



Universidad Nacional Autónoma de México

Facultad de Química

*Trabajo Monográfico de actualización: “Tecnología de conservación y manejo de nopal (*Opuntia ficus indica*) post cosecha.*

Que para obtener el título de
QUÍMICA DE ALIMENTOS

Presenta.
NATALIA CAMARGO PIÑA



México, D.F.

2014



Universidad Nacional
Autónoma de México



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

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

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

JURADO ASIGNADO.

PRESIDENTE	Prof. Arturo Navarro Ocaña
VOCAL	Prof. Juan Diego Ortiz Palma Pérez
SECRETARIO	Prof. Agustín Reyo Herrera
1er. SUPLENTE	Prof. Alberto Tecante Coronel
2° SUPLENTE	Prof. Jorge Arturo Aburto Anell

SITIO DONDE SE DESARROLLÓ EL TEMA:

Facultad de Química. UNAM.

ASESOR DEL TEMA.

Q.F.B. Agustín Reyo Herrera

SUSTENTANTE.

Natalia Camargo Piña

ÍNDICE.

	Página
I. Resumen	1
II. Introducción	2
III. Justificación	4
IV. Objetivo general y particular	5
V. Importancia del Nopal (<i>Opuntia ficus indica</i>)	5
VI. Composición química y bromatológica	9
VII. Generalidades	15
i. Clasificación botánica	15
ii. Morfología y metabolismo	16
iii. Proceso de descomposición del cladodio	19
iv. Manejo, almacenamiento y distribución de nopal	24
Capítulo I. Nopal mínimamente procesado	30
1.1 Recubrimientos comestibles	31
1.2 Atmósferas modificadas	36
1.3 Refrigeración	41
1.4 Tratamiento químico	43
Capítulo II. Nopal deshidratado	45
Capítulo III. Procesamiento de nopal para la industria de alimentos	56
Conclusiones	62
Bibliografía	64

I. RESUMEN

Los nopales pertenecen a la familia *Cactácea* y al género *Opuntia*. Se conocen alrededor de 300 especies del género *Opuntia*. Sin embargo, hay sólo 10 o 12 especies que hasta ahora han sido utilizadas por el hombre para consumo directo, forraje o para la obtención de colorantes mediante el crecimiento de grana cochinilla (*Dactylopius coccus*).

Su origen e historia están relacionados con las antiguas civilizaciones mesoamericanas, en particular con la cultura azteca. Las propiedades medicinales del nopal se hicieron notar atribuyéndoseles cualidades como: anti-inflamatorio, diurético y antiespasmódico.

El conocimiento de su composición química es indispensable para tener éxito en la elección de las tecnologías de procesamiento y conservación a fin de obtener productos inocuos, nutritivos y de alta calidad. Esta verdura es rica en fibra dietética y su contenido de hierro es comparable al de varias hortalizas, entre ellas la espinaca. Se pueden encontrar minerales y vitaminas, entre ellos el calcio y el potasio, posee bajo contenido de sodio, carotenoides y vitamina C. Recientemente, existen referencias sobre compuestos como: gomas, colorantes y fructooligosacáridos (FOS) que pueden ser extraídos y utilizados para formular enriqueciendo la gama de aditivos naturales para las industrias Alimentaria Farmacéutica, Cosmética y Química

La posibilidad de utilización y conservación del nopal es de especial interés para el sector agroindustrial y para la Industria alimentaria. Por tal motivo, en el presente trabajo se compilarán los métodos reportados para la conservación de esta verdura, generando productos que atiendan las necesidades del consumidor y que permitan mantener sus cualidades nutrimentales y sensoriales.

II. INTRODUCCIÓN

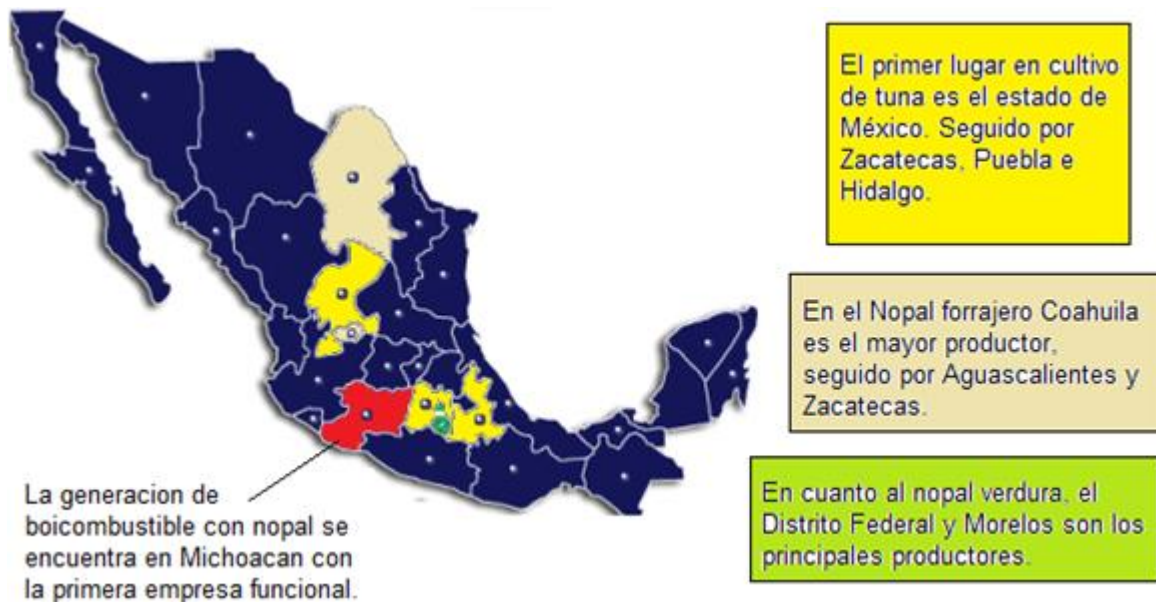
Los nopales han sido utilizados desde épocas prehispánicas y están relacionados con antiguas civilizaciones, en particular la cultura azteca, esta planta ha sido un elemento importante en el desarrollo del pueblo y cultura de México desde tiempos inmemoriales, su importancia se centra en la vida social, económica y religiosa, ya que fue utilizado en celebraciones, curación de enfermedades, como producto alimenticio y como planta de ornato.

Los nopales pertenecen al género *Opuntia* y a la familia de las cactáceas, estas plantas se adaptan a medios ambientes secos, fluctuaciones de temperatura y tienen gran resistencia a la sequía. Estas plantas poseen características morfológicas y fisiológicas particulares que les permiten almacenar y conservar el agua en sus tejidos, con lo cual sobreviven a su escasez y a las marcadas variaciones de temperatura características de las zonas áridas y semiáridas.

El nopal como la mayoría de las cactáceas es una planta que no tiene hojas, lo que se observa en el nopal son sus tallos en forma de raquetas, las cuales botánicamente son conocidas como cladodios o pencas. Estos cladodios están compuestos en su mayoría por agua que se encuentra retenida en un entramado de carbohidratos conocidos como mucilagos; si se llegara a cortar por la mitad un cladodio no saldría agua sino baba de nopal, una sustancia pegajosa. Otra característica de esta planta es que tiene espinas, el tipo y la cantidad es variable y depende de las condiciones del medio donde vive.

Las cactáceas son plantas que se adaptan perfectamente a los medios ambientes secos; aunque estas plantas proliferan en zonas áridas, se ha logrado reproducir en diversas regiones de la Republica Mexicana como se muestra en la Figura 1. Entre los principales estados productores de nopal se encuentran: Distrito Federal, Morelos, Puebla y el Estado de México.

Figura 1. Distribución geográfica de Nopal en México.



FUENTE: PLAN RECTOR DEL SISTEMA PRODUCTO NOPAL Y TUNA DEL ESTADO DE MICHOACÁN (2012)

Actualmente se ha puesto poca atención al cultivo de nopal y a su desarrollo a gran escala, su consumo se ha limitado a la distribución y consumo en fresco. Sin embargo, existe un problema en el consumo del nopal verdura fresca debido al rápido deterioro que sufre post cosecha. Los principales cambios son la degradación de color y pérdida de textura.

Durante la recolección y el almacenamiento tienen lugar numerosos cambios debido a que los alimentos se exponen a condiciones que influyen en su deterioro. Las condiciones en que se almacenan pueden influir en las características de calidad, principalmente en la textura, color, aroma, sabor y valor nutritivo. Entre las condiciones que causan estas alteraciones se encuentran la temperatura, la humedad, la concentración de oxígeno y CO₂, el aire y la luz.

El deterioro puede deberse a diversos factores físicos, químicos y biológicos post cosecha. Los daños físicos pueden producirse durante la recolección, distribución y venta, originados por golpes y por el incorrecto manipuleo.

Los agentes químicos se manifiestan principalmente durante el almacenamiento debido a reacciones provocadas primordialmente por el exceso de calor y humedad. El deterioro por agentes biológicos se puede originar por la actividad de microorganismos y enzimas.

Aunado a los factores mencionados, condiciones inadecuadas de almacenamiento generan el incremento en la concentración de CO₂ y como consecuencia, se potencia la susceptibilidad a ciertas enfermedades y la permeabilidad de la membrana celular generando el deterioro en un corto tiempo.

Existen diferentes métodos de conservación que se pueden aplicar al nopal, con el objetivo de mejorar las condiciones de almacenamiento y extender la vida útil del producto. Entre los métodos más utilizados se encuentran los tratamientos con calor, empleo de frío, aditivos químicos, eliminación de agua e inhibición de enzimas entre otros.

III. JUSTIFICACIÓN

El presente documento se elabora con el fin de dar a conocer las principales características, propiedades, beneficios y métodos de conservación del nopal. La información que se presenta destaca la importancia del manejo post cosecha del nopal, así como los métodos de conservación con el fin de mejorar las condiciones de almacenamiento y extender la vida útil del producto. Cabe destacar que a pesar de que existe mucha información sobre el procesamiento y aprovechamiento de este recurso, esta se encuentra de forma dispersa y no clasificada.

IV. OBJETIVO GENERAL Y PARTICULAR

Objetivo General.

- ✓ Recopilar información útil y actualizada sobre los métodos de conservación de nopal (*Oputia ficus indica*).
- ✓ La información obtenida servirá como guía para su aprovechamiento y evitar las mermas en la producción nopalera que no se consume en fresco (verdura) y que significa una fuente nutrimental importante.

Objetivo Particular.

De los métodos de conservación reportados, analizar ventajas y desventajas para el aprovechamiento integral del nopal.

V. IMPORTANCIA DEL NOPAL (*Opuntia ficus indica*)

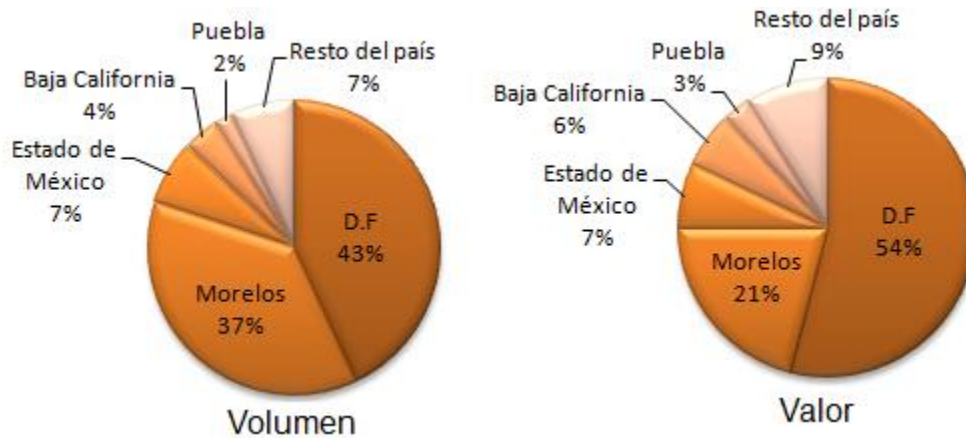
El nopal destaca por ser una verdura muy económica y con un sin número de aplicaciones. Existen en el mercado variados tipos de productos, marcas y formas de presentación. Es el caso de los nopalitos en salmuera, los nopalitos en escabeche, las salsas de nopalito, la mermelada de nopalito, los nopalitos confitados y el jugo de nopal. La utilización de harina de nopal en la industria elaboradora de cereales para el desayuno, es una incorporación novedosa en un producto que se comercializa actualmente (Sáenz, 2006).

Debido a los múltiples usos, el nopal es cultivado en diferentes países entre los que se encuentran: Alemania, Argentina, Bolivia, Brasil, Chile, Cuba, Egipto, España, Estados Unidos, Etiopía, Grecia, India, Irak, Israel, Italia, Marruecos, México, Sudáfrica, entre otros (INEGI, 2007).

El nopal verdura es de gran importancia en la agricultura mexicana, pues ocupa la cuarta posición en importancia respecto al volumen producido, al presentar el 7.2% del total, después del jitomate (19.2%), el chile verde (19.0%) y la cebolla (11.6%). En cuanto a la superficie sembrada, en el 2009 el nopal verdura ocupó el 2.2% de la superficie sembrada de hortalizas en México (Financiera Rural, 2011).

Los principales productores de nopalitos en México son el Distrito federal y Morelos. En el año 2009, el Distrito Federal produjo 322 mil toneladas, aportando así un volumen total de 43.3%, con un valor de 775 millones de pesos. Mientras que Morelos produjo 274 mil toneladas, correspondiente a un volumen del 36.9% y con un valor de 304 millones de pesos. Otras entidades cuya producción de nopalito son importantes son: Estado de México, Baja California y Puebla. (Financiera Rural, 2011; Figura 2).

Figura 2. Principales estados productores de Nopalito en Mexico, 2009.



FUENTE: FINANCIERA RURAL (2011).

Dentro de las posibilidades de transformación del cladodio, se ha estudiado la obtención y caracterización del mucílago, obteniéndose un producto de sabor y aroma neutro. Este puede potencialmente ser utilizado como agente espesante en mermeladas y confitados de harina de nopal, producto de gran interés por su alto aporte de fibra dietética.

Tiene excelentes usos forrajeros como complemento con alimentos fibrosos en la alimentación animal, en pastoreo o de silo. Además, es base para dulces cristalizados, mermeladas y jaleas, edulcorantes, harinas y jugos concentrados. Materia prima para la industria de cosméticos. Entre los productos cosméticos se encuentran: jabones, champú, enjuagues, lociones, cremas humectantes y pomadas. En estos productos el nopal es un ingrediente que representa volúmenes mínimos dentro del consumo final.

Por otra parte, la pulpa deshidratada del nopal da por resultado un material fibroso. La función medicinal se basa, como cualquier otra fibra natural en favorecer el proceso digestivo, reduciendo el riesgo de problemas gastrointestinales y ayudando en los tratamientos contra la obesidad.

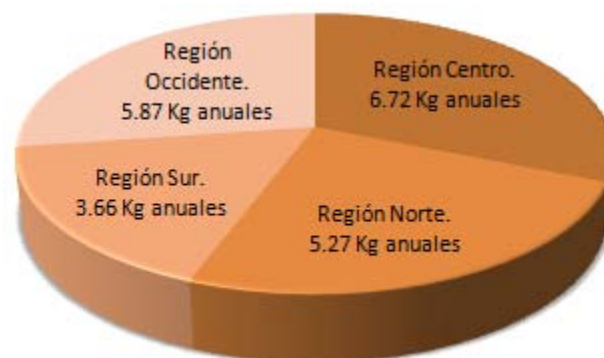
Los cladodios también ofrecen beneficios para la salud, por lo que puede considerarse como un alimento funcional. Entre las propiedades benéficas que posee se encuentra el aporte de fibra soluble e insoluble.

La fibra dietética presente en el nopal es de los más estudiados por su relación con la salud (control de colesterol y prevención de enfermedades como diabetes y obesidad). La fibra está constituida por diferentes componentes como celulosa, hemicelulosa y lignina, los cuales son resistentes a enzimas digestivas. La fibra se clasifica en soluble e insoluble dependiendo de su solubilidad en agua. La fibra soluble está conformada por mucílagos, gomas, pectinas y hemicelulosa, mientras que la fibra insoluble es primordialmente celulosa, lignina y hemicelulosa.

Debido a su composición, la fibra soluble e insoluble se asocian a efectos fisiológicos distintos. La fibra soluble se asocia con la reducción de los niveles de glucosa y colesterol, así como la estabilización del vaciamiento gástrico. La fibra insoluble es asociada a la capacidad de retención de agua y el intercambio iónico, absorción de ácidos biliares, minerales y vitaminas, y su interacción con la flora microbiana.

Respecto al consumo de nopalito, un estudio de mercado realizado en el 2008 mostro que el nopal fresco se consume principalmente en la región centro del país, mientras que en la región occidente es menos consumido como se muestra en la Figura 3.

Figura 3. Consumo per cápita de nopalito en México.



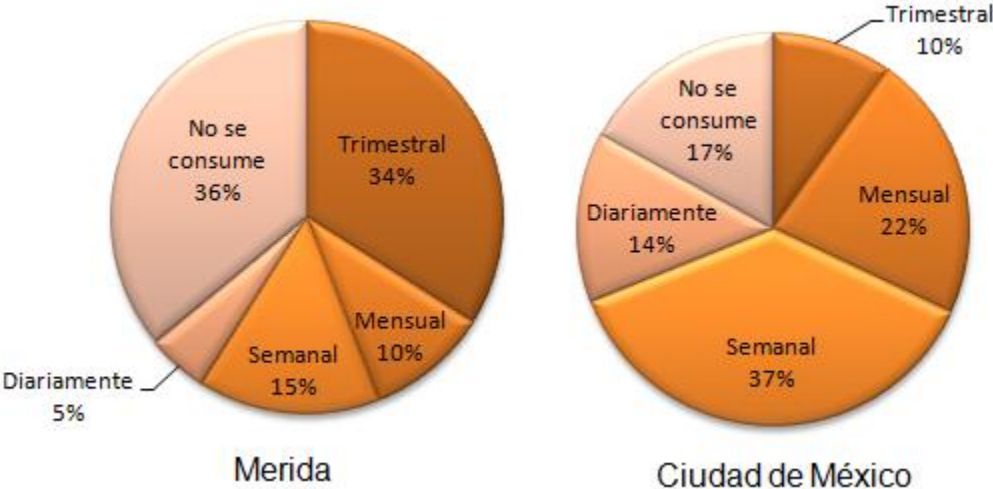
FUENTE: FINANCIERA RURAL (2011).

Estos resultados muestran que los productores mantienen concentrada la producción en la región centro del país, manteniendo insatisfechas las otras regiones, principalmente el sur. Además, se identificó que del consumo de nopal, un 85% se consumió en fresco, un 8% se destinó al consumo industrial y un 7% se destinó a la exportación (Financiera Rural, 2011).

En el Plan rector del sistema producto nopal y tuna del estado de Michoacán (2012), se muestran los resultados en los que se demuestra que la gran mayoría de la gente consume nopal. Sin embargo, un gran porcentaje no lo hace de manera frecuente, sobre todo en el Sur de México, donde se presentan los niveles más bajos, respecto al resto del país.

A continuación se presenta la frecuencia con que se consume el nopalito en la Ciudad de México y en el estado de Mérida, donde se observa gran diferencia en el consumo de nopal.

Figura 4. Frecuencia de consumo en el centro y sur del país.



FUENTE: PLAN RECTOR DEL SISTEMA PRODUCTO NOPAL Y TUNA DEL ESTADO DE MICHOACÁN (2012)

Además de los aspectos antes mencionados, el nopal tiene un papel ecológico importante, ya que detiene la degradación del suelo deforestado y convierte tierras improductivas en productivas.

VI. COMPOSICIÓN QUÍMICA Y BROMATOLÓGICA

Es primordial tener un conocimiento de la composición química desde el punto de vista de la industrialización para tener éxito, tanto en la elección de la tecnología de procesamiento como en las condiciones de aplicación a fin de obtener productos de alta calidad. Dependiendo del proceso al que serán sometidos los cladodios, deben tenerse en cuenta algunos parámetros como pH, sólidos solubles y contenido de fibra.

La composición química de cladodio de nopal fue estudiada por Guzmán y Chávez (2007) utilizando cladodios de un mes y cladodios de un año aproximadamente. Los resultados estudiados se expresaron en base húmeda; observándose que los cladodios presentan alto contenido de agua, lo que es característico de estas plantas (Cuadro 1).

Cuadro N° 1. Composición química de nopal.

Parámetros	Edad de Cladodio			
	Base Húmeda		Nopal Deshidratado (100g)	
	30 días	365 días	40 días	135 días
Humedad	92.57 %	94.33 %	5.03 g	4.18
Proteína	0.94 %	0.48 %	7.07 g	7.07
Grasa	0.17 %	0.11 %	2.16 g	1.87
Fibra	0.30 %	1.06 %	11.00 g	23.33
Cenizas	0.08 %	1.60 %	17.65 g	24.30
Carbohidratos	5.96 %	2.43 %	42.94 g	60.77
Vitamina C (mg/100g)*	37.27	23.11	—	—

* Los resultados se dan en mg de ácido ascórbico/100g de penca fresca

FUENTE: GUZMÁN Y CHÁVEZ (2007); HERNÁNDEZ-URBIOLA ET AL. (2011).

Los cladodios de un mes presentan un porcentaje alto de vitamina C, en comparación con los cladodios de un año de edad; esto se debe a que la mayoría de los brotes concentran gran cantidad de vitaminas las que van disminuyendo conforme ésta se desarrolla. Con relación al contenido de grasa no se ve mayor diferencia.

El contenido de proteínas en los cladodios de un mes presenta una cantidad relativamente elevada en comparación con los cladodios de un año de edad. Respecto a esto podría ser posible aumentar el contenido proteínico.

Hernández y Boyzo (2012), desarrollaron un proceso de micro fermentación de nopal, para aumentar el contenido de proteína. En el proceso experimental, se evaluaron dos microorganismos responsables del proceso de fermentación, un concentrado de micelio de *Rhizopus oligosporus* y otro de *Sacharomyces cerevisiae*.

Los mejores rendimientos de proteína se obtuvieron a las 72 horas de fermentación. Con *Rhizopus oligosporus*, se observó un aumento significativo del contenido proteínico (hasta 9%). Este procedimiento experimental demostró su utilidad para incrementar el contenido proteínico del nopal, del que se ha obtenido polvo y hojuelas enriquecidos en proteína, con un rendimiento de 25- 30 g de producto seco por litro de mezcla de fermentación. Las características sensoriales del producto obtenido en forma de polvo u hojuelas son de un sabor ácido agradable, ligeramente dulce y no se percibe ni olor ni sabor que recuerde al del nopal, se hidratan fácilmente en la boca y son muy blandas. Estas características permitirán que se ofrezca el nopal enriquecido en proteínas y podría ser consumido a bajo costo.

En cuanto al contenido de fibra se observa una diferencia puesto que conforme aumenta el tiempo de maduración del cladodio, aumenta el contenido de fibra. Rodríguez-García et al (2007), realizaron la caracterización fisicoquímica y nutrimental de Nopal (*Opuntia ficus indica*) como función de la maduración.

Encontrando una disminución de la fibra dietética soluble (pectina, gomas y mucílagos) conforme aumenta la etapa de maduración del cladodio. La tendencia opuesta se encontró para la fibra insoluble (celulosa, hemicelulosa, y lignina) que exhibió incrementos en relación con el aumento de la maduración.

Con respecto al porcentaje de cenizas, éstas aumentan con la edad; por consiguiente aumenta el contenido en minerales. Hernández-Urbiola *et al* (2011), evaluaron la composición química de cladodios de *Opuntia ficus indica* en diversas etapas de crecimiento, en edades comprendidas entre los 40 y 135 días. El estudio cuantificó el contenido de una amplia gama de minerales obteniendo como resultado que el contenido de Ca y Fe aumentó entre los 40 y 135 días, mientras que el P, Mn y Zn no mostraron cambios relacionados con la edad. Los niveles de vanadio, cobalto y selenio mostraron cambios mínimos en relación con la edad, con un contenido máximo en los 80, 90 y 100 días de edad. Para el litio, el arsénico, el cadmio y el talio, los datos revelaron un contenido mínimo, sin cambios importantes asociados con las edades (Cuadro 2).

Cuadro 2. Composición mineral de nopal en diferentes etapas de maduración

Mineral (mg/g)	Edad (días)									
	40	50	60	70	80	90	100	115	125	135
Fosforo	2.59	4.26	4.48	4.39	4.06	4.60	3.77	5.00	3.15	3.94
Manganeso	0.29	0.06	0.07	0.05	0.08	0.05	0.05	0.05	0.03	0.08
Hierro	0.09	0.09	0.10	0.12	0.12	0.134	0.132	0.14	0.16	0.22
Zinc	0.08	0.06	0.04	0.08	0.03	0.04	0.06	0.05	0.04	0.06
Magnesio	8.80	10.60	11.20	11.5	10.2	12.00	11.00	11.95	8.95	9.55
Calcio	17.95	22.10	24.00	27.00	28.35	28.65	29.20	29.15	30.70	34.40
Potasio	55.20	64.75	70.90	68.50	72.20	69.70	69.95	71.45	51.80	63.35
Sodio	0.30	0.40	0.30	0.35	0.55	0.35	0.20	0.50	0.20	0.30

Composición mineral de menor importancia de nopal en diferentes etapas de maduración

Mineral (mg/100 g)	Edad (días)									
	40	50	60	70	80	90	100	115	125	135
Litio	0.80	0.23	1.0	1.4	0.99	0.07	0.55	0.18	0.19	0.29
Vanadio	0.33	1.43	1.61	1.66	2.27	2.19	2.07	0.68	0.94	0.79

Cobalto	0.16	0.13	0.15	0.14	0.18	0.12	0.10	0.15	0.11	0.21
Arsénico	0.14	0.05	0.04	0.00	0.007	0.00	0.04	0.002	0.00	0.00
Selenio	0.38	0.14	0.13	0.001	0.05	0.13	0.09	0.005	0.00	0.01
Cadmio	0.05	0.00	0.03	0.08	0.00	0.01	0.00	0.00	0.00	0.06
Talio	0.07	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.06	0.07	0.82	0.06

FUENTE: HERNÁNDEZ-URBIOLA ET AL. (2011).

Rodríguez-García et al (2007), en su estudio sobre la caracterización fisicoquímica de nopal realizaron un análisis de oxalato de calcio, en donde su presencia podría limitar la biodisponibilidad de calcio, si bien la biodisponibilidad podría también depender de la maduración. La cantidad de oxalatos de calcio disminuyó en función de la madurez, y se demostró que la forma y el tamaño de los cristales de oxalato dependen de la etapa de maduración del nopal.

Los polisacáridos más abundantes en la pared celular de muchas plantas superiores son pectinas. Estos polisacáridos regulan la adhesión intercelular e influyen en el crecimiento, desarrollo y senescencia. Ginestra et al (2009), investigó la composición anatómica y química de nopal, encontrando que un total de 36- 37% del peso seco de cladodios enteros, fueron de hidratos de carbono. Sin embargo, puede variar de acuerdo a la edad. Los cladodios más jóvenes tienen mayor contenido de hidratos de carbono y hubo una prevalencia de glucosa y ácido galacturónico, mientras que arabinosa, galactosa, manosa, xilosa y ramnosa estaban presentes en cantidades más pequeñas. Sólo se detectaron rastros de fructosa.

La composición respecto a carbohidratos de *Opuntia ficus indica* fue evaluada por Ribeiro et al (2010) en cladodios jóvenes y viejos, en distintas temporadas (sequía y lluvias). El contenido de azúcares totales en cladodios viejos en temporada seca vario de 20,19 a 29,04 mg/mL y en temporada de lluvias de 15,32 a 24,11 g/mL. En cladodios jóvenes fue de 11,56 a 15,25 g/mL en temporada seca y de 13,80 a 15,80 g/mL en temporada de lluvias. Destacando que la cantidad de azúcares totales en cladodios viejos fue mayor, presentando casi el doble de la cantidad de

azúcar encontrada en los cladodios jóvenes en ambas temporadas. La misma tendencia fue observada en el contenido de ácido poligalacturónico.

El estudio concluye que la edad de los cladodios tiene influencia sobre la composición química. Por lo cual cladodios de mayor madurez, así como de las pencas de estación seca ha demostrado tener el mayor contenido de hidratos de carbono, lo que indica que los nopales de esta temporada tienen un valor energético mayor.

Finalmente, Osorio-Córdoba et al (2011), estudiaron los volátiles presentes en nopales conservados en atmósferas modificadas. Se lograron identificar 84 compuestos. Siendo los más abundantes hidrocarburos y aldehídos, estos últimos responsables de las notas herbáceas en productos vegetales como el nopal.

Dentro de los aldehídos se identificaron hexanal, 2,4-hexadienal y 2-heptenal, los cuales son responsables de notas frescas o herbáceas. Dentro de los alcoholes, el 2-nonenol se encontró sólo en las muestras iniciales desapareciendo durante el almacenamiento. El alcohol es un compuesto típico del metabolismo ácido de las crasuláceas (CAM).

El limoneno detectado en todas las muestras de nopal es un volátil típico de los cítricos, el cual pudo ser sintetizado como respuesta al daño ocasionado por el desespinado. Otro de los compuestos identificados fue 2-metoxi 3-(2-metilpropil) pirazina el cual es un volátil típico de vinos. Un compuesto que apareció durante el almacenamiento en las muestras de todos los tratamientos fue el 2-etil furano, cuya síntesis puede estar asociada al estado de desarrollo o envejecimiento del nopal.

Lo anterior sugiere que los nopales conservan la producción de la mayoría de los volátiles asociados a las notas herbáceas, pero que su perfil de olor puede verse modificado por la aparición de nuevos volátiles y por el aumento en la producción de metabolitos de fermentación.

En general, el valor nutrimental está asociados con el momento de la cosecha y por lo tanto las etapas de maduración del nopal. El nopal en etapas de desarrollo más avanzado muestra un mayor contenido de calcio por lo que la biodisponibilidad de nopal podría tener un mayor impacto en las dietas basadas en nopales de mayor madurez que por lo general no se incluyen en la dieta. Además, el contenido de fibra total podría aumentar la aplicación de nopal en la prevención y tratamiento de enfermedades tales como la diabetes y la osteoporosis.

La composición de nutrimentos puede variar entre especies. Existen factores como la composición química del suelo, la época del año y la humedad que contribuyen a éste hecho. Con respecto a lo mencionado el nopal puede llegar a ser una clave que contribuya a disminuir los niveles de desnutrición. Una de las causas por la cuales no ha contribuido a este aspecto es que no se le ha dado la relevancia ni la difusión. Sería necesario remarcar que los beneficios de su consumo son mayores que los costos de producción.

VII. GENERALIDADES

i. CLASIFICACIÓN BOTÁNICA

La taxonomía de las cactáceas es ordenada de acuerdo a los sistemas de clasificación que tiene como base la morfología de la planta, dicha taxonomía se muestra a continuación:

Cuadro 3. Clasificación Taxonómica del nopal.

Reino	<i>Vegetal</i>
Subreino	<i>Embryophyta</i>
División	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Dicotiledoneae</i>
Subclase	<i>Dialipétalas</i>

Orden	<i>Opuntiales</i>
Familia	<i>Cactaceae</i>
Tribu	<i>Opuntiae</i>
Subfamilia	<i>Opuntioideae</i>
Genero	<i>Opuntia</i>
Subgénero	<i>Platyopuntia</i>
Especie	<i>Varios nombres</i>

FUENTE: INEGI (2007).

El nopal se encuentra distribuido por toda América con mayor concentración de especies en México y la región mediterránea. Es una planta capaz de crecer en suelos muy pobres pues desarrolla un sistema que le permite realizar el intercambio gaseoso y captar las lluvias más insignificantes, razón por la que se adapta bien al sistema de no cultivo. En contexto general, el nopal verdura es clasificado como planta suculenta y perenne, con tallos espinosos y aplanados. Los cladodios jóvenes (brotes tiernos) de la planta perteneciente a la familia de las Cactáceas, son de forma aplanada, provisto de gloquidias (ahuates) y espinas en puntos específicos denominadas areolas. Un cladodio es un tallo (penca o nopal) de forma aplanada que varía en medidas aproximadas de 30 a 60 cm. de largo x 20 a 40 cm. de ancho y de 2 a 3 cm. de espesor. Esta planta crece a una altura aproximadamente de 3 a 5 m. de alto. Su tronco es leñoso conforme pasa el tiempo. Mide de entre 20 a 50 cm. de diámetro, además de que genera ramas constituidas por pencas (nopales) que se identifican por su color verde opaco.

ii. MORFOLOGÍA Y METABOLISMO

Los nopales han desarrollado características que le permiten adaptarse a zonas con poca disponibilidad de agua y temperaturas extremas, por tal motivo presentan hábitos y estructuras anatómicas de adaptación altamente especializadas. Entre las principales características morfológicas se destaca la suculencia. La planta acumula grandes cantidades de agua en cortos periodos de tiempo y gracias a la gruesa cutícula que posee evita la evapotranspiración.

Debido a su metabolismo ácido crasuláceo efectúa un proceso fotosintético en el cual los estomas permanecen cerrados durante el día y abiertos por la noche, evitando de esta forma la pérdida de agua por transpiración. A continuación se mencionan características morfológicas del nopal.

Cladodios: Los cladodios o pencas tienen la función de transformar la luz en energía química mediante la fotosíntesis; son carnosos, lo que les permite almacenar agua que utilizan en periodos de sequía. Están recubiertos por una cutícula de tipo lipídica color blanquecina que permite reflejar los rayos del sol evitando el calentamiento excesivo de la planta con lo cual evita la deshidratación provocada por las altas temperaturas, gracias a esto la hidratación normal del cladodio alcanza hasta un 95% de agua en peso.

Espinas: Las espinas son tejidos muertos y mineralizados, generalmente duros y característicos de las cactáceas. En general, las espinas son ásperas y los pelos espinosos suaves. La función principal de estos consiste en condensar el agua del aire y reducir la temperatura del tallo; además sirven como protección contra herbívoros.

Raíz: Las raíces de las cactáceas tienen la función de fijar la planta al suelo y absorber el agua con sustancias nutritivas disueltas en ella. La raíz principal constituye el sistema de fijación y las raíces secundarias intervienen en la absorción, las cuales deben adaptarse para capturar el agua con rapidez.

Areolas: Las areolas son depresiones en la epidermis de la planta, de donde nacen las espinas y gloquidios, los cuales son su principal medio de autodefensa. Además actúan como centro de condensación, ya que al enfriarse el aire la humedad ambiente se condensa sobre ellas.

Tallo: Los tallos son cladodios de contorno oval, circular o en forma de raqueta, son carnosos y con una cutícula que evita la pérdida de agua. Presenta además estomas semi hundidos, lo que dificulta la deshidratación producida por el viento.

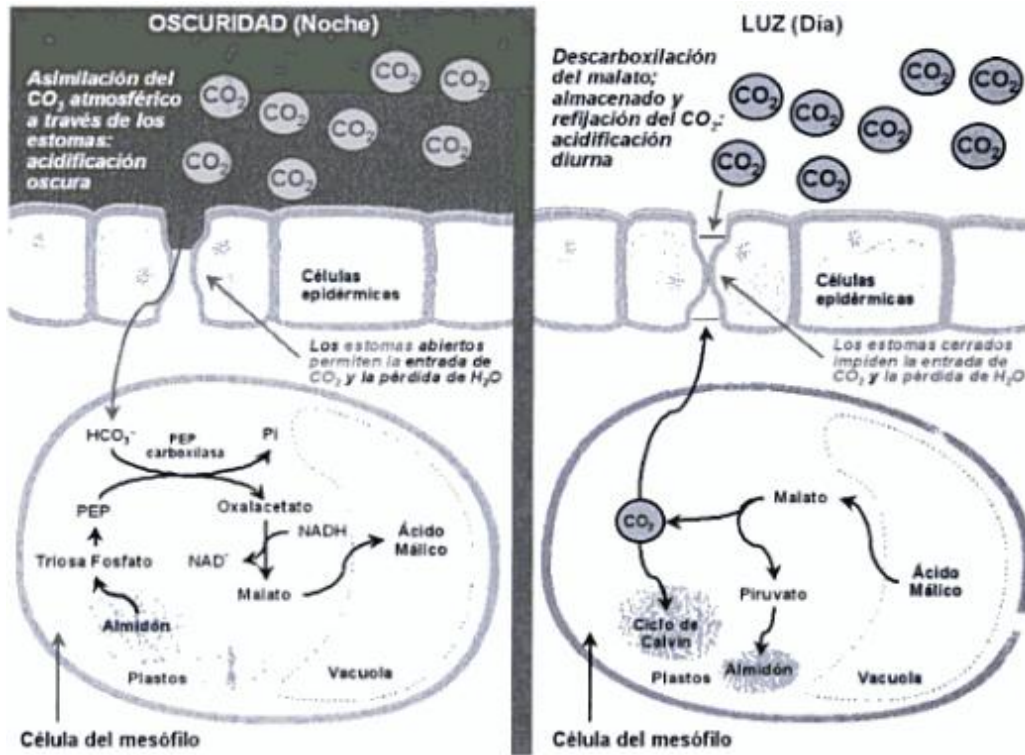
En la familia de las *Cactáceas* ocurre el llamado metabolismo CAM (*crusaleisic acid metabolism*). Es decir, estas plantas fijan el carbono abriendo sus estomas en la noche y los cierran en el día, a la inversa de cómo se comportan otras plantas. Este tipo de metabolismo es llevado a cabo por el grupo de plantas conocidas como “suculentas” debido a los tejidos almacenadores de agua presentes en las hojas y tallos. Las especies con el metabolismo CAM pueden crecer en sitios donde hay baja disponibilidad de agua, como son las zonas áridas y semiáridas. El mecanismo CAM se muestra en la Figura 5.

Durante la noche. Los estomas se abren con lo que penetra el CO_2 al interior de las células y se fija al fosfoenolpiruvato (PEP), el cual se obtiene por la degradación nocturna de almidón acumulado durante el día. La fijación de CO_2 catalizada por la enzima fosfoenolpiruvato carboxilasa, da origen al oxalacetato, el cual es reducido por la acción de la enzima malato deshidrogenasa dando como resultado malato, el cual se almacena en la vacuola.

Durante el día. Las reacciones fotoquímicas del cloroplasto permiten la formación de ATP y NADPH. El malato almacenado en la vacuola se descarboxila por la acción de la enzima málica y el CO_2 resultante es captado por la ribulosa 1, 5-bifosfato en los cloroplastos, iniciando el ciclo de Calvin. De esta manera, durante el día, los niveles de malato disminuyen e incrementan los de almidón.

El mayor beneficio del mecanismo CAM es que la rápida descarboxilación del malato eleva los niveles intercelulares de CO_2 , causando el cierre de los estomas durante el día y de esta manera conserva el agua. Sin embargo, la fijación nocturna de CO_2 está limitada por la capacidad de almacenar malato durante la noche en las vacuolas, por lo que en general estas plantas son de lento crecimiento.

Figura 5. Fijación de CO₂ en las plantas CAM.



FUENTE GARCÍA, ROSELLÓ Y SANTAMARINA (2006).

Además del metabolismo CAM, *Opuntia ficus-indica* presenta otras adaptaciones que ayudan a la conservación de agua en la planta. La presencia de una cutícula gruesa (5- 30 μm) y cerosa sobre los tallos reduce la tasa de transpiración. Además tiene una densidad estomática baja (20- 30 estomas por milímetro cuadrado). Los tallos tienen un gran volumen de parénquima que almacena el agua, el cual actúa como reserva para el clorénquima. Otra adaptación son las raíces que tienden a ser superficiales, facilitando si la respuesta rápida a las lluvias ligeras.

iii. PROCESO DE DESCOMPOSICIÓN DEL CLADODIO

Durante el almacenamiento la vida de anaquel del nopal se ve afectado por diferentes factores, como son el tipo de cosecha, el tipo de envase, la

temperatura, etc. Los cladodios con daño en la base, causado por una cosecha inadecuada debe comercializarse en un tiempo corto y no debe almacenarse, ya que se puede sufrir hasta un 50% de pérdida por pudriciones causadas principalmente por *Penicillium spp*, *Aspergillus spp* y *Alternaria spp*. Los cladodios cosechados adecuadamente tienen una vida de anaquel de aproximadamente una semana a 20 °C.

La acidez del cladodio de *Opuntia spp* cambia durante el almacenamiento debido a factores como la temperatura y el envasado. Durante el almacenamiento a bajas temperaturas, la acidez se mantiene o incrementa. Sin embargo, durante el almacenamiento a temperaturas superiores a 20 °C la acidez disminuye. Este fenómeno se debe a que en las plantas con metabolismo CAM los ácidos orgánicos son los principales sustratos de la respiración, por lo cual al ser mantenidos a temperaturas elevadas se favorece la descarboxilación de malato, mientras que a bajas temperaturas se favorece la carboxilación a malato.

La temperatura de almacenamiento también afecta el contenido de vitamina C, debido a que las bajas temperaturas (5- 10 °C) retrasan la disminución en el contenido de ácido ascórbico.

Desde el momento de su cosecha, hasta el momento de su descomposición se notan cambios paulatinos en la estructura externa del nopal como: arrugado de las capas de cutícula, disminución de brillo, reducción del tamaño por deshidratación, cambio de forma de plano a cóncavo resecaándose las orillas perdiendo volumen hasta que el color se torna verde oscuro y queda completamente seco. Por otro lado, en la superficie del nopal que aún conserva algo de humedad se puede presentar desarrollo microbiano que provoca una pérdida de la estructura del tejido, un oscurecimiento de la estructura dañada y al final lo que era una estructura rígida vegetal queda con la consistencia de un gel pardo oscuro y olor desagradable. Si se le han eliminado las espinas mediante un corte con cuchillo, la superficie de la pulpa que queda expuesta al aire y a la luz presenta un oscurecimiento enzimático, para posteriormente dar lugar al desarrollo de los microorganismos fungiformes principalmente. El manejo mecánico puede causarle

fisuras que faciliten la entrada a los microorganismos en el producto, estos al desarrollarse, producen cambios en el aspecto, sabor, olor y otras características sensoriales (Gómez, 2002).

Los cambios de color se relacionan a reacciones de degradación de pigmentos, entre los de mayor importancia se encuentra la clorofila y sus derivados. Su estructura química es fácilmente alterable por altas temperaturas, luz, pH, agentes oxidantes (tanto oxígeno como peróxido) y algunas enzimas. Entre estas enzimas se encuentra principalmente la clorofilasa la cual se distribuye ampliamente en vegetales y se activa en condiciones de estrés como en el almacenamiento prolongado. Esta enzima provoca la hidrólisis del enlace éster de la clorofila degradándola en fitol y clorofilina. Este proceso ocurre naturalmente, catalizado por el etileno, así como en el almacenamiento de vegetales.

La mayoría de las hortalizas deben su color verde a la clorofila, pero este va desapareciendo en la etapa de maduración y en la síntesis de otras sustancias coloridas como carotenos. Durante el proceso de maduración la clorofila se degrada a feofitina y posteriormente a compuestos incoloros, quedando expuestos pigmentos como carotenoides, antocianinas y flavonoides, lo que genera colores amarillos, anaranjados y rojizos.

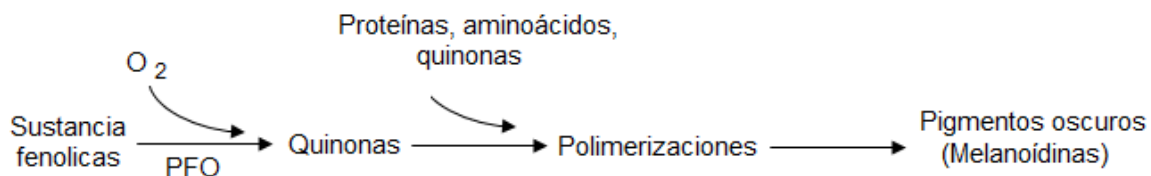
En el almacenamiento de hortalizas se pueden acumular ácidos grasos los cuales producen cambios indeseables de color, debido a la degradación ácida de la clorofila. Está es blanqueada durante la peroxidación de las grasas y la clorofila es degradada a feofitina. Sin embargo, los procesos térmicos por cortos tiempos a temperaturas altas ayudan a conservar la clorofila (Barreiro y Sandoval, 2006).

El cambio de color en frutas, verduras y tubérculos que se observa cuando sufren daño mecánico o fisiológico también puede deberse a la presencia de enzimas del tipo polifenoloxidasas, tratándose de una alteración química, aunque enzimática en sus primeras etapas, que tiene como sustratos compuestos fenólicos (Bello, 2000).

Durante el almacenamiento puede presentarse oscurecimiento en los vegetales como principal factor de deterioro, constituyendo una de las principales causas de pérdida post cosecha. El oscurecimiento ha sido relacionado con la acción de la polifenoloxidasa (PFO) y de la peroxidasa (POD). Se sabe que la PFO y POD catalizan la oxidación de fenoles propios de las células a quinona; estas reacciones son altamente reactivas con proteínas, ácidos nucleicos y flavonoides. Estas reacciones además de generar colores oscuros, reducen las propiedades sensoriales de textura, color y sabor.

En los tejidos vegetales intactos, la PFO y los sustratos se encuentran separados por estructuras celulares y el oscurecimiento no se lleva a cabo. Sin embargo, al realizar un corte o magulladura, la enzima y sustratos se ponen en contacto dando lugar a la aparición de coloraciones oscuras. El oscurecimiento enzimático es por lo general un cambio indeseable, debido a que reduce el grado de aceptación del producto, por lo cual se han desarrollado métodos seguros y eficaces para evitar este fenómeno. Los alimentos propensos a experimentar el oscurecimiento enzimático pueden almacenarse en recipientes sellados a vacío, sumergirse en jarabes concentrados o recubrirse con películas impermeables al oxígeno (Herrera, 2003).

El oscurecimiento enzimático se produce mayoritariamente en alimentos de origen vegetal y se basa en reacciones de oxidación de sustratos de tipo fenólico. Los fenoles oxidados sufren posteriormente reacciones de polimerización, dando lugar a pigmentos oscuros responsables del cambio de color. Los compuestos de la reacción no son tóxicos, pero la preocupación de los tecnólogos es el aspecto color y presentación de frutas y verduras, que indudablemente tienen gran importancia comercial (Hernández, 2000).



Por lo tanto, para que la reacción se lleve a cabo deben estar presentes tres componentes principales: la enzima activa, el sustrato y el oxígeno, por lo que la eliminación de alguno de ellos evitara el oscurecimiento. Como nada se puede hacer o muy poco con el sustrato oxidable, los métodos hoy en uso tienden a inhibir la enzima o a eliminar el oxígeno y algunas veces se combinan ambos métodos.

- Inactivación de la enzima mediante calor
- Inactivación de la enzima mediante inhibidores químicos
- Eliminación del oxígeno

Como la mayoría de las enzimas, la polifenoloxidasas y peroxidasa pueden ser inactivadas mediante calor. Sin embargo, debido a la facilidad con la que se determina su actividad y por su estabilidad al calor comparada con otras enzimas, la peroxidasa es usada como indicador de la calidad de los tratamientos térmicos. Posee, además, la propiedad de regeneración enzimática. Este fenómeno consiste en que al inactivarla por medio del calor recupera parcialmente su actividad después de un cierto tiempo. Esto debido a que la fracción proteica de la enzima sufre una desnaturalización sólo parcial, si el calor se aplica en un tiempo muy corto. Por otro lado se ha demostrado que esta actividad enzimática puede detenerse totalmente, si el calentamiento es suficientemente largo. La investigación de la peroxidasa ha sido usada para evaluar la eficiencia del escaldado o blanqueo de verduras y también en el control de pasteurización de la leche.

Por otra parte la formación de estos pigmentos no siempre se considera un efecto indeseable, puesto que existen diversos casos dentro de la tecnología de los alimentos en los que precisamente se busca esta transformación de los compuestos fenólicos, por ejemplo en el proceso de maduración de dátiles, fermentación de hojas de té negro, secado de granos fermentados de cacao. También en la tecnología de la preparación de diferentes especias, como la

pimienta negra, la mostaza, el rábano y la vainilla, el desarrollo de sus características de sabor y aroma se debe a útiles reacciones enzimáticas obteniendo de esta forma las características sensoriales propias de cada producto.

Al manipular y estibar se debe procurar que no se dañe el tejido, ya que de esta forma las enzimas pueden entrar en contacto con sustratos, provocando una reacción de oscurecimiento enzimático, el cual se ve favorecido por la exposición a la luz y al oxígeno. Al eliminar las espinas también se daña el tejido y disminuye su vida de anaquel porque la superficie del tejido dañado queda expuesta al medio y hay una pérdida alta de humedad. De igual forma al transportarlos se debe tener cuidado del tipo de empaque y transporte, ya que si el aire entra en contacto con el tejido vegetal, aumenta la transpiración, provocando que se reseque el producto.

Por lo antes mencionado, las condiciones de manejo, almacenamiento y distribución son críticas e interviene directamente en la calidad del nopal verdura.

iv. MANEJO, ALMACENAMIENTO Y DISTRIBUCIÓN DE NOPAL

La cosecha de nopal se realiza cuando los brotes alcanzan un peso cercano a los 100- 120 g o miden entre 10 y 15 cm de largo, aunque depende de las exigencias del mercado (Financiera Rural, 2011). El nopal es cortado a mano en la mayoría de los casos, generalmente con cuchillo. Este corte se realiza generalmente por las mañanas, lo que permite que el producto se pueda vender en mercados el mismo día y comercializarse sin ningún tipo de tratamiento.

Tradicionalmente se opina que el corte de nopalito después de las 10:00 h produce un grado de acidez aceptable en el brote. Aunque ello puede variar según el cultivo ya que el nopal verdura posee un sabor agradable, ligeramente ácido, según la variedad y grado de madurez.

Con el propósito de estandarizar la calidad del producto Flores-Hernández et al. (2004) estudiaron este parámetro. Utilizaron un total 10 cultivos de nopal. Cultivados en tres diferentes horarios de 7:30 a 8:30 (25-32°C), de 10:30 a 11:30 (36 a 42°C) y de 13:30 a 14:30 (43 a 44°C).

Los resultados del estudio mostraron que la acidez de algunos cultivos de nopal disminuye conforme avanzan las horas del día, ocurriendo tanto en luz como en oscuridad, todo ello debido a que las plantas con metabolismo CAM aumentan el contenido ácido durante la noche, decreciendo durante el día. Estas plantas absorben CO₂ en la oscuridad. Este metabolismo involucra la síntesis de ácido málico por carboxilación durante la noche y el rompimiento de dicho ácido durante el día con liberación de CO₂ para la fotosíntesis. Este proceso provoca que los nopales que por lo general se cosechan en las primeras horas de la mañana, presenten mayor acidez y deban ser consumidos inmediatamente después de ser cosechados. Por otro lado las plantas de nopal, abren los estomas durante la noche y la concentración total de ácidos se incrementa, a la vez que disminuye la concentración de almidones y glucosa. Por lo tanto, la acidez alcanza altas concentraciones en las primeras horas de la mañana, mientras que disminuye por las tardes.

El nopal puede ser empacado de diversas formas dependiendo el tipo de mercado al que será destinado. Cuando el nopal se comercializa con espinas, se utilizan canastos, los cuales tienen una capacidad para aproximadamente 200 nopales. Sin embargo, cuando el nopal se comercializa sin espinas y su destino son centrales o mercados de centros urbanos se utilizan costales, los cuales pueden contener de 500 a 550 piezas aproximadamente. Figura 6.

Las cajas de cartón son utilizadas para el transporte y comercialización en las zonas del norte de México y Estados Unidos, en empaque de 10 a 15 Kg. La reja de madera es utilizada para la comercialización en ciudades lejanas que van de Milpa Alta a Torreo, Monterrey, Guadalajara, etc.

Figura 6. Transporte Post cosecha del Nopal.



FUENTE: CENSO AGROPECUARIO (2007).

Para el comercio en centros de mayoreo donde el periodo de comercialización es corto (2- 3 días). El empaque consiste en pacas cilíndricas de 1 m de diámetro y 1.75 m de altura con un peso aproximado de 300 Kg. En la paca se manejan de 2500 a 3000 nopales, se utilizan diferentes materiales de empaque. Las características de volumen, materiales empleados y otras características se especifican en la norma NMX-FF-068-1988 (Cuadro 4).

Cuadro 4. Envases utilizados comúnmente para el nopal con espinas.

Tipo de Envase	Material	Masa del producto (Kg)
Canasta	Carrizo	5
Canasta	Mimbre	25
Canasta	Mimbre	10
Reja	Madera	30
Caja	Plástico	30
Pacas*	Yute	330

* En este caso sólo se cubre la base y parte superior de la misma

FUENTE: NMX-FF-068-1988.

El nopal destinado para la exportación es empacado en bolsas de polietileno, en la bolsa se deben imprimir los datos del productor- comercializador, el contenido, propiedades para la salud y la leyenda como producto originario de México. Ya empacado es almacenado y transportado en una cámara de frío a una temperatura de entre 8°C y 10 °C hasta la entrega al consumidor.

CENTROS DE COMERCIALIZACIÓN Y DISTRIBUCIÓN EN EL D.F.

Los centros de acopio más importantes de nopal en el Distrito Federal son:

- ▶ El mercado de Milpa Alta.
- ▶ Merced.
- ▶ Central de Abasto del Distrito Federal.

El Mercado Mayorista y los Mercados Públicos desempeñan una función de la más alta importancia en el proceso de abasto y distribución alimentaria. En el caso particular de productos hortofrutícolas como lo es el nopal (Cuadro 5).

Cuadro 5. Promedio mensual de precios en pesos por Kilogramo de nopal.

Centro de Comercialización y Distribución.	Origen	Presentación	Promedio Mensual		
			Jul.	Ago.	Sept.
Central de abasto de Toluca.	Distrito Federal	Ciento	0,35	0,45	0,57
Central de abasto de Ecatepec	Estado de México	Ciento	0,30	0,39	0,45
	Distrito federal	Ciento	0,40	0,51	0,59
Central de abasto de Iztapalapa	Distrito Federal	Ciento	0,33	0,47	0,55

FUENTE: SECRETARÍA DE ECONOMÍA (2013)

La Central de Abasto, como el centro de alimentos más importante del país. La central de Abastos de la Ciudad de México, es el mayor mayorista de alimentos. La Central de Abasto, con 3,700 bodegas y locales comerciales, dentro de un espacio de 150 hectáreas cercadas, más de 11 kilómetros de pasillos en los que se encuentran productores y mayoristas de diversos ramos desde Frutas, y Legumbres, Verduras, Flores y Hortalizas, Aves y Cárnicos, Pescados y Mariscos, Cremerías, Salchichonerías, Dulcerías, Abarrotes, Granos y Semillas, Productos enlatados, Materias primas, Jarcerías y productos de limpieza y un sinnúmero más de productos especializados, la Central de Abasto de la Ciudad de México es el Centro de alimentos más grande del mundo, que abastece de alimentos a más de 20 millones de habitantes día a día. Cada año se realizan operaciones comerciales por más de 8 o 9 mil millones de dólares, cifra que coloca a la Central de Abasto, como el centro de operaciones más importante de toda la república mexicana después de la Bolsa Mexicana de Valores (uneabasto.com).

La Central de abastos se divide en diferentes zonas, la mayor de ellas es la de frutas y legumbres. Ahí se comercializa aproximadamente el 30 por ciento de la hortofrutícola nacional. El área donde se lleva a cabo la comercialización del nopal verdura es en la de Flores y Hortalizas.

Figura 7. Central de abastos de la Ciudad de México.



FUENTE. ABARROTERO.COM

CAPÍTULO I. NOPAL MÍNIMAMENTE PROCESADO

Los nopales son consumidos tradicionalmente en México, pero actualmente son demandados por algunas comunidades de los Estados Unidos, Canadá y Japón. Sin embargo, el daño físico causado durante el procesamiento mínimo del nopal, incrementa procesos metabólicos como la respiración y producción de etileno, la degradación de los lípidos de las membranas, el oscurecimiento oxidativo, la pérdida de firmeza y agua, y la acumulación de metabolitos secundarios, produciendo deterioro y reduciendo la vida de anaquel del producto. Estos cambios se vuelven más críticos cuando el nopal se comercializa en mercados distantes de la zona de producción. Por lo cual se han aplicado diversas técnicas post cosecha para tratar de conservar los atributos de calidad del nopal y prolongar su vida de anaquel (Osorio-Córdoba et al., 2011).

El procesamiento mínimo incluye las operaciones de desespinado, pelado, cortado y rebanado que causan el rompimiento celular, incrementando la velocidad de respiración y producción de etileno, así como la síntesis de metabolitos secundarios, estas reacciones acortan la vida de anaquel del producto ya que inducen oscurecimiento enzimático, pérdida de firmeza y desarrollo de microorganismos. Por lo cual se han empleado diferentes técnicas para extender la vida de anaquel de los productos mínimamente procesados entre las que se encuentran la refrigeración, el envasado en atmósferas modificadas, el uso de aditivos químicos y de cubiertas comestibles. Las frutas y hortalizas mínimamente procesadas son conservadas, distribuidas y comercializadas bajo cadena de frío y su período de vida útil es de 7 a 10 días (Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix, 2010).

1.1 RECUBRIMIENTOS COMESTIBLES

Una alternativa para la conservación de vegetales frescos es la utilización de recubrimientos comestibles. Los recubrimientos son matrices continuas formuladas a base de lípidos, proteínas, carbohidratos o mezcla de estos componentes, que les confieren diferentes propiedades fisicoquímicas (Ramos-Gracia et al, 2010).

Los frutos y vegetales poseen comúnmente una cubierta de cera que reduce la pérdida de nutrientes, de aquí que el uso de recubrimientos sea un método que se ha venido usando con éxito para la conservación de frutos y hortalizas. Es de gran importancia que la capa sea uniforme y grosor adecuado ya que una capa demasiado gruesa puede provocar la alteración del coeficiente respiratorio del vegetal y una cubierta muy delgada no ofrece control sobre la pérdida fisiológica de peso.

Los recubrimientos que se aplican a frutas y hortalizas pretenden sustituir la cera natural que se ha eliminado durante la manipulación del producto. La cubierta comestible consiste en una capa delgada que se preforma o forma directamente sobre la superficie del producto como una envoltura protectora. Es importante que las películas comestibles no sean totalmente limitantes en el intercambio de gases ya que se pueden provocar desordenes fisiológicos (Quintero y Falguera, 2011). Los recubrimientos aplicados a productos vegetales se han dividido en cuatro categorías:

- ▶ **Recubrimientos a base de polisacáridos.** Son los más utilizados para productos vegetales debido a sus propiedades mecánicas de adherencia y flexibilidad en la superficie de los productos. Estos recubrimientos son una buena barrera para los gases (CO_2 y O_2). Por el contrario, no son buena barrera contra la humedad. Entre los compuestos más utilizados se encuentran pectina, almidón y derivados de celulosa.
- ▶ **Recubrimientos a base de proteína.** En general estos recubrimientos presentan una buena permeabilidad a los gases (CO_2 y O_2), alta permeabilidad al vapor de agua debido a su naturaleza hidrofílica y moderadas propiedades

mecánicas (Girón-Calle et al, 2005). Entre los compuestos utilizados, se encuentran la caseína y albumina.

▶ **Recubrimientos a base de lípidos.** Los recubrimientos de lípidos son muy eficientes para reducir la deshidratación y transpiración de los productos debido a su baja polaridad. Están formados por compuestos hidrofóbicos por lo cual tienen buenas propiedades de barrera para humedad, permitiendo una escasa permeabilidad del vapor de agua. Por otro lado ofrecen poca resistencia a la transferencia de gases. Entre los compuestos usados se encuentran ceras, acetoglicéridos y surfactantes. La aplicación de una capa lipídica sobre la superficie de frutas y hortalizas restituye la cera natural de la cutícula que haya sido removida parcialmente.

▶ **Recubrimientos compuestos.** Son formulaciones mixtas de polisacáridos, lípidos o proteínas que aprovechan las cualidades de cada grupo, formando una bicapa. Estos recubrimientos son los más utilizados en aplicaciones para hortalizas. En este grupo se pueden encontrar películas compuestas con carboximetilcelulosa (CMC) o CMC sódico más ésteres de ácido graso o sacarosa.

Los recubrimientos se pueden utilizar como vehículo de aditivos, los cuales pueden proporcionarle al producto funciones específicas como actividad antimicrobiana, para evitar o reducir el crecimiento de microorganismos en su superficie. Los aceites esenciales tienen una actividad fungicida contra patógenos post cosecha, su mecanismo de acción se asocia con la capacidad de interactuar con el citoplasma del patógeno. La hidrofobicidad de los aceites les permite incorporarse a los lípidos de la membrana bacteriana, ocasionando trastornos en su estructura y permeabilidad dando lugar a fuga de iones y otros compuestos (Ramos-García et al, 2010).

La aplicación de cubiertas comestibles en nopal verdura tiene un efecto diferente en la calidad durante el almacenamiento refrigerado dependiendo de la temperatura y de las diferentes variedades de nopal.

Rodríguez-Félix et al (2007), evaluaron el efecto de la aplicación de ceras comestibles en la calidad de cladodios de nopal durante el almacenamiento a 5 y 10°C por 30 días. Las ceras utilizadas contenían: cera 1 (10% de ácidos grasos, 7% de carbohidratos, 0.75% de carboximetilcelulosa, CMC y 0.1% de polietilén glicol), Semperfresh al 0.7% (ésteres de ácidos grasos, carboximetilcelulosa de sodio y mono diglicéridos de ácidos grasos), y agua (testigo).

De acuerdo a los resultados mostrados en dicho estudio, los cladodios almacenado a 10°C con cera Semperfresh tuvieron menor pérdida de peso con respecto al testigo, mientras que en el tratamiento con cera 1 se observó mayor pérdida de peso. Esta disminución de la pérdida de peso puede ser atribuida a la barrera al vapor de agua creada por la cera en la epidermis del producto hortícola. La cera Semperfresh y otras ceras similares a base de polisacáridos, aún cuando no constituyen barreras tan efectivas al movimiento de agua como las ceras a base de lípidos, tienen un efecto en la transpiración de los vegetales debido a que bloquean los estomas, lo que resulta en una disminución en la pérdida de agua. Mientras que el incremento en la pérdida de peso causado por la cera 1 puede deberse a que ésta no se formuló con el contenido adecuado de lípidos para nopal. Durante el almacenamiento a 5°C, no se observó un efecto significativo de las ceras Semperfresh y cera 1 en reducir la pérdida de peso, presentando valores similares al testigo. La menor pérdida de peso observada a 5°C en comparación con 10°C puede atribuirse a la disminución de la actividad biológica (tasa de respiración) del producto al ser almacenado a una temperatura más baja (5°C).

La cera Semperfresh mantuvo mejor el color verde de los cladodios, menor color se observó en los cladodios testigo y en los tratados con cera 1 y almacenados a 5°C. Los menores cambios de color de los cladodios encerados pueden estar relacionados con una modificación de la atmósfera causada por el encerado, ya que se ha observado que las atmósferas modificadas con bajos niveles de O₂ y

elevados niveles de CO₂, retrasan la senescencia e inhiben la degradación de clorofila. Así mismo, el uso de las ceras comestibles en el nopal disminuyó los daños por frío y las pudriciones durante el almacenamiento.

Los recubrimientos pueden ser aplicados tanto directamente como indirectamente en pre tratamientos, por ejemplo en los tratamientos previos a la congelación o al secado. Robles-Ozuna et al, (2007) determinaron el efecto del uso del quitosano, como película, mediante el escaldado de nopal. Utilizaron el escaldado por inmersión a una temperatura de 70 °C. Las condiciones para el escaldado consistieron en soluciones de quitosano al 0.1, 0.2 y 0.3 p/v, con variaciones en tiempo de 1, 2 y 3 min. Una vez realizados los tratamientos, los nopalitos se congelaron rápidamente empleando N₂ líquido y se almacenaron a -20 °C para sus posteriores evaluaciones. Además se utilizaron nopalitos sin tratamiento como control.

La utilización de una película de quitosano adicionado al medio de escaldado produjo un incremento en la acidez del nopal, cerca del 14 % en relación a la muestra sin quitosano. Sin embargo, la adición de quitosano mantuvo la intensidad de color a un nivel aceptable. Es posible considerar que el efecto obtenido pudo deberse a la adherencia del quitosano como película en el nopal y que al estar en el medio de escaldado, provocó una disminución en la degradación del color verde.

En cuanto al efecto de la concentración de quitosano sobre los sólidos solubles totales en los nopalitos, se observa una tendencia a reducirse cuando se emplearon las primeras dos concentraciones (0.1 y 0.2 %), pero cuando se utiliza la máxima concentración (0.3%) y el mayor tiempo de escaldado los sólidos solubles vuelven a su concentración original. En cuanto a la pérdida de mucílago durante el escaldado el quitosano tuvo un papel importante pues evitó la salida de mucílago y otros componentes hidrosolubles en el medio. Por otra parte, el carácter policatiónico del quitosano pudo interactuar con el mucílago (aniónico) generando una red polimérica que detuvo al mismo tiempo el arrastre de los sólidos solubles totales del producto. Es evidente que el empleo de quitosano a

una concentración de 0.3% y tiempo de 3 min en el escaldado, mantiene el contenido de sólidos solubles totales en los nopalitas. Así mismo las concentraciones de quitosano empleadas ofrecieron resultados favorables en la inhibición de la polifenol oxidasa (PPO). Aunque esto se obtuvo posiblemente a la suma del efecto del tiempo de escaldado y la adición de quitosano en el medio.

El mucilago de nopal es un polímero compuesto por polisacáridos semejantes a la pectina, ésta propiedad así como las características reológicas le da un potencial como materias prima para la elaboración de películas comestibles (Aquino et al., 2009). Tomando en cuenta las propiedades del nopal, se pueden desarrollar aplicaciones como aditivos naturales para la industria alimentaria a partir de su mucilago; tales como: espesantes, reemplazantes de grasas, estabilizadores de emulsiones, películas comestibles y recubrimientos para alargar la vida de anaquel y mejorar la calidad de alimentos frescos, congelados y procesados.

González – González (2011) evaluó una película elaborada a partir de mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*), empleando como plastificantes glicerol, polientilenglicol y ácido oleico para recubrir nopal verdura y aumentar su vida de anaquel. En dicho estudio se observó que la interacción de las unidades de polisacárido del mucilago con la combinación de las proporciones de plastificantes dio como resultado la disminución de la tasa de respiración, lo cual podría incidir positivamente en el aumento de la vida de anaquel del nopal verdura.

Por su parte Aquino et al. (2009) utilizaron una solución de mucilago de nopal combinado con diferentes concentraciones de ácido cítrico y bisulfito de sodio para inhibir el oscurecimiento de plátano durante la deshidratación. Las rebanadas de plátano se sumergieron en una solución de mucilago- ácido cítrico y bisulfito de sodio para posteriormente secarse en un secador de túnel. En este estudio se encontró que el mucilago forma una barrera brillante en la superficie y la capacidad inhibitoria es mínima. Al evaluar el efecto sinérgico de los tres factores del pre-tratamiento se comprobó que el mucilago de nopal combinado con antioxidantes es una buena alternativa para la disminución del oscurecimiento en el secado,

además de qué forma en el material una cubierta protectora que puede conservar la calidad del producto deshidratado durante el almacenamiento.

El estudio y desarrollo de películas comestibles se ha convertido en una alternativa para productos hortofrutícolas procesado, mínimamente procesados y comercializados en fresco, donde el objetivo es extender la vida útil del producto manteniendo la calidad. Sin embargo, es indispensable una mayor investigación para la caracterización de nuevas películas que incluya desarrollar formulaciones para cada tipo de alimento con costos competitivos.

Las principales ventajas de los recubrimientos pueden incluir:

- ❖ Prolongación del período de almacenamiento.
- ❖ Reducción de pérdida fisiológica de peso
- ❖ Menor incidencia de infecciones fúngicas en las superficies.
- ❖ Mejora la apariencia del fruto impartiendo brillo.
- ❖ Protección física ante los daños por manipulación y transporte.
- ❖ Carácter comestible y degradación.
- ❖ Valor nutricional agregado con biopolímeros incorporados.

1.2 ATMÓSFERAS MODIFICADAS

El envasado en atmósferas modificadas es utilizado para reducir la velocidad de deterioro de frutas y hortalizas y a menudo esta técnica es referida como procesado mínimo.

La modificación de la atmósfera reduce aun más el ritmo metabólico obtenido con la refrigeración, dando como resultado una extensión del periodo de conservación sin afectar la calidad. Esta modificación produce un retardo en los cambios bioquímicos y fisiológicos relacionados con la senescencia y fundamentalmente en el ritmo respiratorio, producción de etileno, cambios en la composición y el ablandamiento del producto. El tiempo que las hortalizas pueden permanecer en una atmósfera modificada depende de la condiciones de almacenamiento.

El almacenamiento de nopal bajo condiciones de una atmósfera modificada influye en un cambio de color de verde brillante a un verde olivo. La acidez del nopal tiende a disminuir. En cuanto a la firmeza del cladodio hay una disminución de ésta, debido a la pérdida de humedad. Mientras transcurre el tiempo de almacenamiento, se pierde firmeza. Además puede presentarse producción de etanol debido a que el O_2 se agota y como consecuencia la respiración cambia de aerobia a anaerobia (Osorio-Córdoba et al., 2011).

La modificación de la concentración de los gases en el medio, ya sea por adición o remoción, de forma tal que se obtenga una atmósfera diferente a la del aire, aproximadamente 78.1% nitrógeno, 21% oxígeno y 0.03% dióxido de carbono (López, 2003), puede modificar la tasa de respiración y por lo tanto alargar la vida de almacenamiento. Por tal motivo los gases juegan un papel muy importante en la tecnología de las atmósferas modificadas. Comúnmente se usa N_2 , O_2 y CO_2 . Cada gas tiene un rol distinto y específico.

Nitrógeno. Es un gas inerte el cual no afecta al alimento, previene el colapso del empaque en productos que absorben CO_2 . También puede usarse para sustituir al O_2 en alimentos con baja actividad acuosa (A_w) y para prevenir daño químico en alimentos como la rancidez oxidativa.

Oxígeno. Es usado en bajas concentraciones en empaques de productos que respiran como frutas y vegetales. Además previene las condiciones anaeróbicas y limita el crecimiento de microorganismos anaeróbicos potencialmente patógenos.

Dióxido de Carbono. Es el gas más importante en la mezcla, es usado como bacteriostático y fungistático. Puede también utilizarse para prevenir el crecimiento de insectos en productos alimenticios empacados y almacenados. El CO_2 es altamente soluble en agua donde forma ácido carbónico y al disminuir el pH produce ligeros cambios en el tejido así como en el sabor del alimento.

La concentración máxima tolerable de CO_2 es característica de cada vegetal, si la concentración excede del límite se pueden presentar daños en el vegetal.

El procedimiento consiste en empaquetar el producto en bolsas plásticas, generalmente de polietileno. En este ambiente y debido al efecto respiratorio, se disminuye la cantidad de oxígeno y se incrementa el nivel de CO₂ en el empaque hasta que se logra un equilibrio entre ambos gases. Dando como resultado la reducción de la respiración y alargándose la vida de almacenamiento.

El polietileno permite la transferencia de masas del oxígeno hacia el interior y hacia afuera de la bolsa CO₂ y vapor de agua a una tasa dependiente de la densidad del polietileno. Por tal motivo es esencial que el espesor de la bolsa sea el adecuado. Si es muy gruesa no penetrará suficiente oxígeno y el ambiente interno se hará rico en CO₂ provocando daños en el producto. Cuando la permeabilidad de las películas es muy baja el producto puede dañarse debido a la acumulación de agua, CO₂ o a la reducción de O₂. En estos casos se deben perforar agujeros en la película para mejorar la ventilación. Perforando agujeros en el plástico se puede mantener una alta humedad alrededor del producto aunque puede ser menos efectivo en el retraso de la maduración debido a que no se tiene el mismo efecto sobre el contenido de CO₂ y O₂ en el interior de la bolsa.

La concentración de gases en el interior del empaque es de gran importancia, por tal motivo Osorio-Córdoba *et al.* (2011) estudiaron la conservación de nopal en atmósferas modificadas. Aplicaron tres atmósferas: aire, nitrógeno y una mezcla de O₂, CO₂ y nitrógeno. Los nopales se almacenaron a 4°C. Durante el almacenamiento, se observó en los cladodios una reducción en la acidez titulable. El oscurecimiento de las zonas desespínadas empezó a observarse a los 10 días de almacenamiento. En atmósfera de nitrógeno la pérdida de peso fue sólo del 1%. La aparición del oscurecimiento se retrasó en cinco días y su intensidad se redujo, particularmente en las atmósferas que contenían aire y nitrógeno. Por lo tanto, la atmósfera modificada con nitrógeno indujo la menor producción de metabolitos de fermentación. Por lo cual es la recomendada para conservar la calidad de nopal. La calidad logró conservarse por un período de 20 días.

El uso de películas plásticas, mantiene la calidad y aumentan la vida de anaquel del producto mínimamente procesado. En el nopal se han realizado algunos

estudios. Por ejemplo Fortiz-Hernández et al. (2010) evaluaron el efecto del envasado en películas plásticas en la calidad de nopal durante el almacenamiento a 5°C por 20 días. Evaluaron películas de polietileno de baja densidad (PEBD), como testigo y películas de la marca CRYOVAC de los tipos RD 106 y PD 960.

Encontrando que el nopal envasado en bolsas de PEBD (testigo) presentó altas concentraciones de O₂ y bajas concentraciones de CO₂. Los altos niveles de O₂, indican que la permeabilidad al O₂ de esta película es muy alta. El Nopal envasado con película de PEBD (testigo) mostró oscurecimiento a partir del día 7 y se incrementó rápidamente. Por otro lado las bolsas con película CRYOVAC RD 106 y PD 960 presentaron concentraciones adecuadas de CO₂ pero concentraciones de O₂ por debajo de las recomendadas. Lo que indica que la permeabilidad al O₂ de estos materiales es muy baja. El envasado en las películas CRYOVAC RD 106 y PD 960 retrasó el inicio del oscurecimiento en nopal hasta el día 14 y 15, respectivamente. Durante el almacenamiento se presentó secreción de mucílago de nopal en los días 10 y 11.

La acidez tendió a disminuir. El nopal envasado con película de PEBD (testigo) presentó valores acidez menores al envasado con películas PD 960 y RD 106. En general, los valores de firmeza de nopal envasado con películas PEBD (testigo), PD 960, y RD 106, mostraron una tendencia a mantenerse durante el almacenamiento a 5°C.

El mejoramiento de la calidad post cosecha de hortalizas es de gran importancia debido a que el suministro de frutas y hortalizas puede sobrepasar la demanda del mercado. El almacenamiento en atmósferas controladas es una tecnología que puede contribuir a aumentar la vida comercial con atributos de buena calidad.

El almacenamiento en atmosfera controlada aunado al método de refrigeración y utilización de antioxidantes aumenta la vida post cosecha del nopal. Así lo demostró Quevedo-Preciado et al. (2005) al evaluar el efecto de la adición de ácido ascórbico y de ácido cítrico en la inhibición del oscurecimiento y en la calidad de nopal envasado en bolsas de polietileno. Los nopales se dividieron en

cuatro fracciones y cada fracción se sumergió durante 1 min, en soluciones de: ácido ascórbico 0.5 M, ácido cítrico 0.5 M, ácido ascórbico 0.5 M + ácido cítrico 0.5 M y agua clorada. Después cada fracción se envasó en bolsas de polietileno Cryovac PD 960. La mitad de las bolsas se almacenaron a 5 °C y la otra mitad a 10 °C.

Después de la evaluación se recomienda el uso de ácido ascórbico para disminuir el oscurecimiento en el nopal, la pérdida de firmeza, la secreción de mucílago y mantener el color verde del nopal durante el almacenamiento. Con la aplicación de ácido ascórbico es factible extender la vida de anaquel de nopal verdura mínimamente procesado a 11 d a 10 °C y 20 d a 5 °C.

Por su parte Fortiz-Hernández y Rodríguez-Félix (2010), encontraron que la reducción del oscurecimiento enzimático en las áreas de corte y desespinado en nopal, está relacionada con el almacenamiento a bajas temperaturas. Así mismo, una concentración baja de O₂ en el envase, disminuye la actividad de algunas oxidasas como polifenoloxidasas y ácido ascórbico-oxidasas.

Las condiciones de las atmósferas controladas pueden provocar un incremento en la concentración de etileno acelerando la maduración y provocando alteraciones fisiológicas. Una descompensación en la mezcla gaseosa puede provocar cambios en la actividad bioquímica de los tejidos dando lugar al desarrollo de olores extraños y estimulando la respiración anaeróbica. Este hecho fue observado por Fortiz-Hernández et al. (2010) al evaluar el efecto del envasado en películas plásticas sobre la calidad de nopal mínimamente procesado. Evaluaron películas de polietileno de baja densidad (PEBD), como testigo y películas de la marca CRYOVAC de los tipos RD 106 y PD 960. Encontrando que el contenido de etanol y acetaldehído en nopal envasado con películas PD 960 y RD 106, mostraron una tendencia a aumentar durante el almacenamiento a 5°C.

Este incremento en los valores de etanol y acetaldehído en nopal envasado con películas CRYOVAC PD 960 y RD 106 lo relacionaron con las bajas

concentraciones de O₂ dentro de estos envases, debido a que presentaron concentraciones de O₂ por debajo de las recomendadas para productos mínimamente procesados. Lo cual indica que la permeabilidad al O₂ de estos materiales es muy baja para ser utilizada con nopal. Por lo tanto, las concentraciones bajas de O₂ y/o altas concentraciones de CO₂ pueden inducir procesos anaeróbicos y generar productos de la fermentación (etanol, acetaldehído y lactato).

El almacenamiento en atmosferas modificadas es una opción potencial dadas las tendencias actuales donde se presenta una mayor demanda de productos frescos, pres cortados y empacados mínimamente procesados, listos para consumirse. El producto no pierde propiedades que perdería al ser procesado.

Sin embargo, los estudios sobre la conservación de nopal y los concernientes al envasado en atmósferas modificadas son limitados. Por tal motivo es necesaria una mayor investigación.

1.3 REFRIGERACIÓN

La refrigeración consiste en someter a los alimentos a la acción de bajas temperaturas sin alcanzar las de congelación. La temperatura de refrigeración deberá mantenerse uniforme y sin cambios bruscos durante el periodo de conservación (Amigo, 2005). En condiciones ideales, la refrigeración de los productos perecederos comienza en los momentos de la cosecha y se mantiene durante el transporte, la conservación en bodega, la venta y el almacenamiento anterior a su consumo.

Durante el periodo entre la cosecha y el consumo, el control de temperatura es el factor más importante para mantener la calidad de los productos. Cuando se separan de la planta original, las frutas, hortalizas y flores son aún tejidos vivos que respiran. La conservación del producto a la temperatura más baja posible aumentará la vida útil del mismo, ya que las temperaturas bajas disminuyen la

tasa de respiración y la sensibilidad al etileno, reduciendo además la pérdida de agua.

En relación a los cladodios, Rodríguez-Félix *et al.* (2007) señalan que la calidad de los cladodios de nopal verdura (*Opuntia ficus-indica*) durante el almacenamiento refrigerado es afectada por la pérdida de peso. Por lo cual evaluaron la calidad de los cladodios durante el almacenamiento por 30 días a 5 y 10°C. Encontrando que la pérdida de peso fue menor durante el almacenamiento a 5°C con respecto al almacenamiento a 10°C. La menor pérdida de peso observada a 5°C puede atribuirse a la disminución de la tasa de respiración del producto al ser almacenado a una temperatura menor.

Así mismo Quevedo-Preciado *et al.* (2005) evaluó la calidad de nopal verdura mínimamente procesado envasado en bolsas de polietileno, durante su almacenamiento a 5 °C y 10 °C. A 5 °C se registró 37 % más de O₂ que a 10 °C. Los mayores niveles de O₂ a 5 °C que a 10 °C se atribuyen a la menor tasa de respiración del producto a menor temperatura.

El manejo de los frutos a temperatura ambiente, además de acelerar el proceso de maduración, favorece el desarrollo de microorganismos en los productos hortofrutícolas. Así al lograr el manejo de bajas temperaturas durante el almacenamiento se obtiene el control de la actividad y desarrollo de microorganismos.

Quevedo-Preciado *et al.* (2005) en su estudio indica que el nopal almacenado a 10 °C mostró valores de oscurecimiento mayores que el almacenado a 5 °C. Esto se atribuye a que el frío disminuye las reacciones metabólicas del tejido y al mismo tiempo disminuye la actividad de PPO. Menciona que en el caso de los productos hortícolas cortados en fresco, es importante recurrir a la conservación a bajas temperaturas (≤ 5 °C) para frenar el deterioro y el desarrollo de hongos y bacterias en el producto. Pues la mayor población de mesófilos aerobios se encuentra en nopal almacenado a 10°C.

Algunas de las ventajas durante la congelación consisten en La efectividad en la conservación de productos frescos, preservación de las características nutricionales de los productos, sin pérdida de valor y reducción de las pérdidas post cosecha de productos perecederos

1.4 SUSTANCIAS QUÍMICAS

Un método aplicado a la conservación de alimentos en la conservación mediante agentes químicos. Las sustancias químicas más aplicadas al nopal son los antioxidantes. Un antioxidante es toda sustancia que retrasa o previene el deterioro, daño o destrucción provocados por una oxidación. Estas sustancias son utilizadas para conservar alimentos mediante el retraso del deterioro, ranciedad o decoloración debido a la oxidación. El efecto inhibitorio de los antioxidantes se atribuye a la donación de de electrones o átomos hidrogeno al radical hidroxilo (radical libre) formándose agua.

Los antioxidantes pueden clasificarse en sintéticos y naturales. Entre los sintéticos se encuentran el BHA (hidroxianisol butilado), TBHQ (butilhidroquinona terciaria) y BHT (hidroxitolueno butilado). En cuanto a los antioxidantes naturales, gran parte de ellos son compuestos fenólicos entre los que se encuentran los flavonoides, ácidos fenólicos y tocoferoles. También pueden citarse otros antioxidantes como el ácido ascórbico y la clorofila (Flores-Álvarez et al., 2011).

Quevedo-Preciado et al. (2005) evaluó el uso de los ácido ascórbico y ácido cítrico para reducir el oscurecimiento y pérdida de calidad de nopal mínimamente procesado envasado en bolsas de polietileno. Los cladodios fueron cortados en cuadros; cada fracción se sumergió por separado y por 1 min, en soluciones de: ácido ascórbico (AA) 0.5 M, ácido cítrico (AC) 0.5 M, ácido ascórbico 0.5 M + ácido cítrico 0.5 M (AA+AC) y agua clorada (testigo). Todas las soluciones, así como el testigo contenían 0.2 % de sorbato de potasio.

Los resultados indican que el nopal tratado con ácido ascórbico presentó mayor firmeza que el tratado con ácido cítrico y con AC+AA y que el testigo, entre los

cuales la firmeza fue similar. Presento mayor oscurecimiento el nopal tratado con ácido cítrico, mientras que el tratado con ácido ascórbico presento menor oscurecimiento. La carga microbiana presentó la menor concentración en nopal tratado con ácido ascórbico.

Por lo tanto, se recomienda utilizar ácido ascórbico como inhibidor del oscurecimiento del nopal. Indica además que el ácido ascórbico es el inhibidor más efectivo, después de los sulfitos, para la prevención del oscurecimiento enzimático en frutas y hortalizas. Con la aplicación de ácido ascórbico es factible extender la vida de anaquel de nopal verdura mínimamente procesado a 11 d a 10 °C y 20 d a 5 °C.

El nopal no solo se ve beneficiado por el tratamiento con sustancias química, sino que dependiendo del tratamiento al que es sometido también pueden verse afectadas sus características antioxidantes.

Flores-Álvarez et al. (2011) realizaron análisis de compuestos fenólicos totales, capacidad antioxidante y clorofila para nopal (*Nopalea cochenillifera*) en las presentaciones fresco, escaldado y seco (en polvo). Los resultados indican que el tiempo de almacenamiento tiene un efecto significativo sobre el contenido de compuestos fenólicos. Se incremento la concentración de estos compuestos conforme transcurrió el tiempo, tanto para la presentación de nopal fresco como para el nopal escaldado. Mientras que en la presentación de nopal seco los compuesto fenólicos tuvieron una tendencia constante, este comportamiento pudo deberse a que se trata de un producto con baja humedad, y por lo tanto menor actividad de agua que el nopal fresco o escaldado, proporcionándole mayor estabilidad. En cuanto a la Capacidad antioxidante este parámetro presento un comportamiento similar al del contenido de los compuestos fenólicos.

Se observó una reducción en el contenido de clorofila para el nopal fresco y escaldado. Los valores de clorofila para el nopal seco fueron menores, lo cual pudo deberse a la degradación de la clorofila a feofitina por la exposición del nopal al calor durante el escaldado y secado.

CAPÍTULO II. NOPAL DESHIDRATADO

En la mayoría de los países, la producción de muchos cultivos alimenticios perecederos es estacional. Lo que provoca que los productos estén disponibles durante breves periodos del año. Durante este tiempo se produce una cantidad superior a la demanda del mercado y debido a esto, los excedentes de muchas de estas cosechas se deben conservar a fin de no desperdiciar el alimento.

Los nopales poseen un alto porcentaje de humedad, característica que limita su vida útil. Por tal motivo la necesidad de buscar métodos de conservación apropiados y de bajo costo para la producción de nopalito deshidratado (Durán et al., 2011). Cuando el nopal es deshidratado, normalmente la pérdida de agua causa que el contenido nutrimental se eleve por peso neto, facilitando su consumo diario. (Aguilera-Barreiro, 2012). Sin embargo, la exposición prolongada a altas temperaturas puede afectar sus propiedades nutrimentales (Badui, 2006).

La deshidratación es una técnica de conservación de alimentos en la cual el contenido de humedad se reduce hasta un nivel en el cual el producto es relativamente estable químicamente. La ventaja del proceso de deshidratación es principalmente retardar el deterioro químico y microbiológico de los alimentos. Por otro lado la deshidratación reduce el volumen, el peso e influye en los costos del empaque, almacenamiento y transporte.

Actualmente, el secado con aire caliente continúa siendo el método más común de deshidratación en la industria química y de los alimentos. Sin embargo, las elevadas temperaturas y los periodos prolongados para remover el agua puede afectar seriamente su calidad nutricional y organoléptica (Soto et al., 2010).

El contenido de agua en los alimentos se encuentra en dos formas como: agua libre y agua ligada. En los métodos de deshidratación, el agua libre es de gran importancia, por lo tanto el agua libre se define de acuerdo a Badui (2006) como el agua contenida en los alimentos que se volatiliza fácilmente, se pierde en el

calentamiento, se congela primero y es la principal responsable de la actividad acuosa. Por lo cual el agua libre se elimina durante el proceso de secado.

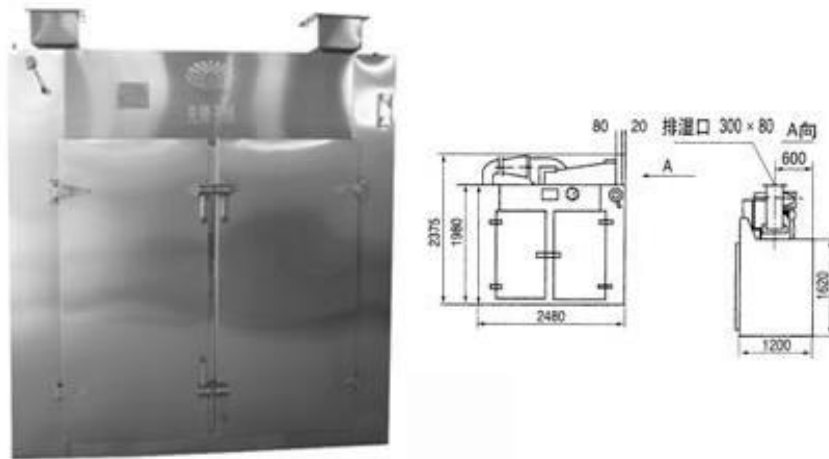
El agua ligada constituye el agua unida a los grupos polares de moléculas orgánicas (especialmente los grupos COO^- y NH_3^+ de las proteínas y los grupos OH^- de los almidones), así como el agua de hidratación de sales (interacciones agua- ión) y azúcares simples. Esta agua se comporta como parte integral del sólido y, aunque puede ser en cierta medida retirada, no puede ser congelada, no puede participar en reacciones químicas ni tampoco puede ser utilizada por solutos próximos como disolvente (Rodríguez, 2008).

El agua ligada es la más difícil de eliminar en los procesos comerciales de secado, en algunos casos se puede reducir parcialmente en la deshidratación, pero esto no es recomendable, ya que además de que se requiere mucha energía y se daña el alimento. Su presencia ejerce un efecto protector, sobre todo contra las reacciones de oxidación de lípidos, porque actúa como barrera del oxígeno. En los productos muy secos no existe agua que actúe como filtro del oxígeno y la oxidación se produce fácilmente (Badui, 2006).

Son diversos los tipos de secadores utilizados dependiendo de las características y propiedades físicas del producto húmedo y del producto final que se desea obtener. En la aplicación para deshidratación de nopal mediante aire caliente destacan:

- ▶ **SECADOR DE HORNO.** Se usa principalmente para el procesamiento de granos, frutas y hortalizas. El aire caliente se hace circular dentro del horno del equipo de secado para asegurar una mayor eficiencia y ahorro de energía. La ventilación y el distribuidor de aire ajustable proporcionan un secado uniforme. Las fuentes de calor que pueden ser utilizados son el vapor, electricidad, agua caliente, entre otros. La temperatura puede estar controlada automáticamente. Con un amplio campo de aplicaciones, se puede utilizar en muchos tipos de materia prima. La desventaja es que los tiempos de secado son largos Figura 8.

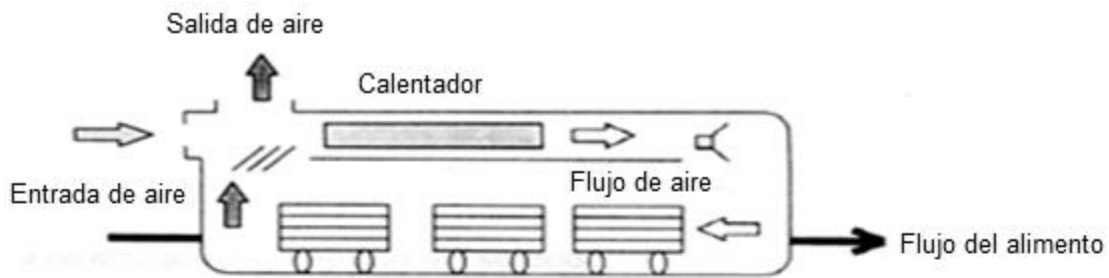
Figura 8. Configuración típica de un secador de horno.



FUENTE: <http://www.dryingmachineschina.es/1-1-hot-air-oven-drying.html> (2014)

- ▶ **SECADOR DE TÚNEL.** Este tipo de secador se utiliza en el secado de frutas y hortalizas en operación semi continua. Este secador consiste en un armario aislado, bandejas y una fuente de calor para la circulación del aire caliente. Las bandejas con el producto se colocan en un compartimiento en contacto con el aire de secado. El aire es calentado mediante un calentador y pasa a través de la bandeja y cubre el producto. El material es suministrado y descargado desde los dos extremos de la máquina secadora industrial respectivamente. El horno con túnel emplea un calentador central, que facilita la conexión de de fuentes de calor, tales como carbón, gasolina, gas, horno con tiro de aire caliente, y conductos de aceite caliente. De acuerdo con los requerimientos del proceso, los materiales pueden ser suministrados y descargados de forma manual o mecánica La desventaja es que presentan un secado no uniforme en distintos puntos del túnel Figura 9.

Figura 9. Secaderos de túnel.



FUENTE: BARBOSA-CÁNOVAS Y VEGA-MERCADO (2000), <http://www.chinadrier.es/1-drying-oven-4.html> (20014)

Los defectos más comunes en alimentos deshidratados son el endurecimiento, textura leñosa, y baja o incompleta rehidratación. Algunos de estos cambios en vegetales se deben a la cristalización de los polisacáridos (almidones) originado por la eliminación de agua en sinergia con la pérdida de integridad celular. La

contracción o mengua es el cambio más común en la deshidratación y ocurre en las primeras etapas del secado. Este fenómeno es debido al colapso de la estructura relacionada con la temperatura. Debido a que las hortalizas poseen un contenido de humedad inicial alta es difícil evitar la contracción del alimento. En cuanto a pigmentos, la clorofila se puede transformar en feofitina por efecto de la deshidratación lo que lleva a que se obtenga un color oliváceo en el producto (Barbosa- Cánovas, 2000).

Por otro lado la utilización de bajas temperaturas durante el proceso de deshidratación, por ejemplo en la liofilización, aumenta la porosidad y disminuye la contracción, la desventaja de este proceso es que es caro debido a las condiciones de proceso es decir, temperaturas inferiores a -30° C, presión de vacío y tiempo de proceso superior a las 12 horas.

La liofilización es una tecnología desarrollada para superar las pérdidas de los compuestos responsables de los aromas en alimentos, los cuales se pierden en las operaciones convencionales de secado. Este proceso consta de dos etapas:

(1) Congelación del Producto.

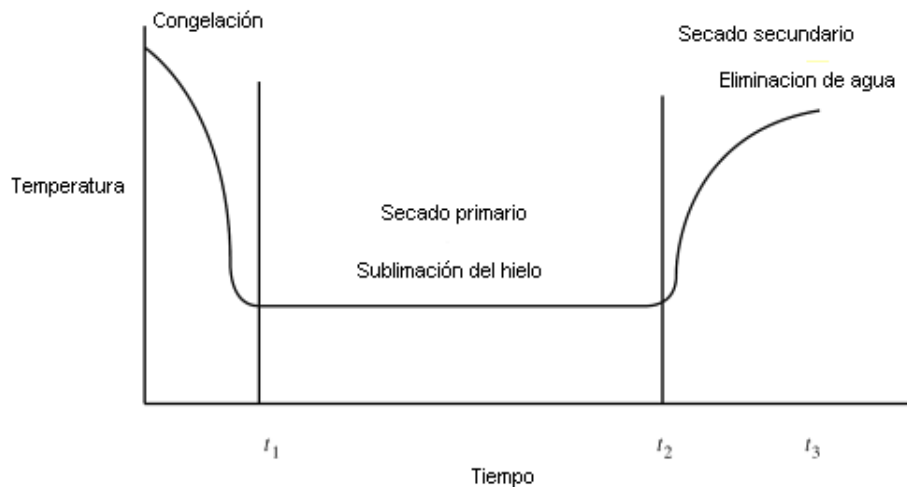
La congelación debe ser rápida con el objetivo de obtener un producto con cristales de hielo pequeños y amorfos. La eliminación de la capa de la superficie del producto congelado da mejores velocidades de secado.

(2) Secado por sublimación.

En la liofilización se distinguen dos etapas de secado. La primera de ellas es la sublimación de hielo bajo vacío. El hielo sublima cuando se suministra energía, el vapor de agua generado es eliminado a través de los poros. La energía para la sublimación puede ser suministrada por radiación o conducción a través del producto congelado, o por radiación con microondas a las moléculas de agua (Barbosa-Cánovas y Vega-Mercado, 2000).

La segunda etapa comienza cuando se ha sublimado el hielo y la humedad proviene del agua parcialmente ligada al alimento. En esta etapa la velocidad de calentamiento disminuye para mantener la temperatura por debajo de 30- 50 °C lo que evitara el colapso de la estructura celular Figura 10.

Figura 10. Etapas de la liofilización.

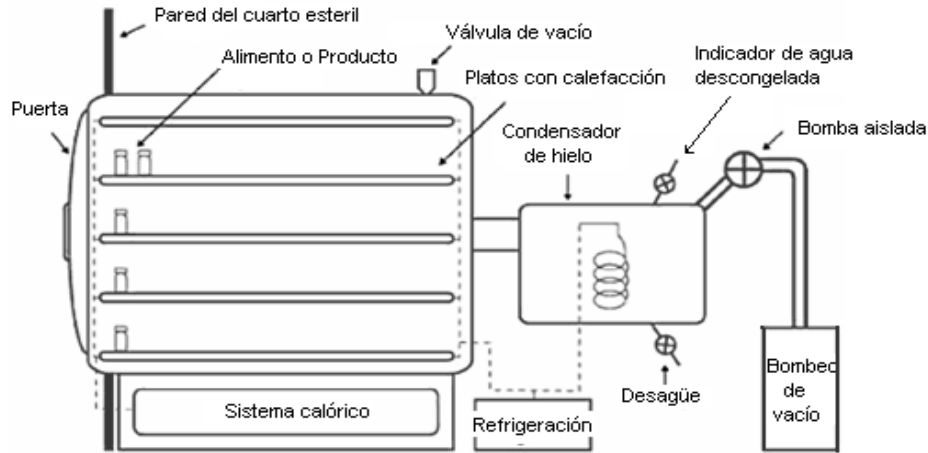


FUENTE: RAMÍREZ (2006)

El uso de bajas temperaturas también disminuye la desnaturalización de proteínas y permite una rápida y completa rehidratación debido a la porosidad de los productos tratados por liofilización. La mayor desventaja de este método son los costos energéticos y los largos periodos de secado.

Algunos de los productos obtenidos por liofilización son verduras, frutas, extractos de café y té, carne y pescado. Estos productos poseen de 10- 15 % del peso original y no requieren refrigeración. Un sistema de liofilización típico se muestra en la Figura 11.

Figura 11. Sistema de liofilización.



FUENTE: RAMÍREZ (2006)

Contreras-Padilla et al. (2012) investigaron los efectos de tres diferentes procesos de secado: secado en horno, liofilización y secado en túnel sobre las propiedades fisicoquímicas y atributos nutricionales de los cladodios. Utilizando Nopal (*Opuntia ficus-indica*) cortados en cuadros.

Para el secado en horno, las condiciones de secado fueron de 50 ° C. La cantidad de nopal utilizado fue de 5 kg y el tiempo total de secado fue de 12 h. En la liofilización los nopales se mezclaron con el fin de obtener un puré que se congeló durante 24 horas a -50 ° C. A continuación, las muestras se liofilizaron con vacío a una temperatura de -46 ° C durante 4 días. La cantidad de Nopal utilizado fue de 1 kg. Para el secado en túnel, las condiciones de secado fueron 70 ° C. El tiempo de secado fue de 9 h. La cantidad de cada muestra fue de 0,5 kg.

Los resultados indican que el contenido de proteína, fibra soluble y grasa fue mayor para las muestras liofilizadas. Además retuvieron mejor el color verde del nopal. En la liofilización se obtuvo menor contenido de humedad (alrededor de 4%), mientras que para los otros dos procesos fue de aproximadamente 5,5%. Los procesos de secado mediante tratamiento térmico (secado en túnel y horno) inducen una mayor degradación en la fibra soluble. La disminución del contenido

de proteína y grasa en los métodos por tratamiento térmico pueden deberse a reacciones que se producen durante el proceso de secado, dando como resultado compuestos volátiles. El tratamiento térmico también puede generar un ligero deterioro de las clorofilas afectando el color del polvo de nopal dando como resultado una tonalidad amarilla.

Por lo anterior las muestras obtenidas por el proceso de liofilización se evaluaron como la mejor, ya que conservan el contenido más alto de los nutrientes estudiados y el color era más verde que las otras muestras.

Otra forma de deshidratación es mediante secado solar, es el método más simple y natural, el alimento es diseminado y expuesto al sol. Consiste en el aprovechamiento de las condiciones ambientales naturales. El calor ambiental remueve la humedad de los alimentos que con ayuda del viento es gradualmente eliminada. Presenta la ventaja de su sencillez y economía.

A pesar de su amplio uso, sus ventajas y aprovechamientos (fácil operación, energía gratuita, sencillo), presenta algunos inconvenientes. Depende de las fuerzas naturales (incontrolables por el hombre) lo que puede llevar a un secado excesivo y por consiguiente a cambios nutricionales, es lento e inapropiado para muchos productos, no reduce la humedad a menos de 15 % con una falta de uniformidad en el secado, requiere grandes superficies, los alimentos expuestos al sol son susceptibles a la contaminación y pérdida causada por polvo, hongos, bacterias, roedores e insectos. Los secadores solares pueden clasificarse en dos grandes grupos.

Secadores por convección natural. El alimento se calienta por insolación directa. Este tipo de secador no utiliza ventiladores, la velocidad de secado es baja y no existe mucho control sobre temperatura y humedad. Mediante este secador solo se puede procesar una pequeña cantidad de producto y en algunos de estos puede cambiar su color y aroma.

Efraín Rodríguez, (2010) realizó pruebas de deshidratación de nopal al aire libre observando problemas en el producto. El color verde se perdió por efecto de la

decoloración del sol. Las muestras se contaminaron con las esporas de hongos presentes en el aire afectando la calidad del producto final. Las muestras resultaron con algo de humedad dificultando el proceso de molido.

Secadores por convección forzada. En este secador se requiere la utilización de ventiladores para bombear el aire. Tiene mayores ventajas y resulta más barato que el secador por convección natural, debido a que es posible controlar la temperatura, humedad y velocidad de secado.

Durán et al. (2011) estudio el secado de muestras de nopalitos, empleando un secador solar por convección forzada. En el ensayo se procesó un kilogramo de nopal, contado en tiras. Realizándose en el mes de diciembre con valores de temperatura ambiente de 32 °C.

Los valores de humedad relativa en la cámara de secado fueron aproximadamente de 5%, lo que permiten inferir que el secado del producto se realizó en forma satisfactoria. El secador es capaz de secar la carga de 1 kg de nopalitos frescos en un día y medio. El aspecto, olor y color del producto seco es muy aceptable. Destacó que el contenido de fibra total y particularmente la fracción soluble del nopalito deshidratado con energía solar fue superior al tratado en estufa a 75°C, lo que indicaría un menor daño de la estructura de la fibra para el primero.

El procesamiento en lechos fluidizados es ideal para una amplia gama de productos. El procesamiento se logra haciendo pasar un gas (por lo general aire) a una velocidad controlada a través de una capa del producto para crear un estado fluidizado. El gas de fluidización aporta el calor para el secado en lechos fluidizados, pero el flujo del gas no tiene que provenir de una sola fuente. El calor se puede introducir de manera eficaz calentando las superficies (paneles o tubos) inmersas en la capa fluidizada.

El sólido en el lecho fluidizado está sometido a una acción de mezcla muy intensa, permite utilizar aire caliente a temperaturas muy elevadas. De este modo se consiguen grandes velocidades de transferencia de materia entre el sólido y el aire y por lo tanto tiempos de secado muy cortos (Fito et al., 2001).

El secado por lecho fluidizado se ha utilizado para secar materiales pastosos, siendo especialmente adecuado para productos homogéneos granulares, que fluyen libremente siempre y cuando la formación de polvo no sea excesiva y las partículas tengan resistencia a la abrasión.

Soto et al. (2010), determinaron el efecto del escaldado y la temperatura del aire sobre la cinética de secado de nopal en un secador de lecho fluidizado. Un lote del nopal en forma de trozos se escaldó en agua a 80 °C durante 3 minutos e inmediatamente se enfriaron utilizando agua fría, mientras que el otro lote no recibió tratamiento previo. La deshidratación se realizó en un secador de lecho fluidizado. Los trozos de nopal se deshidrataron a una temperatura del aire de secado de 50 °C, 60 °C, 70 °C y 80 °C.

Los resultados mostraron que al incrementar la temperatura, la velocidad de secado se incrementa significativamente debido a la elevación de la presión de vapor del agua y, debido a la difusión de la humedad que ocurrió durante el proceso, se reduce el tiempo de secado. El contenido de humedad final se obtuvo entre 4 % y 6 % con un tiempo de secado de entre 110 min y 270 min; dependiendo del tratamiento previo y de la temperatura del aire de secado. Para el nopal deshidratado sin escaldar el tiempo de secado se redujo en un promedio del 58.33% aproximadamente, y para el nopal escaldado la reducción fue del 61.6%.

El escaldado y la temperatura de secado tuvieron un efecto significativo sobre los valores de la difusividad, lo cual permitió una mejor transferencia de humedad. Los valores de energía de activación para la difusión de la humedad, se mostraron afectados por la temperatura de secado, mostrando con ello que se requiere mayor energía para remover la humedad de los trozos de nopal sin escaldar.

Los estudios realizados en los diferentes procesos de secado mostraron diversos efectos, en cuanto a la composición química y color. Esto influenciado directamente por el proceso, principalmente por el tratamiento térmico. Los resultados son importantes a considerar con el fin de seleccionar el equipo apropiado para el proceso de secado. El nopal deshidratado podría convertirse en

una de las principales formas de consumir cladodios en muchos países de todo el mundo. Siendo útil no solo en la industria alimentaria, también en la cosmética y farmacéutica. Por tal motivo, es necesario llevar a cabo estudios sobre el efecto de los componentes nutricionales y parámetros fisicoquímicos debido al proceso de secado con el fin de obtener productos con alta calidad nutricional adecuado para el consumo humano.

CAPÍTULO III. PROCESAMIENTO DEL NOPAL PARA LA INDUSTRIA DE ALIMENTOS

Los nopales son dignos de ser considerados para la industrialización. Entre los alimentos elaborados con base en los cladodios se encuentran: nopalitos (nopal verdura), preparados en fresco (mínimamente procesados), nopalitos en salmuera o en escabeche, así como jugos, mermeladas, confitados y harina de nopal. De estos, los más importantes por los volúmenes procesados son los nopalitos mínimamente procesados. Además, en las pencas de nopal existen valiosos y atractivos compuestos funcionales que pueden ser extraídos y utilizados para formular y enriquecer nuevos alimentos; para formar parte de la cada vez más cotizada gama de aditivos naturales (gomas, colorantes) en las industrias alimentaria, farmacéutica y cosmética; para formular suplementos alimenticios ricos en fibra o con fines de control de la diabetes y la obesidad. También es importante el uso indirecto de la planta como hospedero de la cochinilla del carmín para producir colorantes naturales. La posibilidad de utilización integral de nopal es importante para una serie de sectores industriales que pueden beneficiarse con productos obtenidos a partir de los nopales (Valdez Cepeda et al., 2008).

Los nopales mínimamente procesados se pueden comercializar enteros o cortados en cuadros o en tiras. Los nopales en salmuera consisten en nopal escaldado y conservado en solución salina (máximo 2 % de NaCl). Los Nopales en escabeche son nopales escaldados y conservados en vinagres aromatizados con especias (máximo 2 % de ácido acético), solos o combinados con verduras y/o condimentados (Corrales-García, 2011).

Recientemente ha sido muy popular el consumo de nopales licuados con alguna fruta como medida para bajar de peso o para personas que padecen ciertas enfermedades. El único problema de esto es que a muchas personas les es un

poco desagradable el mucílago o baba. El polvo de nopal o nopal deshidratado, ha venido a ofrecer una solución para este inconveniente.

Lazcano Hernández et al. (2010) evaluaron una bebida para diabéticos, que es fácil de obtener y que presenta características sensoriales e higiénicas adecuadas, con un aporte nutricional similar a la materia prima que es el nopal. Cuatro muestras fueron evaluadas, las cuales contenían 500 g nopal por 500 ml de agua. Dos de las muestras con agua purificada y dos con agua mineral. Dos de las muestras se filtraron para eliminar la fibra y a las dos restantes se le dejó la fibra resultante.

La bebida obtenida de nopal fue agradable al consumidor en color, olor, aspecto y sabor. El análisis proximal a los 15, 30 y 45 días de las 4 formulaciones, indican estabilidad de las bebidas. Las formulaciones obtenidas con agua purificada y agua mineral con fibra y filtradas, no difieren significativamente en composición química, ni microbiológicamente hasta por un periodo de 45 días. La bebida con agua mineral filtrada y con fibra, tuvo mejor retención de minerales y proteína, por lo que se disuelve mejor el molido de nopal en agua mineral. La vida de anaquel a temperatura ambiente sería de hasta 45 días.

Otro tipo de productos son los llamados dulces de nopalito, en los que se incluyen los cristalizados o confitados; todos estos productos, con algunas variantes, se obtienen luego de un proceso cuyo ingrediente principal es el azúcar. La diversidad de dulces de nopal es muy grande, así como sus procesos de elaboración. Los principales son: jaleas, gomitas, laminillas y confitados.

Pérez Sierra et al. (2008) desarrollo un dulce a base de nopal. Un dulce de consistencia gomosa y buen aspecto, con color característico de nopal, sin problemas de escurrimiento del mucílago, suave y agradable al paladar. Dicho dulce se realizo con el fin de abrir un área de oportunidad factible tanto económica como tecnológica para el aprovechamiento del nopal.

De igual forma Cavazos-Galán y Puente-Aldo, (2011) elaboraron una golosina de nopal enchilado. Un producto balanceado, con los requerimientos adecuados de

nutrientes y conteniendo la fibra benéfica del nopal con el fin de sustituir golosinas que no aportan nutrientes y contribuyen a elevar la tasa de obesidad. La golosina presenta excelente calidad, con buena consistencia y textura, de un sabor agrídulce y olor agradable, con un gran valor nutrimental. Este es un producto que se puede utilizar como una alternativa de golosina y puede competir con las golosinas existentes en el mercado.

Un producto que tiene mayor importancia cada día es la harina de nopal. La sustitución parcial de harina de trigo por harina de nopal tiene un mayor interés por ser importante fuente de fibra y calcio. La harina de nopal se obtiene por deshidratación y molienda de los cladodios, los que pueden ser de distintas edades.

En el mercado, la oferta de tortillas con una proporción de harina de nopal agregada a la tradicional harina de maíz con la que se elaboran estos productos ha aumentado y es de gran consumo en el país.

La harina de nopal o polvo de nopal tiene aplicación en la industria panificadora en la preparación de galletas, panes, bizcochos, y postres. Su aporte en fibra dietética resulta importante, en virtud que el consumo de fibras de tipo soluble, representa una mejoría significativa de los procesos digestivos (Sáenz, 2006).

Berigüete, et al. (2012), estudiaron la utilización de harina de nopal en sustitución de la harina de trigo a diferentes proporciones en la elaboración de productos de panificación de consumo cotidiano que se comercializan como: empanada, pan, Bizcocho y Galletas.

La combinación de la mezcla de un 20% de harina de nopal con 80% de harina de trigo resultó la más manejable tecnológicamente en la elaboración de los productos de panificación, según los parámetros de manipulación de la masa, fermentación, configuración, horneado, características físicas y visuales de los productos elaborados con las diferentes proporciones de harina de nopal.

En general el valor nutricional mejoró con la mezcla de la harina de nopal con harina de trigo. Este análisis estableció que es factible sustituir un promedio 20 % de harina de nopal en productos de panificación por no haber diferencias significativas en cuanto a los atributos evaluados con y sin nopal. En el análisis químico presentó un incremento nutricional favorable en el contenido de calcio, calorías y grasa.

Los productos de panificación mostraron resultados organolépticos favorables hasta un 20% en la sustitución de harina de trigo por harina de Nopal. En las proporciones subsiguientes, 25% y sobre todo en la de 30%, los productos de panificación presentaron cambios organolépticos notorios como: textura dura, presencia de filamentos, color verdoso y olor a hoja seca.

Actualmente en México, se han incrementado las enfermedades cardiovasculares causadas por una mala nutrición y especialmente por el cambio en hábitos alimentarios. Es importante por esta razón desarrollar productos que tengan un buen sabor, con alto valor nutritivo y bajas en grasas. Las botanas son productos de alto consumo en México, y se ingieren principalmente entre comidas; sin embargo, su limitante es que son ricas en sal y grasa. Con el fin de disminuir este consumo Bautista Justo et al. (2009) desarrollaron 5 fórmulas de botanas “palitos de pan” ricos en fibra y bajos en grasa. El nopal, la cebada y la chía fueron los principales ingredientes como fuente de fibra y otros nutrimentos. Los productos se evaluaron sensorialmente y se analizaron químicamente.

La evaluación sensorial mostró una buena aceptación de los productos desarrollados. El valor nutritivo fue superior que en los informados en las botanas comerciales con un 3.58 al 8.18 % más de proteína. El contenido de grasas fue 7.67 hasta 19.3 % menor que en las comerciales. Con la incorporación del nopal, harina de trigo integral y cebada se lograron concentraciones de fibra dietética total superiores al 10%. Por su alto valor nutricional y funcionalidad de sus ingredientes estas botanas se podrían proponer para su comercialización como golosinas en las cooperativas escolares.

Así mismo Bautista-Justo et al. (2010), utilizaron nopal fresco como fuente de fibra dietética y calcio para producir panqués, los cuales son productos de fácil elaboración y no requieren de largos tiempos de fermentación.

Los resultados de la evaluación sensorial para las variables olor, color, sabor y textura, mostraron altos valores de aceptación. A los panqués con nopal se les formó una corteza ligeramente dura pero crujiente que gustó a los consumidores. Por otro lado, la alta viscosidad de las gomas y mucílagos del nopal le dieron una textura ligeramente gomosa a los panqués, característica que no fue rechazada por los panelistas de la prueba sensorial.

Los resultados del análisis químico de los panqués muestran que el contenido de humedad varió de (35.75 a 42.65) g/100 g. La proteína estuvo entre 7.40 y 10.08, estos valores son superiores a los que se declaran en las etiquetas de cinco panqués comerciales. El contenido de lípidos osciló entre (2.9 y 4.09) g/100 g, fue de 84.51 % a 89.02 % menor al que se puede encontrar en los panqués comerciales. La energía total con valores de (216.02 a 229.93) Kcal resulta inferior a las 457.6 kcal informadas en las etiquetas de productos comerciales. Adicionalmente, el contenido de fibra dietética total fue de (6.18 a 10.43) g/100 g en las fórmulas con nopal y de 3.98 en el testigo (sin nopal), en tanto que los comerciales prácticamente carecen de fibra.

En cuanto al calcio los contenidos entre (0.194 y 0.375) g/100 g cubren entre el (24.25 y 46.87) % de la Ingesta Diaria Recomendada (IDR) que es de 800 mg/día (NOM-051, 1994) para la población mexicana, en tanto que el testigo (sin nopal) sólo aporta el 18 %, el calcio proporcionado por el nopal es muy importante sobre todo para las personas que no ingieren otras fuentes de este mineral.

Por lo que se puede concluir que el nopal fresco resultó ser una excelente fuente de fibra y calcio, sin alterar las propiedades sensoriales y de textura de estos panqués. Finalmente se demostró que no es necesario deshidratar el nopal para agregarlo a este tipo de pan.

El mucílago es una fibra soluble del nopal. Contribuye al buen funcionamiento del intestino. Cumpliendo un papel en la prevención y tratamiento de problemas gastrointestinales, obesidad y diabetes. El mucílago se puede utilizar como aditivo en la industria de alimentos, por su propiedad espesante. Rodríguez González et al. (2010) evaluaron la formulación de una crema comercial de huitlacoche con adición de mucilago. Se hicieron tres formulaciones modificando la cantidad de huitlacoche y mucílago adicionados. Concluyendo que el mucílago de nopal puede ser utilizado en la industria alimenticia como un aditivo, específicamente como agente espesante, ya que éste mejora la textura y consistencia de los alimentos, como en este caso la crema de huitlacoche y no altera las características organolépticas. Además, por su alto contenido de fibra soluble, el mucílago posee propiedades funcionales que pueden generar un bienestar a la salud del público consumidor.

Las alternativas para la industrialización del nopal son muy variadas y abarcan diversos sectores productivos: Industria artesanal; química; alimentaria; farmacológica e industria cosmetológica. A pesar de todas las alternativas, solamente algunos medicamentos y alimentos procesados (salmueras, escabeches, jugos, mermeladas, confitados y productos cortados frescos o mínimamente procesados) han tenido un desarrollo de cierta relevancia en México.

Por lo que es evidente que hace falta desarrollar mayor información para mejorar estos procesos. Uno de los principales retos del procesamiento mínimo de nopales en México es resolver todos los puntos de la cadena productiva que se relacionan con la calidad, inocuidad y vida de anaquel del producto, así como con la higiene de los procesos.

CONCLUSIONES.

El cultivo de nopal en nuestro país tiene un potencial de crecimiento ante las bondades que ofrece el producto, ya que cuenta con una gran cantidad de nutrientes. Pese a esto, el nopal no recibe un manejo adecuado post cosecha lo que disminuye su calidad y su vida comercial.

Los productos procesados son poco consumidos en el mercado nacional, pues en su mayoría el nopal es consumido en fresco. Actualmente, hay una mayor demanda de productos frescos, pre cortados y empacados mínimamente procesados, listos para consumirse, por la comodidad de su manejo, además que el producto manejado de esta forma conserva en mayor medida sus propiedades, las cuales perdería al ser procesado.

Por otro lado, la cantidad de producto industrializado que se exporta es mayor al exportado en fresco. La transformación y manipulación de los vegetales es uno de los sectores más importantes de la Industria Alimentaria. Por lo cual se debe de tener un conocimiento no solo de la materia prima y del producto elaborado, sino también de los procesos empleados y de la influencia de tales procesos en las propiedades y características de los productos finales.

La conservación del producto en buen estado con sus atributos de calidad inalterados durante mayor tiempo posibilitará acceder a mercados distantes, obtener beneficios debido a su mayor potencial de comercialización, ampliación de vida de anaquel y disponibilidad del producto a lo largo de todo el año y de esta forma regular los precios en el mercado.

Si bien los costos de producción, como en muchos otros productos se ha incrementado, existe la factibilidad para lograrlo. Por lo que es necesario impulsar la participación de universidades e instituciones en la investigación que junto con el sector productivo permita el incremento de rendimientos, combate de plagas y enfermedades, disminuyendo la pérdida del nopal.

El potencial del mercado internacional es muy grande y a medida que el consumo de nopal se ha incrementado, ya sea como verdura, suplemento alimenticio o alguna otra de sus aplicaciones integrales, la oferta y demanda se han extendido a otros países como Japón y Estados Unidos.

Existen diversas tecnologías para la conservación, como se estudio anteriormente, sin embargo, es de gran importancia que antes de elegir cualquier metodología se tenga bien definido que tipo de producto y con qué características se desea obtener. Por tal motivo, es difícil afirmar que un método es mejor que los demás, pues todo depende del producto final que se desea.

En general ningún método se usa de forma aislada, la combinación de técnicas producen un efecto sinérgico, produciendo se que modifique en menor grado la calidad sensorial y nutritiva del producto. Aunque existen muchas posibilidades distintas de combinación de métodos, esto también dependerá de las características del producto final.

BIBLIOGRAFÍA.

Aguilera-Barreiro, María de los Angeles; Rivera-Márquez, José Alberto; Trujillo-Arriaga, Héctor Miguel; Tamayo y Orozco, Juan Alfredo; Barreira-Mercado, Eduardo; Rodríguez- García, Mario E. 2012. Intake of dehydrated nopal (*Opuntia ficus indica*) improves bone mineral density and calciuria in adult Mexican women. *Food & Nutrition Research*. N° 57.

Amigo Martín, P. 2005. *Tecnología del frío y frío conservación de alimentos*. 1° edición. Madrid: AMV ediciones.

Aquino González, Laura Victoria; Rodríguez Ramírez, Juan; Méndez Rojas, Ana María y Hernández Arrazola, Susana Edith. 2012. Extracción y caracterización de fibra de nopal (*Opuntia ficus indica*). *Naturaleza y desarrollo*. 10 (1):46-63.

Aquino, Laura V.; Rodríguez, Juan; Méndez Lilia L. y Torres Kenia F. 2009. Inhibición del Oscurecimiento con Mucílago de Nopal (*Opuntia ficus indica*) en el Secado de Plátano Roatán. *Información Tecnológica*. 20(4): 15-20.

Badui Dergal, Salvador. 2006. *Química de los alimentos*. Cuarta edición. Pearson Educación.

Barbosa- Cánovas, G.V; Vega- Mercado, H. 2000. *Deshidratación de alimentos*. Zaragoza: Acribia, S.A.

Bautista-Justo, Mayela; Pineda Torres, Rosa Inés; Camarena-Aguilar, Ernesto; Alanís-Guzmán, Guadalupe; Da Mota, Víctor Manuel y Barboza- Corona José Eleazar. 2010. El Nopal fresco como fuente de fibra y calcio en panqués. *Acta Universitaria: Universidad de Guanajuato*. 2(3): 11- 17.

Bautista Justo, M; Flores Padilla, Ana Lilia; Camarena-Aguilar E.A.; Alanís Guzmán M.G; Barboza Corona J.E. y Da Mota Zanella V.M. 2009. Desarrollo de

Botanas con Características Funcionales Empleando Nopal y Cebada como Fuente de Fibra. Revista de salud Pública y Nutrición. XI Congreso nacional de ciencia y tecnología de alimentos. Edición especial N° 10.

Bello Gutiérrez, José. 2000. *Ciencia bromatológica: principios generales de los alimentos*. Madrid: ediciones Díaz de Santos

Bensadón, Sara; Hervert-Hernández, Deisy; Sáyago-Ayerdi, Sonia; Goñi, Isabel. 2010. By-Products of *Opuntia ficus-indica* as a Source of Antioxidant Dietary Fiber. *Plant Foods for Human Nutrition*. 65:210–216.

Berigüete, Lucía; Merette, Oscar; Gómez, Elisa; Calderón, Carlos. 2012. Harina de Nopal (*Opuntia ficus*) aplicada en la Elaboración de Productos de Panificación. *Innova Biotec*. 1(1): 19-28.

Betancourt-Domínguez, M. A; Hernández- Pérez, T; García-Saucedo, P; Cruz-Hernández, A; Paredes-López, O. 2006. Physico-Chemical Changes In Cladodes (Nopalitos) From Cultivated And Wild Cacti (*Opuntia* spp.). *Plant Foods for Human Nutrition* 61: 115–119.

Cañas Ángel, Zoraida; Restrepo Molina, Diego Alonso; Cortés Rodríguez, Misael. 2011. Productos Vegetales como Fuente de Fibra Dietaria en la Industria de Alimentos. *Rev. Fac. Nal. Agr. Medellín* 64(1): 6023-6035.

Cavazos-Galán, Lidia Guadalupe y Tovar Puente, Aldo. 2011. Una golosina: nopal enchilado. *Revista Salud Pública y Nutrición. Edición Especial No. 5: 281-283*.

Contreras-Padilla, Margarita; Gutiérrez-Cortez, Elsa; Valderrama-Bravo, María del Carmen; Rojas-Molina, Isela; Espinosa-Arbeláez, Diego Germán; Suárez-Vargas, Raúl; Rodríguez-García, Mario Enrique. 2012. Effects of Drying Process on the Physicochemical Properties of Nopal Cladodes at Different Maturity Stages. *Plant Foods for Human Nutrition*. 67:44–49.

Corrales-García, Joel. 2011. Perspectivas agroindustriales de la postcosecha de nopalito y tuna. En IX Symposium-Taller Nacional y II Internacional sobre “Producción y Aprovechamiento del Nopal y Magüey”. 12-13 de Noviembre, 2010. Escobedo, Nuevo León, México. Revista Salud Pública y Nutrición. Edición especial N° 5:1-22.

Durán, G; Margalef, M. I; Condorí, M; Castillo, S. F; Estrada, L. M. 2011. Ensayos de secado de nopalito (*Opuntia ficus indica* L. Millar) en un secador solar pasivo de uso doméstico. Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. Vol. 15.

Efraín Rodríguez, Cesar. 2010. Establecimiento de una plantación de nopal verdura y algunas pruebas de deshidratación de nopalito. Revista Salud Pública y Nutrición. VIII Symposium-Taller Nacional y 1er Internacional “Producción y Aprovechamiento del Nopal” Edición Especial No. 5. pp. 230-242.

Financiera Rural. 2011. Monografía del Nopal y la Tuna.

Fito et al., 2001. Introducción al secado de alimentos por aire caliente. Ed. Univ. Politéc. Valencia, Valencia.

Flores- Alvares, M.C; Vergara- Balderas, F.T.; Guerrero- Beltrán, J.A. 2011. Efecto del tiempo de almacenamiento y tipo de procesamiento en los antioxidantes de nopal. Temas selectos de ingeniería de alimentos. 5(2): 84-96.

Flores-Hernández, Arnoldo; Orona-Castillo, Ignacio; Murillo-Amador, Bernardo; Valdez-Cepeda, Ricardo David; García-Hernández, José Luis. 2004. Producción y calidad de nopalito en la región de la Comarca Lagunera de México y su relación con el precio en el mercado nacional. J. PACD.

Florian C. Stintzing and Reinhold Carle. 2005. Cactus stems (*Opuntia* spp.): A review on their chemistry, technology, and uses. Molecular Nutrition & Food Research. 49: 175 – 194.

Fortiz-Hernández, Judith; Rodríguez-Félix, Armida. 2010. Efecto del envasado en películas plásticas en la calidad de nopal verdura mínimamente procesado. *Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha*. 11(2): 180-190.

García Brejio, F. et al. 2006. Introducción al funcionamiento de las plantas. Valencia: UPV.

Getachew Shumye, Kebede Woldetsadik, Ibrahim Fitiwi. 2014. Effect of Integrated Postharvest Handling Practices on Quality and Shelf Life of Cactus Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.] Fruits. *Journal of Postharvest Technology*. 02 (01): 068-079.

Gil, A. 2010. Tratado de nutrición: composición y calidad nutritiva de los alimentos. 2° edición. Madrid: Panamericana.

Ginestra, Giovanna; Parker, Mary; Bennett, Richard; Robertson, Jim; Mandalari, Giuseppina; Narbad, Arjan; Lo Curto, Rosario; Bisignano, Giuseppe; Faulds, Craig; Waldron, Keith W. 2009. Anatomical, Chemical, and Biochemical Characterization of Cladodes from Prickly Pear [*Opuntia ficus-indica* (L.) Mill.]. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 57 (21): 10323–10330.

Gómez Cruz, M.A; Schwentesius Rideman, R; Covarrubias Gutiérrez, I. 2002. Frutas y hortalizas, estado actual y nuevas alternativas en México. 1° edición. Universidad Autónoma de Chapingo, México.

González-González, Leandro Rodrigo. 2011. Desarrollo y evaluación de una película comestible obtenida del mucílago de nopal (*Opuntia ficus-indica*) utilizada para reducir la tasa de respiración de nopal verdura. *INVESTIGACIÓN UNIVERSITARIA MULTIDISCIPLINARIA*. 10: 131-138.

Guzmán Loayza, Deysi; Chávez, Jorge. 2007. estudio bromatológico del cladodio del nopal (*Opuntia ficus-indica*) para el consumo humano. *Rev Soc Quím Perú*. 73(1): 41-45.

<http://www.chinadrier.es/1-drying-oven-4.html> (Revisado por última vez 29/octubre/2014).

<http://www.dryingmachineschina.es/1-1-hot-air-oven-drying.html> (Revisado por última vez 29/octubre/2014).

<http://www.uneabasto.com/> (Revisado por última vez 17/junio/2014).

Hernández Rodríguez, Jorge y Boyzo Montes de Oca, Alfonso. 2012. Alimentos ricos en proteína: sistema nopal-proceso microbiano. CINVESTAV-IPN. 5(108).

Hernández Rodríguez, M; Sastre Gallego, A. 2000. *Tratado de nutrición*. Madrid: Ediciones Díaz de Santos.

Hernández-Urbiola, Margarita I.; Pérez-Torrero, Esther and Rodríguez-García, Mario E. 2011. Chemical analysis of nutritional content of prickly pads (*Opuntia ficus indica*) at varied ages in an organic harvest. *International Journal of Environmental Research and Public Health*. 8(5):1287-1295.

Herrera, Carlos; Bolaños, Nuria; Lutz, Giselle. 2003. *Química de los alimentos*. Primera edición. Editorial de la universidad de Costa Rica.

INEGI. Características principales del cultivo de nopal en el D.F. caso Milpa Alta. Censo Agropecuario 2007.

Lazcano Hernández M.; Jaramillo Alvarado M.G; Navarro Cruz A.R; Gonzales Salome F. 2010. Elaboración de bebida refrescante para diabéticos. XII CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. Universidad de Guanajuato.

López Camelo, A.F. 2003. Manual para la preparación y venta de frutas y hortalizas. Boletín de servicios agrícolas de la FAO, 151. Roma.

Martínez Soto, Gerardo; Flores Ortega, Adrián; Mercado Flores, Juan; López Orozco, Melva. 2010. Características de secado de nopal (*Opuntia ficus-indica*) por lecho fluidizado. *Acta Universitaria: Universidad de Guanajuato*. 20(3): 70- 76.

Meade-Almazán, Nancy Patricia y Tovar Puente, Aldo. 2011. Barra energética de nopal y cereales. *Revista de salud Pública y Nutrición*. Edición especial N° 5. pp. 279-280.

Meraz-Maldonado, Nora; Valle-Guadarrama, Salvador; Hernández-Morales, Javier; Anaya-Rosales, Socorro; Rodríguez-Maciel, Concepción and Leyva-Ruelas, Gabriel. 2012. Quality of three sizes of prickly pear cactus stems (*Opuntia ficus indica* L. 'ATLIXCO'). *African Journal of Agricultural Research*. 7(32): 4512-4520.

Nazareno, Mónica Azucena; Padrón Pereira, Carlos Alberto. 2011. Nuevas tecnologías desarrolladas para el aprovechamiento de las cactáceas en la elaboración de alimentos. *Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos*. 2 (1): 202-238.

NMX-FF-068-1988. PRODUCTOS ALIMENTICIOS HORTALIZA FRESCA. NOPAL VERDURA CON ESPINAS. (*OPUNTIA SPP*) ESPECIFICACIONES. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-FF-068-1988.PDF>. [Última Consulta: 30- noviembre- 2013].

NMX-F-451-1983. ALIMENTOS PARA HUMANOS. NOPALES ENVASADOS. Disponible en: <http://www.colpos.mx/bancodenormas/nmexicanas/NMX-F-451-1983.PDF>. [Última Consulta: 30- noviembre- 2013].

Osorio-Córdoba, J; Pelayo-Zaldívar, C.; Verde-Calvo, J.R.; Ponce-Valadez, M.; Díaz de León-Sánchez, F.; Bosquez-Molina, E. y Rodríguez-Huezo, Ma. E. 2011. Conservación de nopal verdura „Milpa Alta“ (*Opuntia ficus indica* Mill.) desespinado en envases con atmósfera modificada. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 10(1):93-104.

Osorio-Córdoba, Juliana; Pelayo-Zaldívar, Clara; Bosques-Molina, Elsa; Verde-Calvo, José Ramón. 2011. Volátiles de nopal verdura conservado en atmósferas modificadas. Universidad Autónoma Metropolitana. pp. 69- 79.

Padrón Pereira, Carlos Alberto. 2012. Innovaciones en el agordesarrollo de las cactáceas. Revista Venezolana de Ciencia y Tecnología de Alimentos. 3 (1): 038-079.

Patel, Seema. 2014. Opuntia cladodes (nopal): Emerging functional food and dietary supplement. Mediterranean Journal of Nutrition and Metabolism 7: 11–19.

Pérez-Gago, María B.; Del Río, M. A.; Rojas-Argudo, C. 2008. Recubrimientos comestibles en frutas y hortalizas. Horticultura: Revista de industria, distribución y socio economía hortícola: frutas, hortalizas, flores, plantas, árboles ornamentales y viveros. N° 207: 54-57.

Pérez Sierra, Judith; Hernández Cruz, Félix; Gámez Escobedo, Martha Julia; Abundis Solís, Julio César; Ortiz Meza, Ángel Janitzio; Gaytán Benítez, Aarón Felipe y Tovar Puente, Aldo. 2008. Elaboración de gomita: dulce de nopal. Revista Salud Pública Y Nutrición. Edición especial N° 14.

Quevedo-Preciado, Karla L.; Villegas-Ochoa, Mónica A.; González-Ríos, Humberto y Rodríguez-Félix, Armida. 2005. Calidad de nopal verdura mínimamente procesado. Efecto de temperatura e inhibidores del oscurecimiento. Rev. Fitotec. Mex. Vol. 28 (3): 261 – 270.

Quintero, Juan Pablo; Falguera, Víctor. 2011. Películas y recubrimientos comestibles: importancia y tendencias recientes en la cadena hortofrutícola. Revista Tumbaga. 1(5).

Ramírez Navas, Juan Sebastián. 2006. Liofilización de alimentos. Revista de revisiones de la ciencia, tecnología e ingeniería de los alimentos. 6(2): 1-17.

Ramírez Pérez, José Carmen; Sosa López, Rogelio; Santos Aduna, Belem. 2012. Plan rector del sistema producto nopal y tuna del estado de Michoacán. SAGARPA/ Comité estatal del sistema producto nopal y tuna del estado de Michoacán, A. C.

Ramírez-Tobías, Hugo M.; Reyes-Agüero, Juan A.; Pinos-Rodríguez; Juan M. y Aguirre-Rivera; Juan R. 2007. Efecto de la especie y madurez sobre el contenido de nutrientes de cladodios de nopal. *Agrociencia* 41 (6): 619-626.

Ramos-García, Margarita; Bautista-Baños, Silvia; Barrera-Necha, Laura. 2010. Compuestos antimicrobianos adicionado en recubrimientos comestibles para uso en productos hortofrutícolas. *Revista Mexicana de Fitopatología*. 28(1): 44-57.

Ribeiro, Erika Maria de Oliveira; da Silva, Nicácio Henrique; de Lima-Filho; José Luiz; de Brito, Júlio Zoe and da Silva, Maria da Paz Carvalho. 2010. Study of carbohydrates present in the cladodes of *Opuntia ficus-indica* (fodder palm), according to age and season. *Ciência e Tecnologia de Alimentos (Brazil)*. 30(4): 933-939.

Robles-Ozuna, L. E.; Goycoolea, F. M.; Silveira, M. I.; Montoya, L.C. 2007. Uso del quitosano durante el escalado del nopal (*Opuntia ficus indica*) y efecto sobre su calidad. *Revista Mexicana de Ingeniería Química*. 6 (2):193-201.

Rodríguez-Félix, Armida; Villegas-Ochoa, Mónica A. y Fortiz-Hernández, Judith. 2007. Efecto de cubiertas comestibles en la calidad de nopal verdura (*Opuntia* sp.) durante el almacenamiento refrigerado. *Journal of the Professional Association for Cactus Development*. 9:22-42.

Rodríguez-García, M. E.; de Lira, C.; Hernández-Becerra, E; Cornejo-Villegas, M.A; Palacios-Fonseca, A.J; Rojas-Molina, I; Reynoso, R.; Quintero, L.C.; Del-Real, A.; Zepeda, T.A.; Muñoz-Torres, C. 2007. Physicochemical Characterization of Nopal Pads (*Opuntia ficus indica*) and Dry Vacuum Nopal Powders as a Function of the Maturation. *Plant Foods for Human Nutrition* 62:107–112.

Rodríguez González, Sarahi; Martínez Flores, Héctor Eduardo; Loaiza Anaya, Samantha Grisel; Ornelas Nuñez, Jorge Luis. 2010. Aplicación del mucilago de nopal (*Opuntia ficus indica*) como espesante en una crema de huitlacoche (*Ustilago maydis*) en la producción de un alimento funcional, y su evaluación sensorial. XII CONGRESO NACIONAL DE CIENCIA Y TECNOLOGIA DE ALIMENTOS. Universidad de Guanajuato.

Sáenz, Carmen; Berger, Horst; Corrales-García, Joel; Galletti, Ljubica; García de Cortázar, Víctor; Higuera, Inocencio; Mondragón, Candelario; Rodríguez-Félix, Armida; Sepúlveda, Elena y Varnero, María Teresa. 2006. Utilización agroindustrial del nopal. Boletín de Servicios Agrícolas de la FAO. N° 162.

Secretaría de economía: SNIIM Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados. Disponible en <http://www.economia-sniim.gob.mx/>. [Última Consulta: 28- febrero- 2014].

Touil, Amira; Chemkhi, Saber; Zagrouba, Fethi. 2010. Modelling of the Drying Kinetics of *Opuntia Ficus Indica* Fruits and Cladodes. International Journal of Food Engineering. Vol. 6. Art. 11.

Valdez Cepeda, Ricardo David; Blanco Macías, Fidel; Vázquez Alvarado, Rigoberto E; Magallanes Quintanar, Rafael. 2008. Producción y usos del nopal para verdura. Revista Salud Pública Y Nutrición. Edición especial N° 14.