planta.

El tiempo estimado por el personal de piso de supermercados fue de 4 días, mientras que la mayoría de las amas de casa prefirieron que el producto precortado les durara 7 días en su refrigerador.

Considerando la suma de todos los días esperados de vida útil da un total de 13.

4.6.2 Resultados del análisis de materia prima

En el cuadro XXV se encuentran los resultados del análisis de la materia prima para las tres variedades de nopal utilizadas en el experimento.

CUADRO XXV
Parámetros físico-químicos de las tres variedades de nopal utilizadas en el experimento

Variedad	Textura (g)	pH	Acidez (meq/100 ml)	Color			
				L*	a*	b*	Tono (grados)
Villanueva	28631.8	3.76	25.33	40.79	-12.19	14.63	129.79
Italiano	27933.8	3.87	26.67	45.40	-16.17	24.14	123.95
Imperial	33281.2	4.04	17.83	47.27	-17.31	26.27	123.43

De acuerdo a las preferencias del consumidor resultantes del estudio cualitativo y del Despliegue de las Funciones de Calidad, el sabor deseado en el nopal es poco ácido o no ácido. De las variedades utilizadas en este estudio, la que resulta mejor en cuanto al sabor como nopal fresco es la Imperial (*Nopalea nuda*), ya que posee menos miliequivalentes de ácido por cada 100 ml de filtrado (17.83 meq/100 ml) con respecto a las otras dos variedades (cuadro XXV).

Bergstron (1934), citado por Bravo-Hollis (1978), encontró en *Opuntia diademata* un 3.0% de ácido cítrico, mientras que en *O. tomentosa* un 1.2%. Nerd et al. (1997), citado por Rodríguez-Felix (1999), realizaron un estudio para saber a qué niveles de acidez el consumidor percibía el sabor ácido de *Nopalea cochinellifera* y sus resultados mostraron

que a los 50 mmol H⁺/Kg de peso fresco los panelistas percibían la acidez, mientras que a niveles superiores a 100 mmol H⁺/Kg de peso fresco los catadores rechazaban el sabor.

Para las demás variables medidas en la materia prima no se encontraron referencias bibliográficas.

4.6.3 Resultados del diseño experimental

Los 18 tratamientos se almacenaron durante 14 días y las mediciones de cada variable se realizaron para los días 11, 12, 13 y 14 de almacenamiento. El análisis de medias se realizó con los resultados del día 14 y las mediciones de los días anteriores se realizaron con el fin de conocer las tendencias de las variables y para asegurar que al menos algún tratamiento llegara al tiempo de vida útil esperado.

En el cuadro XXVI se muestran los resultados de las variables medidas para los 18 tratamientos de nopal precortado probadas en el diseño experimental (anexo 6).

Una vez realizado el análisis de medias se consideraron los siguientes criterios para la elección de los mejores tratamientos:

1. pH: el mejor tratamiento correspondió al máximo valor de cada nivel por factor debido a que un mayor pH se relaciona con menor acidez del nopal y al consumidor le gusta poco ácido o no ácido (sección 4.4.3).

2. Acidez: el mejor tratamiento fue la mezcla de aquellos niveles para cada factor que mostraron valores más bajos de acidez, ya que al consumidor le gusta poco ácido o no ácido (sección 4.4.3).

3. Evaluaciones subjetivas de mucílago, oxidación y aroma: para cada evaluación, se consideraron los valores más altos de cada nivel por factor, ya que en las escalas mencionadas en la sección 3.5.3 para medir estas variables, los valores más altos corresponden a mejores propiedades organolépticas.

4. Pérdida en peso: esta variable no sirvió para tomar decisiones ya que al momento de pesar las muestras algunas tenían excesivo mucílago, el cual también pesa y da un valor erróneo siendo que el tratamiento no tiene una buena apariencia.

CUADRO XXVI
Resultados de las variables medidas a los 14 días de almacenamiento para los tratamientos de nopal precortado probados en el diseño experimental

Tratamiento (a)	pH	Textura (g)	Acidez (meq/ 100 ml)	Pérdida de peso	Color			Evaluaciones subjetivas			
					L*	a*	b*	Tono	Mucflago (b)	Oxidación (b)	Aroma (b)
1	4.365	28532.65	9.75	2.087	42.6	-12.9	19.2	123.9	2.5	3	2
2	4.885	35358.25	4.25	0.395	43.5	-14.6	22.2	123.2	4	2	2
3	4.195	28802.70	12.75	1.135	45.2	-10.8	29.0	110.4	1	1	1
4	4.165	23528.65	33.0	1.167	39.4	-8.4	18.2	115.0	1	1	1
5	4.595	30476.90	7.75	1.220	42.3	-13.0	20.4	122.6	3	2	1
6	4.560	29965.85	9.25	0.276	46.2	-17.5	31.7	118.9	2	3	2
7	4.155	27075.90	21.0	1.334	45.4	-11.5	22.6	116.9	1	1	1
8	4.720	29224.55	12.25	0.782	40.7	-8.8	21.1	112.7	2	1	1
9	4.425	32489.30	10.25	1.112	46.4	-16.3	27.0	121.0	3	3	2
10	4.240	17829.25	15.50	1.599	40.2	-10.6	23.4	114.3	2.5	2	1.5
11	4.365	25625.20	17.75	1.735	39.8	-7.0	21.5	108.1	1	1	1
12	4.620	34361.85	7.25	0.506	42.0	-13.6	22.5	121.1	3.5	3.5	2.5
13	4.530	18853.65	9.75	1.003	42.9	-9.8	18.3	118.2	3	1	1
14	4.300	21766.75	13.75	0.815	41.5	-8.8	22.8	111.0	1	1	1
15	4.330	30607.10	13.0	1.737	41.5	-13.9	26.7	117.5	1	1	1
16	4.110	19001.65	15.25	1.682	39.9	-12.9	23.6	118.7	1	1	1
17	4.400	21779.10	6.25	0.966	41.0	-9.1	20.9	113.5	1	1	1
18	4.385	34773.05	12.75	2.036	46.8	-17.2	31.3	118.8	3	3	2

(a) Tratamientos obtenidos del arreglo ortogonal mostrado en el anexo 6.

(b) En la escala los valores más altos indican una mejor calificación.

5. **Color:** Se obtuvieron los valores de L*, a* y b* y se calculó el tono con la fórmula: $\text{tono} = \arctan(b/a)$ (Minolta Camera Co., Ltd, 1994). Debido a que no se tiene ningún rango de preferencia para color con respecto al consumidor se realizaron gráficas de tendencias para cada variable (L*, a*, b* y tono), de tal forma que se pudiera conocer el comportamiento de éstas a través del tiempo para cada nivel de cada factor.

Únicamente las variables L* y tono mostraron una disminución en los cuatro últimos días de almacenamiento para cada nivel de cada factor (anexo 11), por lo que se consideró el valor más alto de L* y el valor más alto de tono para elegir la mejor combinación de niveles por factor. Los valores de a* y b* permanecieron más o menos constantes a través del tiempo (anexo 12). Cabe mencionar que al momento de realizar el estudio cualitativo de mercado, se mostró como referencia para el color a la variedad de nopal Imperial y a la mayoría de las amas de casa les gustó (sección 4.3.3), así que los resultados para el nivel de variedad Imperial fueron tomados en cuenta en este análisis.

6. **Textura:** Para esta variable tampoco se conoce un rango de preferencia con respecto al consumidor, así que se realizó su gráfica de tendencia en los cuatro últimos días de almacenamiento para cada nivel de cada factor, sin embargo, la textura permaneció más o menos constante a través del tiempo. Entonces se realizó el análisis de medias de diferencia en textura tomando en cuenta los valores iniciales de la materia prima y se eligió como combinación óptima de niveles a aquellos con menor diferencia.

En el cuadro XXVII se presentan los mejores tratamientos según el análisis de medias tomando en cuenta los criterios mencionados arriba para cada variable medida.

CUADRO XXVII
Tratamientos de nopal precortado elegidos según el análisis de medias de las variables del diseño experimental

Variable	Variedad	Envase	CaCl₂	Ác. cítrico	Ác. ascórbico	Conservador
pH	Italiano	PD-961 EZ	0.05%	0	0.10%	Citricidal
Acidez	Italiano	PD-961 EZ	0.10%	0	0	Citricidal
L*	Imperial	PD-961 EZ	0	0.25%	0.20%	Citricidal
Tono	Imperial	PD-961 EZ	0.05%	0	0	Nada
Dif. textura	Imperial	Polietileno	0	0	0	Nada
Mucílago	Imperial	PD-961 EZ	0.10%	0.25%	0	Nada
Oxidación	Imperial	PD-961 EZ	0	0	0	Nada
Aroma	Imperial	PD-961 EZ	0.05%	0	0	Nada

Del total de tratamientos sólo se consideraron como mejores tres (cuadro XXVIII), debido a que si se realiza una evaluación sensorial con demasiados tratamientos se satura la percepción del consumidor y esto puede sesgar los resultados (Pedrero y Pangborn, 1996).

Los mejores tres mejores tratamientos se eligieron en base a los valores de L*, evaluación del mucílago y evaluación de oxidación. Esto se realizó debido a que el parámetro L* indica qué tan claro u oscuro puede ser el producto (Minolta Camera Co., Ltd., 1994) por lo que da una idea de qué tan oxidado está el nopal. Los resultados del QFD muestran que uno de los requerimientos prioritarios del consumidor es que el nopal precortado no presente oxidación u oscurecimiento enzimático.

Sapers, et al. (1994) utilizaron el parámetro L* para medir oscurecimiento en champiñones mínimamente procesados. Sapers, et al. (1989) y Sapers y Ziolkowski (1987) se basaron en esta misma variable del sistema HunterLab para medir el oscurecimiento enzimático en rebanadas de manzana.

Uno de los requerimientos del consumidor, aunque de baja prioridad, es que el nopal tenga poco mucílago o carezca de él. Como se mencionó en la revisión de literatura, esta sustancia está constituida por un conjunto de azúcares que favorecen la reproducción de microorganismos, así que la presencia de esta variable medida de forma subjetiva se consideró para la elección de los mejores tratamientos. Además, un excesivo mucílago demerita mucho la apariencia en el envase del nopal precortado.

Cabe mencionar que durante la experimentación, los tratamientos a los cuales se les añadieron aditivos para evitar el oscurecimiento enzimático mostraron una mayor salida de mucílago, excesiva oxidación y aroma a fermentación. El agua contribuye a que se presente este fenómeno y aunque los aditivos fueron aplicados por aspersión disueltos en la mínima cantidad de agua, la salida de mucílago fue inevitable. Algunos tratamientos a los cuales se le aplicaron aditivos mostraron oxidación inmediata o en los primeros días de almacenamiento.

Otro requerimiento del cliente de mucha prioridad fue que el nopal esté poco ácido o no ácido. En el análisis de medias se encontró que la variedad menos ácida fue la de nopal Italiano (10.25 meq/100 ml) después de 14 días de almacenamiento. En los tres tratamientos elegidos para la evaluación sensorial (cuadro XXVIII) se encuentra la variedad de nopal Imperial cuya acidez es de 10.57 miliequivalentes de ácido por 100 ml de filtrado y ninguno contempla a la variedad Italiano; sin embargo, considerando que no hay gran diferencia en los valores de

acidez y que el color del nopal Imperial fue gustado por las amas de casa entrevistadas, se consideró esta variedad para ser evaluada sensorialmente.

La temperatura promedio durante la realización del experimento fue de 25°C debido a que no se contó con el servicio de aire acondicionado, sin embargo, se debe mantener lo más baja posible la temperatura en el cuarto de proceso para disminuir la tasa respiratoria del producto y con esto incrementar la vida útil. Flickinger (1999) y la IFPA (1996) mencionan que todos los puntos a lo largo de la cadena de producción, distribución y venta de productos precortados, deben mantener el producto lo más cercano a 1°C como sea posible y jamás excederse de 4°C.

CUADRO XXVIII

Tratamientos de nopal precortado elegidos para la evaluación sensorial

Tratamiento	Variedad	Envase	CaCl ₂	Ác. cítrico	Ác. ascórbico	Conservador
1	Imperial	PD-961 EZ	0%	0.25%	0.20%	Citicial 260 ppm
2	Imperial	PD-961 EZ	0.1%	0.25%	0%	Nada
3	Imperial	PD-961 EZ	0%	0%	0%	Nada

4.6.4 Resultados de la evaluación sensorial

Los tratamientos mostrados en el cuadro XXVIII fueron preparados según el procedimiento explicado en la sección 3.5.4 de preparación de muestras y almacenados de 1 a 4°C durante 13 días para realizar la evaluación sensorial.

Solamente el tratamiento 3 (variedad Imperial, envase PD-961 EZ , sin aditivos ni conservadores) alcanzó los 13 días en almacenamiento, los otros dos tratamientos mostraron oxidación temprana y excesivo mucílago. Cabe mencionar que ninguno de estos últimos fue probado en el diseño experimental, sólo se tomaron en cuenta con referencia al análisis de medias.

Por otro lado, la materia prima para realizar estas muestras no presentó uniformidad en cuanto a tamaño y madurez y aunque se realizó una selección previa, algunas pencas de nopal presentaban ciertos daños en la cutícula. Según Kader y Mitcham (1997) la calidad de los productos precortados depende de la alta calidad de la materia prima y las operaciones en productos precortados no deben verse como el aprovechamiento de productos de inferior calidad que no se pueden vender frescos.

En el cuadro XXIX se muestran los parámetros fisicoquímicos de pH, acidez, textura y color del tratamiento evaluado sensorialmente.

CUADRO XXIX
Parámetros fisicoquímicos del nopal precortado utilizado en la evaluación sensorial

pH	Acidez (meq/100 ml)	Textura (g)	Color			Tono (grados)
			L*	a*	b*	
4.03	10.49	31301.23	44.106	-14.68	26.74	118.77

Debido a que sólo se evaluó un tratamiento, el análisis de resultados se realizó obteniendo la media de los resultados y su desviación estándar. A cada nivel de agrado de la escala se le asignó un valor, siendo 1 el mejor y 9 el peor, después se sumaron los resultados, se obtuvo el promedio, la desviación estándar y la moda de los 100 consumidores. De esta forma, los resultados se pueden relacionar con el valor total de la escala (Pedrero y Pangborn, 1996). En el cuadro XXX se exhiben los resultados de la evaluación sensorial para cada atributo.

CUADRO XXX
Resultados de prueba de nivel de agrado para nopal precortado con cien consumidores

Nivel de agrado	Valor asignado	Apariencia	Color	Aroma	Sabor	Textura
Me gusta muchísimo	1	13	16	13	21	20
Me gusta mucho	2	45	43	36	41	40
Me gusta moderadamente	3	27	27	16	17	24
Me gusta poco	4	5	7	12	15	8
Ni me gusta ni me disgusta	5	8	7	15	1	5
Me disgusta poco	6	2	0	4	5	2
Me disgusta moderadamente	7	0	0	1	0	1
Me disgusta mucho	8	0	0	2	0	0
Me disgusta muchísimo	9	0	0	1	0	0
		Apariencia	Color	Aroma	Sabor	Textura
SUMA		100	100	100	100	100
PROMEDIO		2.56	2.46	3.12	2.49	2.48
MODA		2	2	2	2	2
DESVIACIÓN STD		1.15	1.06	1.73	1.28	1.25

Como se puede observar en el cuadro XXX, para los atributos de apariencia, color, aroma, sabor y textura del nopal precortado se muestra una moda correspondiente al nivel de agrado de “me gusta mucho” con una frecuencia de 45, 43, 36, 41 y 40 respuestas respectivamente. La mayoría de los demás datos caen dentro de las opciones “me gusta

muchísimo” y “me gusta moderadamente”. La media para todos los atributos, muestra que las opiniones promedio caen en el rango entre “me gusta moderadamente “ y “me gusta mucho”. La desviación estándar obtenida para todos los atributos muestra que los datos están orientados hacia los niveles de agrado positivos de la escala.

Las razones por las cuales los consumidores argumentaron que les gustaba mucho y muchísimo la apariencia del nopal fueron, principalmente, que se veía fresco, que era agradable y que mostraba la apariencia normal del nopal crudo. En el QFD, los consumidores calificaron como muy importante que el nopal estuviera fresco.

Con respecto al atributo de color, las razones más importantes por las cuales al consumidor le gustó mucho y muchísimo fueron porque se veía fresco y porque se veía apetecible.

El aroma fue quizás el atributo peor evaluado. Los consumidores que opinaron que les gustaba mucho y muchísimo el aroma , dieron las razones de frescura y olor agradable; sin embargo, el 8 % de los encuestados seleccionaron algún valor negativo de la escala dando las razones de que no se apetecía o que tenía un olor “fuerte”.

Con respecto al sabor del nopal evaluado, la mayor parte de opiniones de “me gusta mucho” y “me gusta muchísimo” se debieron a las razones de sabor agradable y fresco. Las pocas personas (5%) que mencionaron que les disgustó era porque el sabor era ácido o amargo. Hay que considerar que los consumidores probaron el nopal en crudo, algo a lo cual quizás no están acostumbrados ya que como se observó en el estudio de cualitativo de mercado, la mayoría de las amas de casa preparan este producto con alguna receta.

Las razones principales por las cuales los consumidores evaluaron favorablemente el atributo de textura son porque les pareció crujiente o porque les pareció que era la textura normal del nopal fresco. En el Despliegue de Funciones de Calidad realizado en esta investigación se determinó que uno de los principales requerimientos del cliente es que el nopal sea “crujiente”.

Al preguntar a los 100 consumidores si comprarían el producto que evaluaron el 93% contestó que sí dado que les había gustado y que les proporcionaba conveniencia al estar desespinado, cortado, lavado y desinfectado. Algunos otros contestaron que lo consumirían por razones de nutrición y salud. Cabe mencionar que la población encuestada estaba constituida en un 63% de mujeres y un 37% de hombres ambos de diferentes ocupaciones. El 49% eran

estudiantes, un 18% profesionistas, el 15% empleados de bajos recursos y el resto técnicos, secretarías o no respuesta.

El 75% de los panelistas pertenecían al rango de edad de 18 a 30 años, mientras que el 15% estaban entre los 31 a 40 años. El 10% entraba en el rango de 41 a 50 ó más años.

4.6.5 Propuesta para el proceso productivo

Tomando en cuenta los resultados del diseño experimental, así como los del QFD, es posible proponer una secuencia de pasos del proceso productivo para la elaboración de nopal precortado con 13 días de vida útil; ésta se muestra en la figura 26.

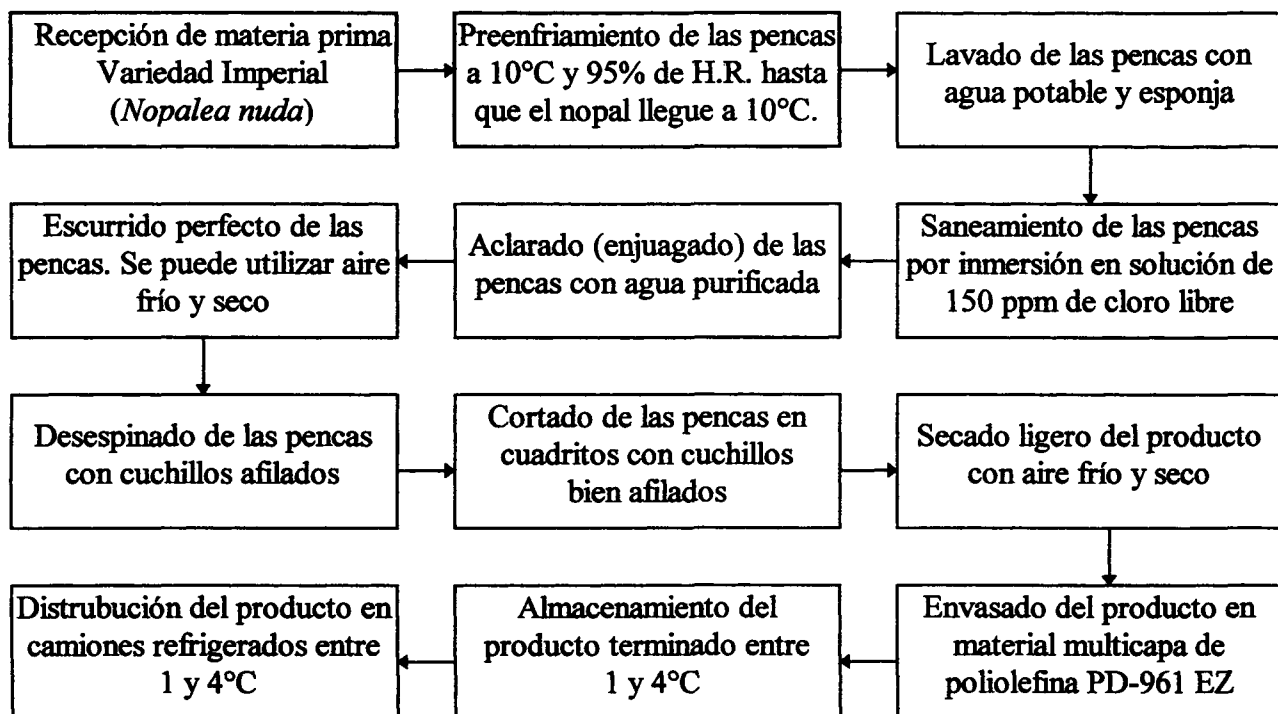


Fig. 26. Diagrama de proceso propuesto para la producción de nopal verdura precortado.

Cabe mencionar que el proceso descrito en la figura 25 corresponde al tratamiento encontrado en esta tesis como el mejor debido a que duró los 13 días esperados en refrigeración y fue del gusto del consumidor; sin embargo, no se descarta la posibilidad de que existan más tratamientos que se comporten de la misma forma utilizando diferentes criterios de análisis a los utilizados en esta investigación.

4.7 Satisfacción de las necesidades del cliente salubridad.

En el cuadro XXXI se muestran los pasos del proceso productivo propuesto. Algunos de estos pasos constituyen puntos de control (PC), que sin ser críticos, tienen especificaciones dependientes de Buenas Prácticas de Manufactura e Higiene como lo son el manejo del producto y el control de temperatura.

Los puntos críticos de control (PCC) son aquéllos que si no se controlan pueden ocasionar muerte o enfermedad grave al consumidor (Velazco, et al., 1998) . El único PCC concierne a la concentración de cloro libre para el saneamiento de las pencas, ya que en este paso es donde se eliminará la carga inicial que pueda existir de microorganismos patógenos. Para cada paso del proceso sea, PC o PCC, se muestran sus especificaciones, la forma de monitorearlos y las acciones correctivas.

Bennik, et al. (1995) mencionan que en productos precortados se pueden desarrollar brotes de microorganismos patógenos como *Aeromonas hydrophila*, *Yersinia enterocolitica* y *Listeria monocytogenes* en refrigeración, por lo cual es muy importante un saneamiento eficaz de las pencas. Se pretende suponer que la toxina de *Clostridium botulinum* no se desarrollará en este tipo de producto dado que la bacteria es anaerobia estricta y no se aplicó vacío al envase propuesto, además, el riesgo se minimiza al aplicar un buen lavado de las pencas con agua purificada, ya que la abrasión de la esponja puede eliminar la spora de esta mortal bacteria. Es recomendable efectuar estudios de concentración gaseosa del envase una vez que se haya alcanzado el equilibrio de gases en el producto, ya que Bennik, et al. (1995) encontraron que *Clostridium botulinum* no crece a concentraciones mínimas de 1 a 2% de oxígeno y con esto se puede tener un mayor margen de seguridad. El estricto control de la temperatura es una medida de prevención para estos microorganismos patógenos, según los mismos autores.

Cabe mencionar que para la implementación de un sistema de HACCP, se requiere primero tener bien establecido un sistema de Buenas Prácticas de Manufactura e Higiene (Velazco et al., 1998), por esta razón es muy importante que la empresa bajo estudio empiece por adoptarlas.

El mantenimiento de toda la cadena de frío a lo largo del proceso productivo así como en la distribución del producto, es una práctica importante de manufactura la cual debe

cumplirse antes de empezar a utilizar el sistema de HACCP; de no ser así todos los puntos del proceso serían críticos y aumentaría la variedad requerida para el control.

Es importante que la empresa establezca un puesto de supervisión de higiene para que coordine todo el sistema de HACCP y Buenas Prácticas de Manufactura.

CUADRO XXXI
Modelo de HACCP para el proceso productivo de nopal precortado

Proceso productivo	Identificación de PCC	Especificaciones	Monitoreo y frecuencia	Acción correctiva
Recepción de materia prima	PC: Inspección visual	Libre de plagas y heridas. Tamaño uniforme	Inspección exhaustiva al recibir nopal	Rechazar o aceptar pedido
Preenfriamiento de materia prima	PC: Temperatura del producto.	8 a 10°C.	Termómetro de aguja. Al empezar proceso.	Mantenimiento, arreglar sistema de refrigeración.
Lavado de las pencas	PC: Inspección visual.	Libre de objetos externos.	Inspección continua.	Volver a lavar.
	PC: Temperatura del agua.	Temperatura del agua entre 10 y 15°C.	Termómetro cada que se efectúe el lavado.	Enfriar el agua.
Saneamiento de las pencas	PCC: Concentración de cloro libre.	150 a 200 ppm de cloro libre.	Medidor de concentración de cloro.	Corregir concentración de cloro.
	PC: Temperatura del agua.	Temperatura del agua entre 10 y 15°C.	Termómetro cada que se efectúe el saneamiento.	Enfriar el agua.
Aclarado de las pencas	PC: Pureza del agua.	< 100 UFC/g de mesofílicos aerobios < 2 UFC/g de coliformes totales, 0 UFC/g de coliformes fecales.*	Análisis microbiológico periódico.	Mantenimiento de filtros.
	PC: Temperatura del agua.	Temperatura del agua entre 10 y 15°C.	Termómetro cada que se efectúe el aclarado.	Enfriar el agua.

CUADRO XXXI
Continuación

Proceso productivo	Identificación de PCC	Especificaciones	Monitoreo y frecuencia	Acción correctiva
Escurredo de las pencas	PC: Contenido de agua superficial.	Producto totalmente seco al tacto.	Inspección continua.	Continuar con el escurredo.
	PC: Temperatura ambiental	Temperatura ambiental < 8°C.	Termómetro.	Mantenimiento del sistema de refrigeración.
Desespinado	PC: Supervisión del personal e inspección visual.	Uso de cuchillos afilados, fríos y saneados. Evitar daño mecánico. Cambiar cuchillos cada media hora.	Inspección continua.	Afilarse y sanear cuchillos, eliminar pencas maltratadas
	PC: Temperatura ambiental	Temperatura ambiental < 8°C.	Termómetro.	Mantenimiento del sistema de refrigeración.
Cortado	PC: Supervisión de maquinaria.	Maquinaria calibrada, saneada y cuchillas afiladas. Evitar acumulación de materiales y sanear cada cambio de turno.	Inspección continua.	Calibrar y sanear máquina, afilar cuchillas, desechar producto dañado.
	PC: Temperatura ambiental.	Temperatura ambiental < 8°C.	Termómetro.	Mantenimiento del sistema de refrigeración.
Secado ligero	PC: Temperatura del aire de secado.	Temperatura del aire < 5°C	Registrador de temperatura por hora.	Mantenimiento, arreglar sistema de refrigeración.
	PC: contenido de agua superficial.	Producto seco al tacto.	Inspección visual.	Seguir secando.
Envasado	PC: Temperatura del producto.	< 15 °C	Termómetro de aguja antes de envasar.	Detener el producto, evaluar, rechazar.

CUADRO XXXI
Continuación

Proceso productivo	Identificación de PCC	Especificaciones	Monitoreo y frecuencia	Acción correctiva
Almacenamiento	PC: Temperatura del cuarto.	1 a 4°C	Registrador de temperatura por hora.	Detener producto, evaluar, aceptar o rechazar.
Distribución	PC: Temperatura del camión y del producto.	1 a 4°C	Registrador de temperatura .	Detener producto, evaluar, aceptar o rechazar.

*Fuente: NOM-041-SSA1-1993 (Secretaría de Salud, 1993).

Las Buenas Prácticas de Manufactura e Higiene aplicables al proceso productivo y siguiendo la guía de Gould (1994), se enlistan a continuación:

- **Construcción de la planta**

- a) Ventanas selladas y en buen estado.
- b) Ventanas con mosquiteros.
- c) Paredes que aislen perfectamente la planta del exterior.
- d) Pisos antiderrapantes sin grietas o aberturas que acumulen agua.
- e) Drenajes con coladeras y en buen estado.
- f) Lámparas protegidas y en buen estado.

- **Equipo**

- a) Equipo lavado y saneado con solución de cloro libre de 5 a 10 ppm.
- b) Tablas de desespinado, mesas y cuchillos lavados, saneados y secos.
- c) Limpieza efectiva de sobrantes de alimento en los equipos.
- d) Espacios apropiados entre los equipos para facilitar la limpieza.
- e) Equipo fácil de desensamblar para facilitar la limpieza.

- f) Equipo libre de zonas donde pueda atraparse alimento que no se pueda limpiar.
- g) Verificación de solventes y lubricantes que puedan contaminar el producto.
- h) Saneamiento de todas las superficies de contacto con el alimento (5-10 ppm cloro libre).

- **Proceso y envasado**

- a) Alejar proceso de áreas con condensación de agua.
- b) Equipo, paredes, lámparas y tuberías libres de corrosión, salitre o pintura desquebrajada.
- c) Áreas de proceso y envasado refrigeradas.
- d) Almacenamiento efectivo de herramientas manuales.
- e) Materiales utilizados almacenados propiamente, cubiertos y guardados cuando no se usen.
- f) Artículos de limpieza propiamente identificados.
- g) Materiales de envase debidamente saneados (5-10 ppm) y escurridos.
- h) Desperdicio perfectamente identificado y eliminado por la ruta correcta.

- **Recepción de materia prima, almacenamiento y embarque**

- a) Pisos, contenedores y tarimas lavados y fumigados regularmente.
- b) Rotación de inventarios de primeras entradas, primeras salidas.
- c) Productos almacenados 18 pulgadas separados de cualquier pared.
- d) Productos devueltos o rechazados alejados de producto terminado.
- e) Temperatura y humedad controladas y monitoreadas.
- f) Materia prima de acuerdo a especificaciones.
- g) Producto terminado de acuerdo a especificaciones.
- h) Vehículos de recepción y distribución limpios y en condiciones sanitarias.

- **Empleados y prácticas de los empleados**

- a) Empleados bien entrenados en lo que se espera que hagan.
- b) Altos estándares de higiene del personal.
- c) Empleados libres de infecciones o heridas expuestas.
- d) No portación de artículos de joyería del personal.
- e) Lavado de manos del personal antes y después de ir al baño y al regresar de cualquier zona que no sea su área de trabajo.
- f) Instalación de áreas de lavado de manos cerca del área de trabajo.
- g) Prohibición de fumar o comer dentro de la planta y en horarios no apropiados.
- h) Desplazamiento del producto efectivo para evitar contaminación.
- i) Uso correcto de cubrebocas, cofias, guantes, mandiles y botas.

- **Sanitarios**

- a) W.C y mingitorios trabajando en buenas condiciones.
- b) W.C, mingitorios y áreas cercanas limpias y desinfectadas.
- c) Agua fría y caliente disponible para el lavado de manos.
- d) Sanitarios provistos de jabones con germicidas, toallas individuales y/o secadores de manos de aire.

- **Limpieza**

- a) Prohibición de fumar o comer en lugares no designados.
- b) Eliminación de desperdicio oportunamente y en lugares indicados.
- c) Mapeo eficiente de zonas de coladeras.
- d) Verificación periódica de zonas de desagüe.
- e) Venenos y químicos aprobados para plantas de alimentos.
- f) Venenos y químicos almacenados en lugares y de forma apropiados.

5. CONCLUSIONES

Algunas de las características de calidad más importantes esperadas por el consumidor de nopal precortado en Monterrey, N.L., según este estudio son: que el nopal esté crujiente, que tenga el color característico, que el sabor sea poco ácido o no ácido, que se vea fresco, que no presente oxidación, que dure 13 días desde su producción y que se venda en supermercados.

Las características de calidad esperadas se lograron con la variedad de nopal Imperial (*Nopalea nuda*), en envase multicapa PD-961 EZ (CRYOVAC de México), sin el uso de aditivos y almacenándolo entre 1 y 4°C durante 13 días.

6. RECOMENDACIONES

Se recomienda realizar estudios cualitativos de mercado en diferentes zonas de Monterrey, ya que esta tesis se limitó a la zona Contry de la ciudad (zona sur). De esta forma se podrá conocer más acerca de los requerimientos de calidad que espera el cliente de nopal precortado.

Si el productor pretende exportar su producto es necesario que implemente los sistemas de calidad y seguridad propuestos y que se realice un estudio como este en los supermercados extranjeros, ya que los requerimientos del cliente pueden variar.

Con respecto a la experimentación en laboratorio, se recomienda probar todos los tratamientos elegidos en el diseño experimental y seleccionar los mejores con base a vida útil. también es recomendable realizar un análisis de interacciones entre factores y determinar la tasa respiratoria de cada muestra para estimar de manera más precisa la vida útil del producto. Los experimentos deben realizarse a bajas temperaturas en el área de proceso.

También se recomienda efectuar análisis gaseosos del espacio de las muestras dentro del envase para conocer la concentración de oxígeno y dióxido de carbono, así como análisis microbiológicos, que confirmen y complementen el proceso propuesto en esta tesis.

Resultaría muy útil conocer el rango preferido por el consumidor para cada atributo sensorial en nopal precortado y así poder correlacionarlos con medidas objetivas de color, acidez y textura, de tal manera que se pudieran definir mejor los criterios para la elección de tratamientos con respecto a necesidades reales del cliente.

7. BIBLIOGRAFÍA

Aguilar, G. 1997. Porcentaje de aceite en semillas de nopal. En *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Vázquez, R.E., Gallegos, C., Treviño, N.E., y Díaz, Y. (Ed.), p. 180-181. UANL, Facultad de Agronomía y Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal FAO-ONU. Monterrey, N.L., México.

Álvarez, F. 1997. Costos de producción y comercialización del nopal-verdura (*Opuntia ficus-indica*) en Milpa Alta, D.F. En *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Vázquez, R.E., Gallegos, C., Treviño, N.E., y Díaz, Y. (Ed.), p. 198-199. UANL, Facultad de Agronomía y Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal FAO-ONU. Monterrey, N.L., México.

Aragón, N., Angeles, M.P., y Laguna, M.Y. 1990. Respuesta postcosecha del nopal *Opuntia ficus Indica* sometido a diferentes operaciones básicas. Premio ANDSA Mariano López Mateos en ciencia y tecnología de almacenamiento y conservación de alimentos 1990. México.

Badui, S. 1994. *Química de los Alimentos*. Alhambra Mexicana. México.

Bennik, M.H.J., Smid, E.J., Rombouts, F.M., y Gorris, L.G.M. 1995. Growth of psychrotrophic foodborne pathogens in a solid surface model system under the influence of carbon dioxide and oxygen. *Food Microbiology*. 12: 509-519.

Bravo-Hollis, H., y Sánchez-Mejorada, H. 1978. *Las Cactáceas de México*. Vol. 1. UNAM. México.

Bravo-Hollis, H., y Sánchez-Mejorada, H. 1991. *Las Cactáceas de México*. Vol. 3. UNAM. México.

Cantwell, M. 1992. Postharvest handling systems: minimally processed fruits and vegetables. En *Postharvest Tchnology of Horticultural Crops*. A.A Kader (Ed.), p. 277-281. University of California, E.U.A.

Cantwell, M. 1997. Introduction and information sources. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety*. Postharvest Outreach Program (Ed.), section 1. Postharvest Horticulture Series No. 10. University of Davis California, E.U.A.

Cárdenas, A., y Goycoolea, F.M. 1997. Reología del mucílago del nopal (*Opuntia ficus-indica*). En *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Vázquez, R.E., Gallegos, C., Treviño, N.E., y Díaz, Y. (Ed.), p. 171-172. UANL, Facultad de Agronomía y Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal FAO-ONU. Monterrey, N.L., México.

Cárdenas, M.L. 1996. Efecto de la Ingestión de una Dieta a Base de Nopal (*Opuntia ficus indica*) en el Crecimiento y Perfil de Colesterol Total, Lipoproteínas y Glucosa en Sangre de Ratas. M. C. ITESM, Monterrey, N.L., México.

Corrales-García, J. 1997. Postcosecha de la tuna y el nopal verdura. En *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Vázquez, R.E., Gallegos, C., Treviño, N.E., y Díaz, Y. (Ed.), p. 88-98. UANL, Facultad de Agronomía y Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal FAO-ONU. Monterrey, N.L., México.

Cremades, I., y Romero, L. 1997. Cultivo y aprovechamiento de la grana cochinilla en México. En *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Vázquez, R.E., Gallegos, C., Treviño, N.E., y Díaz, Y. (Ed.), p. 180-181. UANL, Facultad de Agronomía y Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal FAO-ONU. Monterrey, N.L., México.

Eureka, W.E., y Ryan, N.E. 1988. *The Customer-Driven Company: Managerial Perspectives on QFD*. Asi Press. Dearborn, Michigan, E.U.A.

Flickinger, B. 1999. Quality drives a growing industry. *Food Quality*. 6(2): 27-32.

Flores, C., y Aranda, G. 1997. El nopal como forraje en México. En *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Vázquez, R.E., Gallegos, C., Treviño, N.E., y Díaz, Y. (Ed.), p. 219-220. UANL, Facultad de Agronomía y Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal FAO-ONU. Monterrey, N.L., México.

Gorny, J.R. 1997. Fresh-cut product preparation. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety*. Postharvest Outreach Program (Ed.), section 7. Postharvest Horticulture Series No. 10. University of Davis California, E.U.A.

Gould, W.A. 1994. *Current Good Manufacturing Practices Food Plant Sanitation*. CTI Publications Inc. Segunda edición. Baltimore, Maryland, E.U.A.

Granados, D., y Castañeda, A.D. 1996. *El Nopal*. Trillas. México.

Hauser, J.R., y Clausing, D. 1988. The house of quality. *Harvard Business Review*. Mayo-junio: 63-73.

Hines, E. 2000. The microbiology of fresh and fresh-cut produce: studies in population control. *Food Quality*. 7(1): 18-25.

Imai, M. 1998. *KAIZEN: La Clave de la Ventaja Competitiva Japonesa*. CECOSA. México.

INEGI. 1991. *Cultivos Perennes de México, VII Censo Agropecuario*. México.

- Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. 1981. *El Nopal*. Comisión Nacional de las Zonas Áridas. México.
- International Fresh-cut Produce Association. 1996. *Food Safety Guidelines for The Fresh-cut Produce Industry*. Tercera edición. U.S.A.
- International Fresh-cut Produce Association- PMA. 1997. *Fresh-cut Produce Handling Guidelines*. Segunda edición. E.U.A.
- Kader, A.A., y Mitcham, B. 1997. Standarization of quality. En *Fresh-Cut Products: Maintaining Quality and Safety*. Postharvest Outreach Program (Ed.), section 5. Postharvest Horticulture Series No. 10. University of Davis California, E.U.A.
- Kaneko, N. 1994. *QFD: Quality Function Deployment*. Union of Japanese Scientists and Engineers. Centro de Calidad. ITESM, Campus Monterrey. México.
- Leung, W.W. 1975. *Tabla de Composición de Alimentos para Uso en América Latina*. Interamericana. México.
- Mazollier, J. 1986. *Los Productos de la 4ª Gama*. Saint Remy de Provence, Francia.
- McGarvie, D., y Parolis, H. 1981. Methylation analysis of the mucilage of *Opuntia ficus-indica*. Carbohydrate Research. 88: 305-314.
- Minolta Camera Co., Ltd. 1994. *Precise Color Communication: Color Control from Feeling to Instrumentation*. Minolta. Japón.
- Mitre, G. 1990. *La Estrella de la Calidad*. Material del curso de Sistemas de Calidad Total para el ITESM. No publicado.
- Negrete, D. 1997. Elaboración de productos a base de nopal. En *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Memorias del VII Congreso Nacional y V Congreso Internacional. Vázquez, R.E., Gallegos, C., Treviño, N.E., y Díaz, Y. (Ed.), p. 213. UANL, Facultad de Agronomía y Red Internacional de Cooperación Técnica en Nopal FAO-ONU. Monterrey, N.L., México.
- Nobel, P.S. 1998. *Los Incomparables Agaves y Cactus*. Trillas. México.
- Pedrero, D.L., y Pangborn, R.M. 1996. *Evaluación Sensorial de los Alimentos: Métodos Analíticos*. Alhambra Mexicana. México.
- Pelayo, C. 1992. Panorama de los problemas postcosecha de productos hortícolas en México. En *Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas*. E.M. Yahia e I. H. Ciapara (Ed.), p. 17-25. Limusa. México.

- Pérez, F.J. 1998. Tecnología para el procesamiento del nopal. Equipo para el desespinado del nopal verdura. *Industria Alimentaria*. 20(1): 10-11.
- Rebolledo, C. 1993. Comercialización y Nuevas Opciones de Mercado para el Nopal Verdura de Tlanepantla, Mor. Ingeniero Agrónomo. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Rodríguez, A. 1992. Manejo postcosecha de frutas menores en México. En *Fisiología y Tecnología Postcosecha de Productos Hortícolas*. E.M. Yahia e I. H. Ciapara (Ed.), p. 217-227 Limusa. México.
- Rodríguez, J. 1995. Reducción de la Salida de Mucílago en el Nopal (*Opuntia ficus indica*) Durante las Fases de Hidratación. Ingeniero Agroindustrial. Universidad Autónoma de Chapingo, México.
- Rodríguez-Félix, A. 1999. Fisiología y tecnología postcosecha de nopalitos. En *Conocimiento y Aprovechamiento del Nopal*. Memorias del VIII Congreso Nacional y VI Congreso Internacional. Aguirre, J.R., y Reyes, J.A. (Ed.), p. 211-224. Universidad Autónoma de San Luis Potosí, S.L.P. México.
- Rodríguez-Félix, A., y Villegas-Ochoa, M.A. 1998. Postharvest handling of cactus leaves (nopalitos). En *Cactus Pear and Nopalitos Processing and Uses*. Internatinal Symposium. C. Sáenz-Hernández (Ed.). Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales de la Universidad de Chile. FAO International Cooperation Network on Cactus Pear. Santiago, Chile.
- Sapers, G.M., Hicks, K.B., Phillips, J.G., Garzarella, L., Pondish, D.L., Matulaitis, R.M., McCormack, T.J., Sondey, S.M., Seib, P.A., y Ei-Atawy, Y.S. 1989. Control of enzymatic browning in apple with ascorbic acid derivatives, polyphenol oxidase inhibitors, and complexing agents. *J. Food Sci.* 54(4): 997-1002.
- Sapers, G.M., Miller, R.L., Miller, F.C., Cooke, P.H., y Choi, S. 1994. Enzymatic browning control in minimally processed mushrooms. *J. Food Sci.* 59(5): 1042-1047.
- Sapers, G.M., y Ziolkowski, M.A. 1987. Comparison of erythorbic and ascorbic acids as inhibitors of enzymatic browning in apple. *J. Food. Sci.* 52(6): 1732-1734.
- Secretaría de Salud. 1993. Norma Oficial Mexicana NOM-041-SSA1-1993. Bienes y servicios. Agua purificada envasada. Especificaciones sanitarias.
- Secretaría de Salud. 1994. Norma Oficial Mexicana NOM-093-SSA1-1994. Bienes y servicios. Prácticas de higiene y sanidad en la preparación de alimentos que se ofrecen en establecimientos fijos.
- Serna, S.R. 1996. *Química, Almacenamiento e Industrialización de los Cereales*. AGT Editor, S.A. México.

Taguchi, G., Konishi, S., Wu, Y., y Taguchi, S. 1987. *El Método Taguchi: Arreglos Ortogonales y Gráficas Lineales; Herramientas para Ingeniería de Calidad*. ASI Press - Centro de Calidad ITESM. Monterrey, México.

Tannehill, R.E. 1980. *Enriquecimiento del Trabajo*. Publicaciones Ejecutivas de México. México.

Velazco, J., Vega, M., y Morales, S. 1998. Curso de Análisis de Riesgos y Puntos Críticos de Control. Programa de Investigación, Desarrollo y Extensión de la División de Agricultura y Tecnología de Alimentos. ITESM, Campus Monterrey, México.

http://www.nopal.com/benefits_link.html#Colon. "Nopal, benefits"

http://www.webshed.com/ns/nopal_ic1.htm. "Nopal, an abundant nutritional reservoir"

<http://vm.cfsan.fda.gov/lrd/part110t.txt>. "Current Good Manufacturing Practice in Manufacturing, Packing or Holding Human Food".

ANEXO 1

Encuesta aplicada en los centros comerciales

Buenos días, estamos realizando una investigación para conocer datos acerca del consumo de nopal en Monterrey, agradecemos su colaboración.

1. ¿Consume usted nopal?

Sí

No

Por qué _____

2. ¿Con que frecuencia consume nopal?

Veces al día

Veces a la semana

Veces al mes

De vez en cuando

¿Otro? Especifique _____

3. ¿Cómo prepara los nopales en casa?

En licuado

En ensalada

En escabeche

En salsa

Guisado con huevo

Guisado con carne

Otros _____

4. ¿Le interesaría encontrar nopal fresco cortado, listo para preparar o comerse en crudo?

Sí

No

¿Por qué? _____

5. ¿Cómo le gustaría la textura del nopal crudo?

Fibroso (correoso)

Crujiente (firme)

Suave

Muy suave

Otros _____

6. En cuanto al grosor de la penca, ¿ cómo le gustaría?

Muy gruesa

Gruesa

Ni gruesa, ni delgada

Delgada

Muy delgada

7. ¿Cómo le gustaría la presentación del nopal?

En cuadros pequeños

En tiras

En penca entera

Otros _____

¿Por qué? _____

8. ¿Qué color prefiere usted en el nopal fresco?

Más oscuro que la referencia

Como la referencia

Más claro que la referencia

¿Por qué? _____

9. ¿Cuál es el sabor característico que usted esperaría en el nopal fresco?

- Muy ácido
- Ácido
- Poco ácido
- No ácido

Otro ¿Cuál? _____

10. En cuanto a la presencia de baba en el nopal, ¿qué preferiría?

- Mucha baba
- Poca baba
- Sin baba

¿Por qué? _____

11. ¿Le gusta la bolsa de este producto?

- Sí
- No

¿Por qué? _____

12. ¿Le gusta la bolsa de este producto?

- Sí
- No

¿Por qué? _____

13. ¿Cuánto tiempo esperaría que le durara este producto de nopal en el refrigerador?

14. ¿Dónde le gustaría encontrar este producto?

- Supermercados
- Tiendas como OXXO y 7 Eleven
- Fruterías

Otro _____

15. ¿Cuánto estaría dispuesto a pagar por este producto?

- \$5 a \$10
- \$11 a \$15
- \$16 a \$20
- \$21 a \$25

Otro _____

16. Datos demográficos:

- Edad _____
- ¿Cuántas personas viven con usted? _____
- ¿De cuánto tiempo dispone usted para la compra de alimentos? _____
- ¿De cuánto tiempo dispone usted para cocinar? _____

ANEXO 2

Encuesta de ponderación de requerimientos del cliente

Agradecemos su colaboración. Estamos realizando esta encuesta para conocer cuáles son las características que usted considera más importantes a la hora de comprar nopal precortado.

Nopal precortado es aquel producto de nopal crudo, el cual viene cortado en cuadritos o sólo desespinado en bolsas de plástico y que está listo para consumirse, es decir, ya está lavado y desinfectado.

Instrucciones: por favor, utilice la siguiente escala para evaluar las características de calidad del nopal precortado. Escriba la letra que más se adapte según su criterio en cada renglón.

- A Muy Importante
- B Importante
- C Medianamente importante
- D Indiferente
- E Nada Importante

LETRA

Que el nopal esté crujiente (que truene al morder).	
Que tenga el color característico del nopal (como si estuviera recién cortado).	
Que el sabor sea poco ácido o no ácido.	
Que no presente baba o que presente poca baba.	
Que se vea fresco.	
Que sea la variedad gustada por el cliente.	
Que no presente oxidación (que no se ponga café o negro en las orillas).	
Que dure 13 días desde su proceso.	
Que venga cortado en cuadros pequeños en la bolsita.	
Que venga en penca entera sin espinas en la bolsita.	
Que se utilice la presentación mostrada (ver la bolsa de plástico).	
Que esté cortado de manera uniforme.	
Que la penca del producto tenga grosor medio.	
Que se encuentre en supermercados.	
Que cueste de 5 a 10 pesos (presentación de 450g).	

ANEXO 3

Encuesta de comparación de la competencia

Agradecemos su colaboración. Estamos realizando esta encuesta para comparar algunos productos de nopal con respecto a lo que el cliente considera importante.

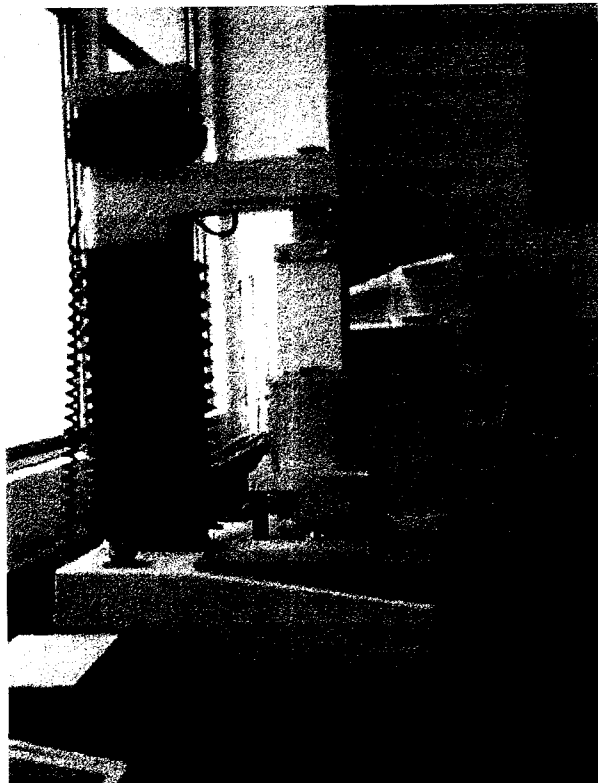
Instrucciones: por favor, utilice la siguiente escala para evaluar las características de calidad que poseen los dos productos mostrados a continuación.

- 5 Se pega mucho
- 4 Se pega lo suficiente
- 3 Se pega medianamente
- 2 Se pega ligeramente
- 1 No se pega nada

	Muestras	
	A	B
Que el nopal esté crujiente (que truene al morder).		
Que tenga el color característico del nopal (como si estuviera recién cortado).		
Que el sabor sea poco ácido o no ácido.		
Que no presente baba o que presente poca baba.		
Que se vea fresco.		
Que sea la variedad gustada por el cliente.		
Que no presente oxidación (que no se ponga café o negro en las orillas).		
Que venga cortado en cuadros pequeños en la bolsita.		
Que esté cortado de manera uniforme.		
Que la penca del producto tenga grosor medio.		

ANEXO 4

Medición de textura



**Texture Analyser TA-XT2i (Stable Micro Systems)
Acondicionado con Célula de Kramer y 5 cuchillas
Ensayo de compresión - extrusión**

ANEXO 5

Medición de color



Colorímetro Minolta CR-300
Sistema CIEL*a*b*, multicalibrado

ANEXO 6

Arreglo ortogonal de Taguchi

Tratamiento	Variedad	Material de envase	CaCl ₂ (%)	ac. cítrico (%)	ac. ascórbico (%)	conservadores
1	Villanueva	Polietileno	0	0	0	Nada
2	Italiano	PD-961 EZ	0.05	0.25	0.1	Citricidal 260ppm
3	Imperial	CP-9250	0.1	0.5	0.2	Ac. láctico 0.1%
4	Villanueva	Polietileno	0.05	0.25	0.2	Ac. láctico 0.1%
5	Italiano	PD-961 EZ	0.1	0.5	0	Nada
6	Imperial	CP-9250	0	0	0.1	Citricidal 260ppm
7	Villanueva	PD-961 EZ	0	0.5	0.1	Ac. láctico 0.1%
8	Italiano	CP-9250	0.05	0	0.2	Nada
9	Imperial	Polietileno	0.1	0.25	0	Citricidal 260ppm
10	Villanueva	CP-9250	0.1	0.25	0.1	Nada
11	Italiano	Polietileno	0	0.5	0.2	Citricidal 260ppm
12	Imperial	PD-961 EZ	0.05	0	0	Ac. láctico 0.1%
13	Villanueva	PD-961 EZ	0.1	0	0.2	Citricidal 260ppm
14	Italiano	CP-9250	0	0.25	0	Ac. láctico 0.1%
15	Imperial	Polietileno	0.05	0.5	0.1	Nada
16	Villanueva	CP-9250	0.05	0.5	0	Citricidal 260ppm
17	Italiano	Polietileno	0.1	0	0.1	Ac. láctico 0.1%
18	Imperial	PD-961 EZ	0	0.25	0.2	Nada

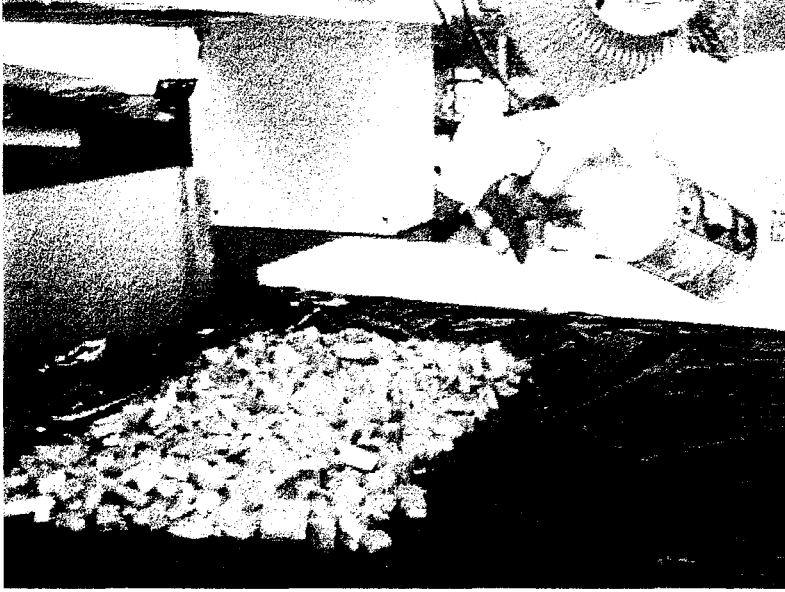
ANEXO 7

Proceso de desespinado



ANEXO 8

Proceso de asperjado de aditivos



ANEXO 9

Proceso de secado



ANEXO 10

Encuesta para prueba de nivel de agrado

Panelista No. _____

¡Buenos días! Nos gustaría conocer su opinión sobre un producto de nopal precortado crudo. Puede consumir este producto con toda confianza, ya que ha sido lavado y desinfectado.

INSTRUCCIONES

1. Por favor tome un sorbo de agua.
2. Pruebe la muestra de nopal y evalúe las siguientes características:
 - a) Apariencia
 - b) Color
 - c) Aroma
 - d) Sabor
 - e) Textura
3. Si lo necesita, puede usted probar la muestra de nuevo enjuagando previamente su boca con un sorbo de agua.
4. Marque con una cruz la opción que mejor represente lo que piensa del nopal que probó.
5. Si tiene alguna duda, por favor pregúntele a su asesor.

<p>1. La <u>apar</u>encia de este nopal.....</p> <p>_____ Me gusta muchísimo</p> <p>_____ Me gusta mucho</p> <p>_____ Me gusta moderadamente</p> <p>_____ Me gusta poco</p> <p>_____ Ni me gusta ni me disgusta</p> <p>_____ Me disgusta poco</p> <p>_____ Me disgusta moderadamente</p> <p>_____ Me disgusta mucho</p> <p>_____ Me disgusta muchísimo</p> <p>¿Por qué? _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>	<p>2. El <u>color</u> de este nopal.....</p> <p>_____ Me gusta muchísimo</p> <p>_____ Me gusta mucho</p> <p>_____ Me gusta moderadamente</p> <p>_____ Me gusta poco</p> <p>_____ Ni me gusta ni me disgusta</p> <p>_____ Me disgusta poco</p> <p>_____ Me disgusta moderadamente</p> <p>_____ Me disgusta mucho</p> <p>_____ Me disgusta muchísimo</p> <p>¿Por qué? _____</p> <p>_____</p> <p>_____</p>
--	--

Por favor pase a la siguiente página....

3. El aroma de este nopal.....

- _____ Me gusta muchísimo
- _____ Me gusta mucho
- _____ Me gusta moderadamente
- _____ Me gusta poco
- _____ Ni me gusta ni me disgusta
- _____ Me disgusta poco
- _____ Me disgusta moderadamente
- _____ Me disgusta mucho
- _____ Me disgusta muchísimo

¿Por qué? _____

4. El sabor de este nopal.....

- _____ Me gusta muchísimo
- _____ Me gusta mucho
- _____ Me gusta moderadamente
- _____ Me gusta poco
- _____ Ni me gusta ni me disgusta
- _____ Me disgusta poco
- _____ Me disgusta moderadamente
- _____ Me disgusta mucho
- _____ Me disgusta muchísimo

¿Por qué? _____

5. La textura de este nopal.....

- _____ Me gusta muchísimo
- _____ Me gusta mucho
- _____ Me gusta moderadamente
- _____ Me gusta poco
- _____ Ni me gusta ni me disgusta
- _____ Me disgusta poco
- _____ Me disgusta moderadamente
- _____ Me disgusta mucho
- _____ Me disgusta muchísimo

¿Por qué? _____

6. Datos adicionales:

Edad _____

Sexo _____

Ocupación _____

¿Estaría usted dispuesto a comprar este producto precortado (lavado y desinfectado, listo para cocinarse o consumirse en crudo)? _____

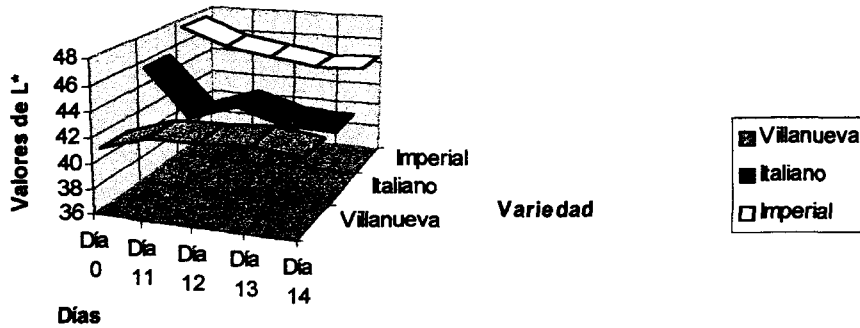
¿Por qué? _____

¡ MUCHAS GRACIAS !

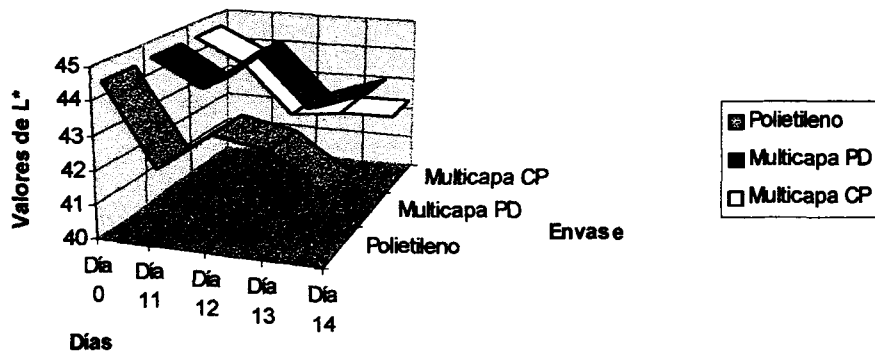
ANEXO 11

Gráficas de tendencia para las variables L^* y tono

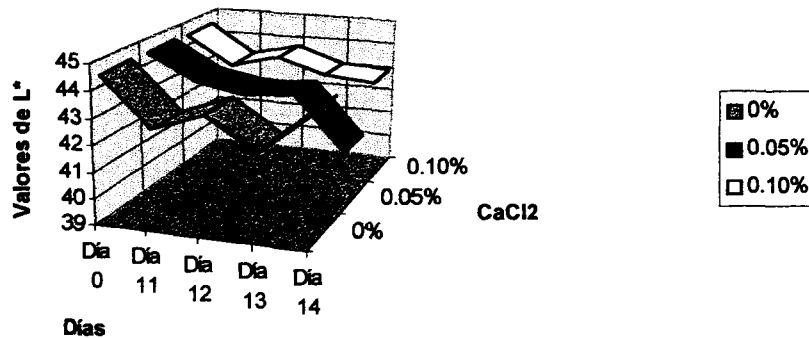
Comportamiento de los valores de L^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de variedad de nopal



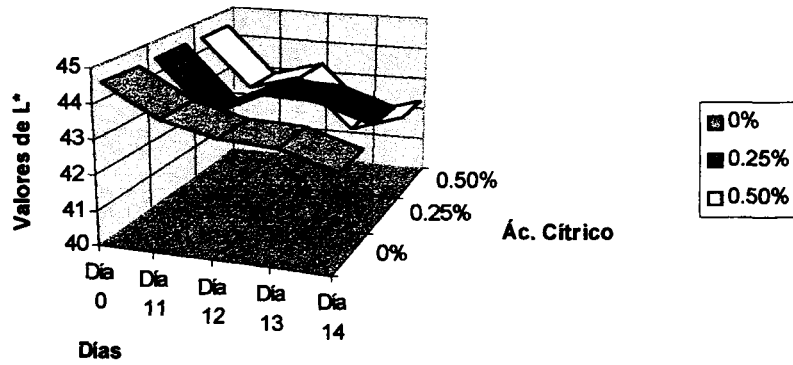
Comportamiento de los valores de L^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de material de envase



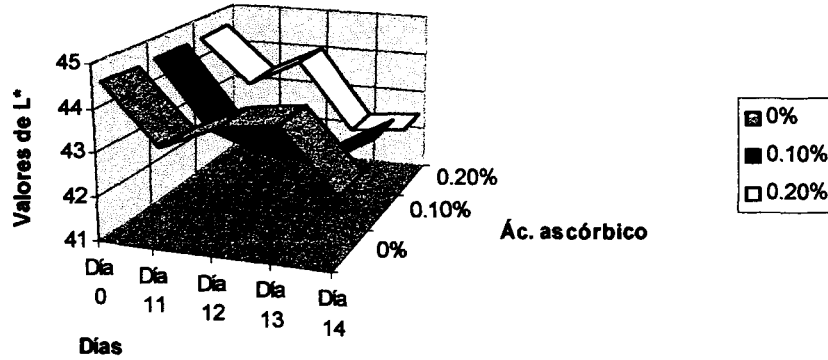
Comportamiento de los valores de L^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de CaCl_2



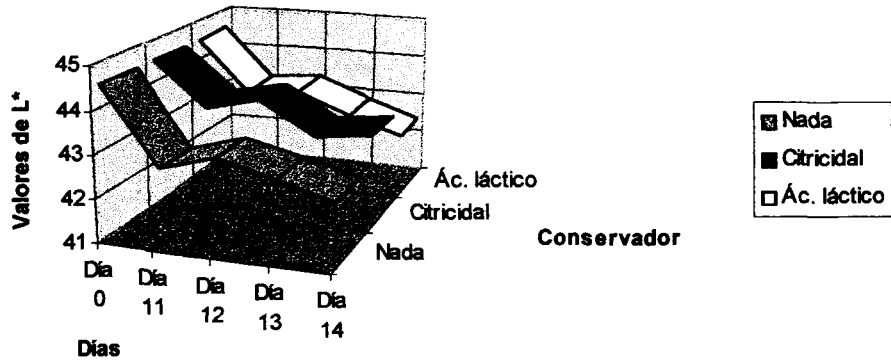
Comportamiento de los valores de L* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de ácido cítrico



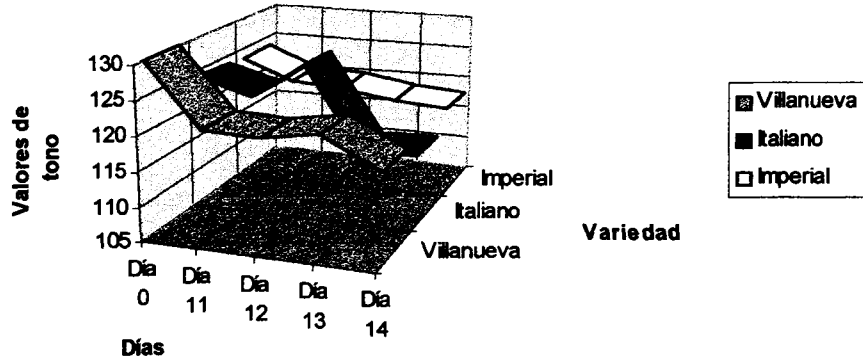
Comportamiento de los valores de L* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de ácido ascórbico



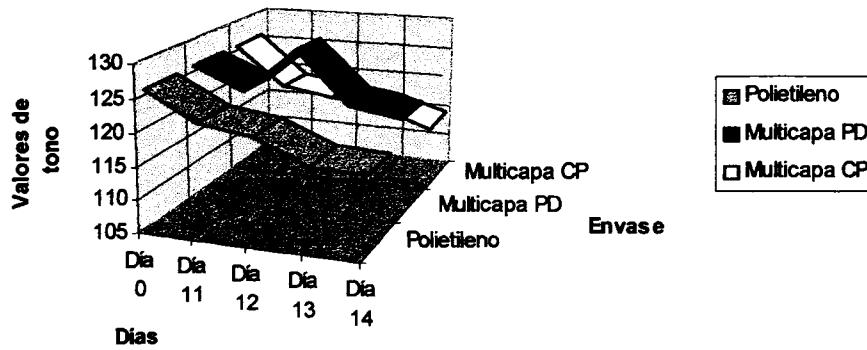
Comportamiento de los valores de L* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel conservador



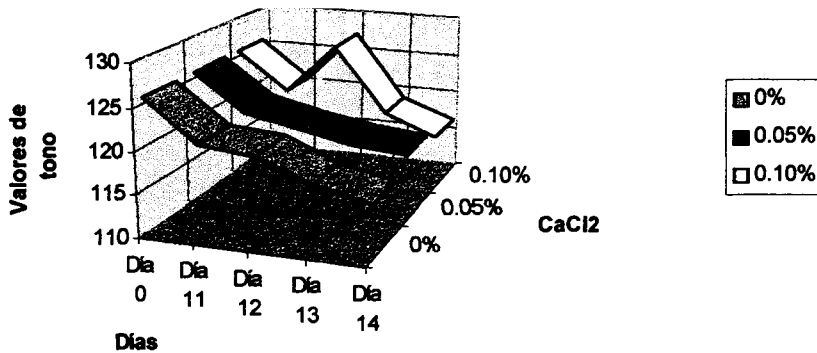
Comportamiento de los valores de tono durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de variedad de nopal



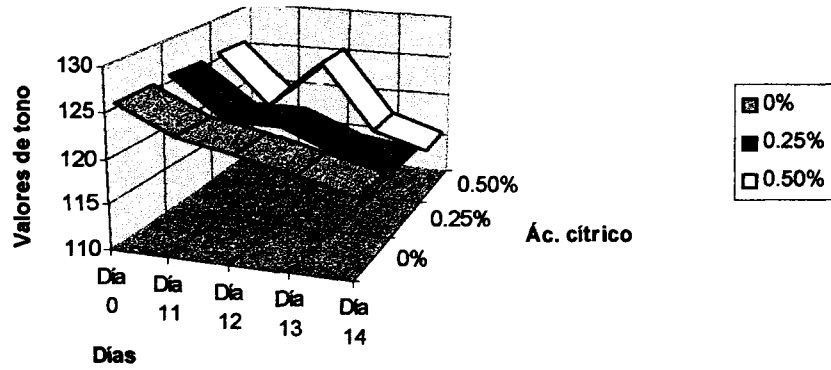
Comportamiento de los valores de tono durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de material de envase



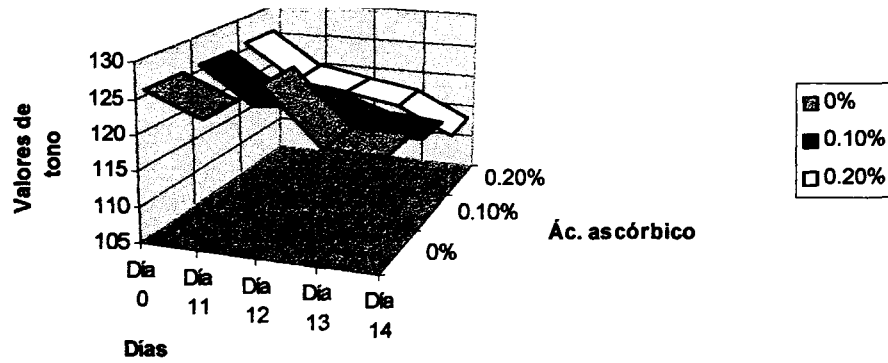
Comportamiento de los valores de tono durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de CaCl2



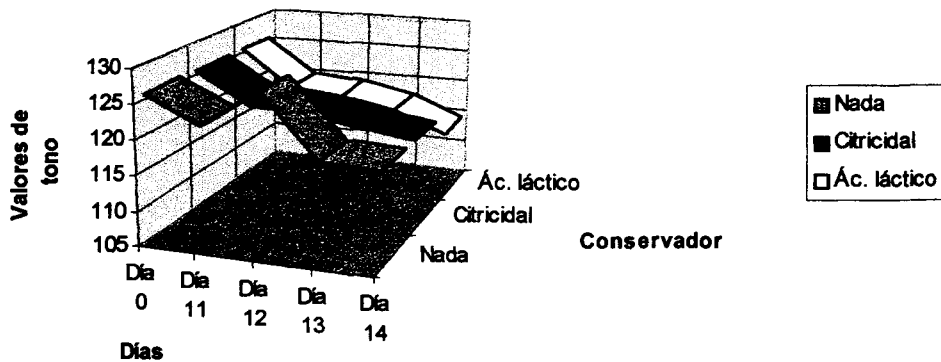
Comportamiento de los valores de tono durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de ácido cítrico



Comportamiento de los valores de tono durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de ácido ascórbico

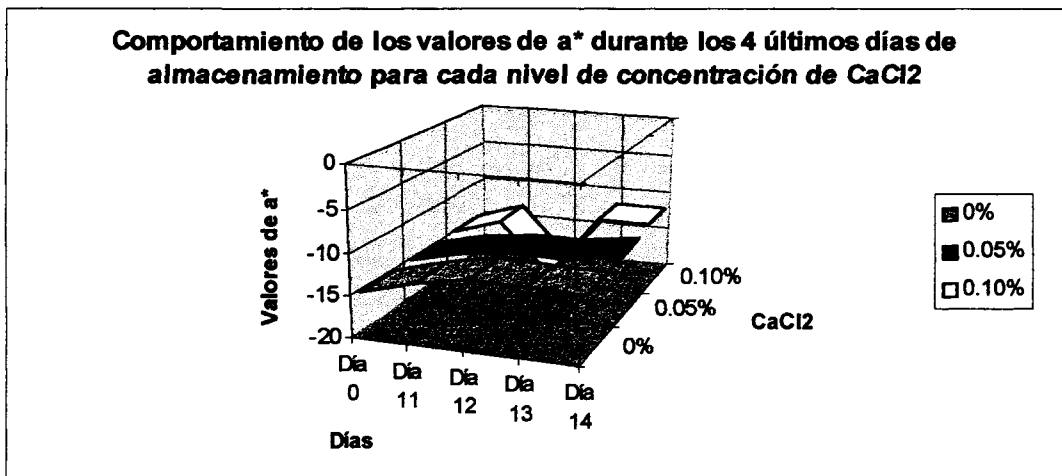
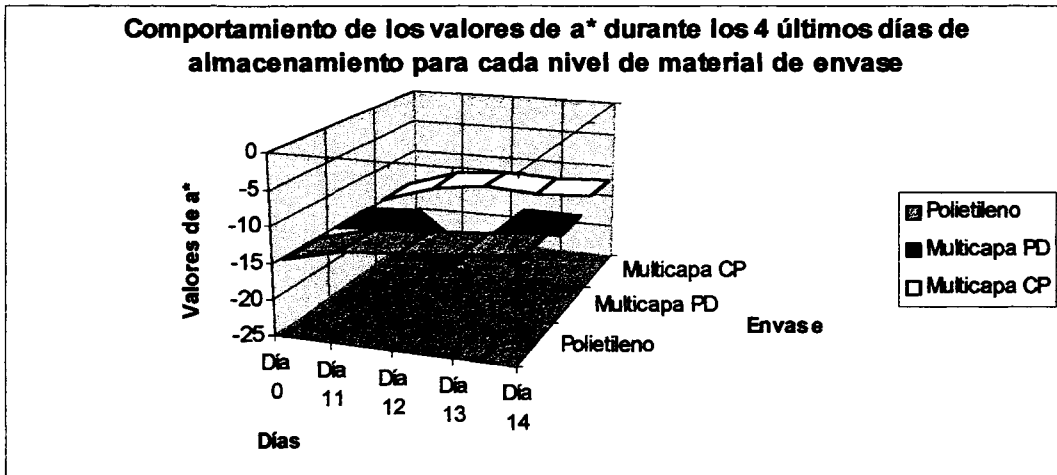
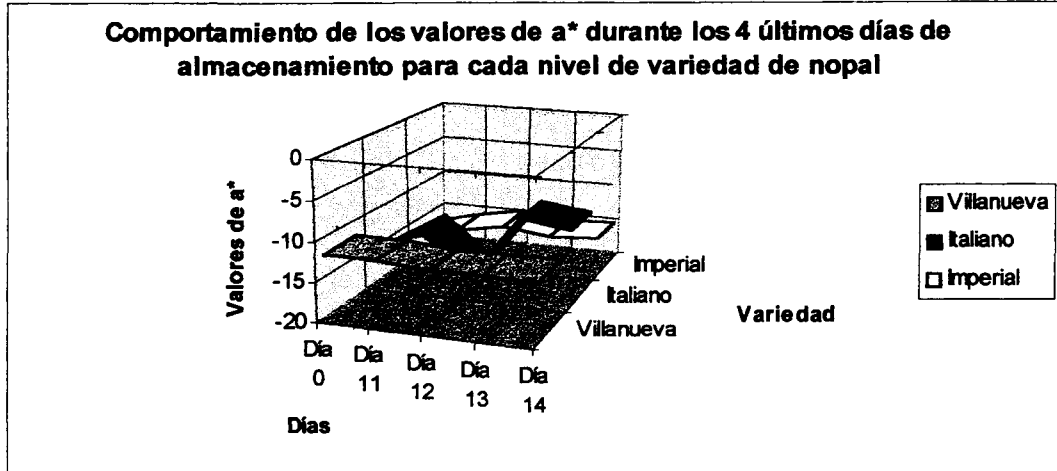


Comportamiento de los valores de tono durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel conservador

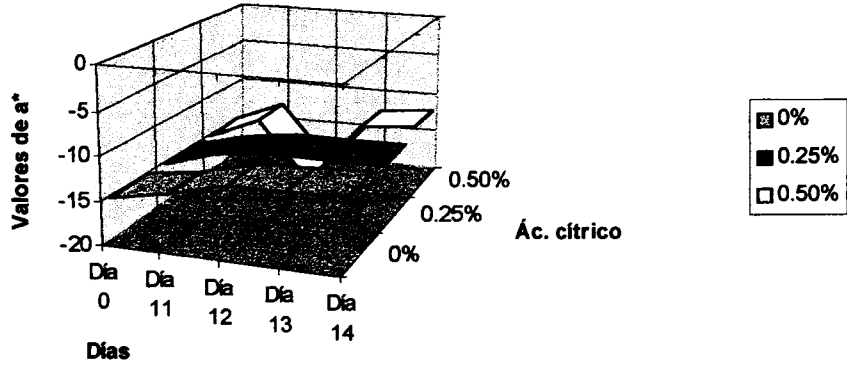


ANEXO 12

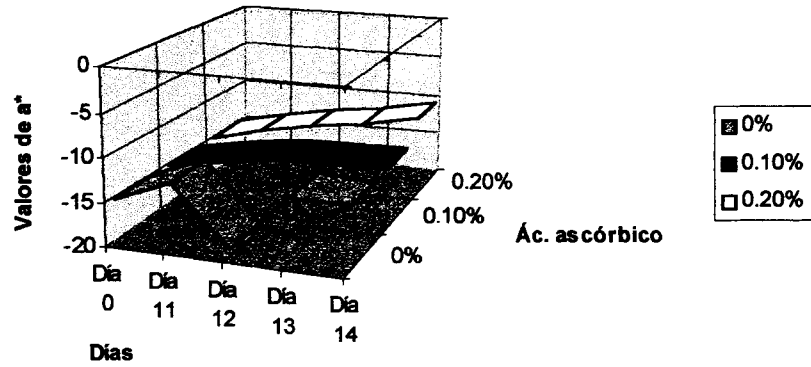
Gráficas de tendencia para las variables a^ y b^**



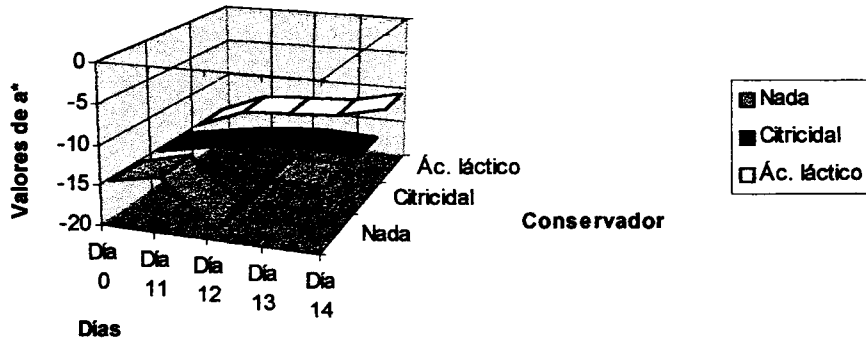
Comportamiento de los valores de a^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de ácido cítrico



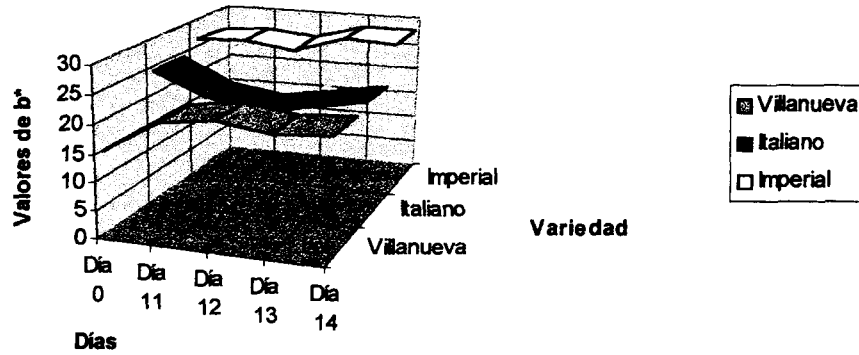
Comportamiento de los valores de a^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de ácido ascórbico



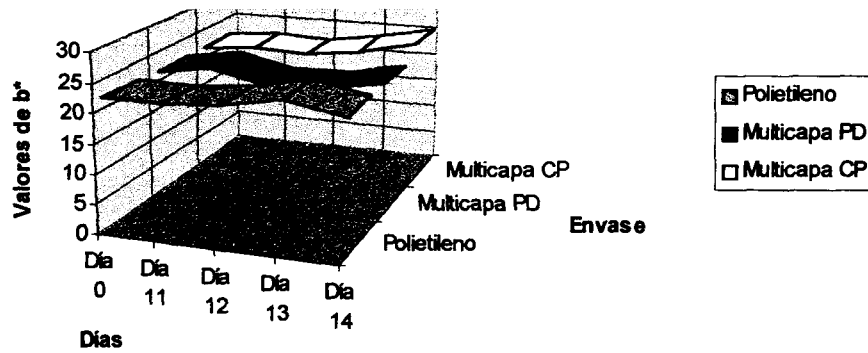
Comportamiento de los valores de a^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel conservador



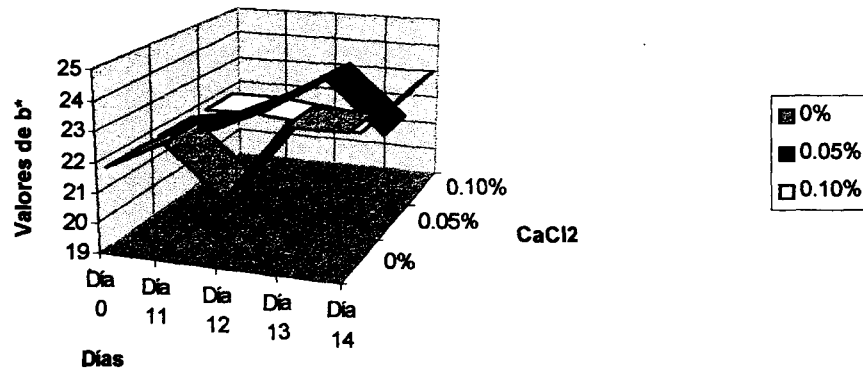
Comportamiento de los valores de b^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de variedad de nopal



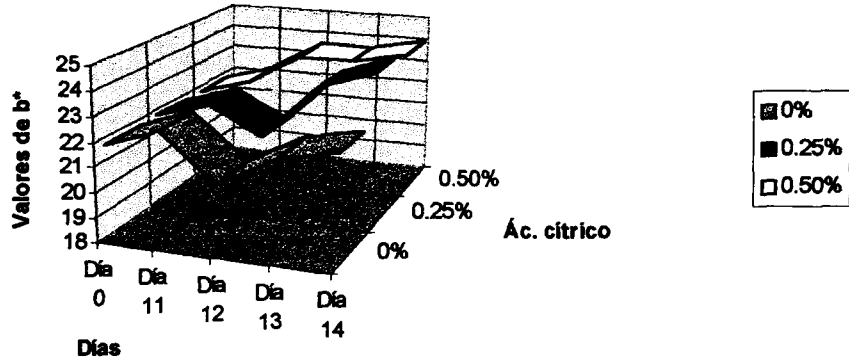
Comportamiento de los valores de b^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de material de envase



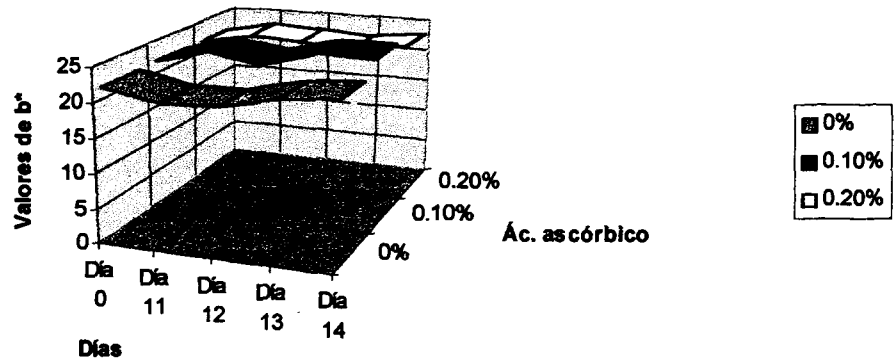
Comportamiento de los valores de b^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de CaCl_2



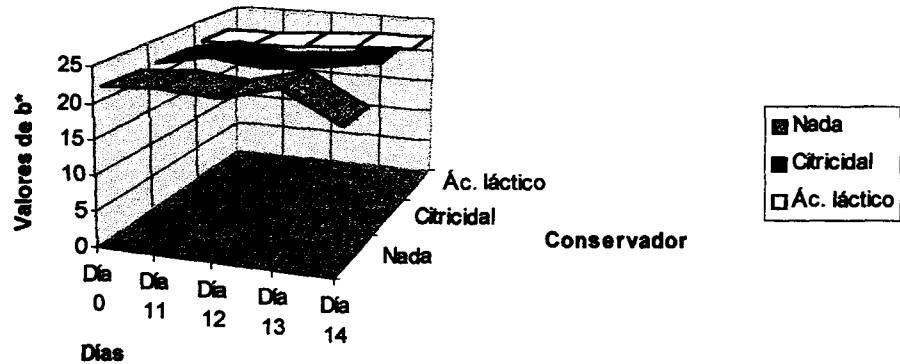
Comportamiento de los valores de b^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de ácido cítrico



Comportamiento de los valores de b^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel de concentración de ácido ascórbico



Comportamiento de los valores de b^* durante los 4 últimos días de almacenamiento para cada nivel conservador



Centro de Información-Biblioteca



30002005824297