



UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO

FACULTAD DE QUÍMICO FARMACOBIOLOGÍA

DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA A BASE DE SACAROSA SEGUIDA DE UNA
DESHIDRATACIÓN SOLAR EN LA FRUTA CARAMBOLA (*Averrhoa carambola L*)

TESIS

PARA OBTENER EL GRADO DE:

QUÍMICA FARMACOBIOLOGÍA

PRESENTA:

p.Q.F.B. CLEOTILDE SOTOMAYOR ARROYO

DIRECTORES DE TESIS:

ASESOR: Maestra en Ciencias Metalúrgicas. ROSA MARÍA GARCÍA MARTÍNEZ

CO-ASESOR: Doctor en Ciencias Biológicas. JOSÉ OCTAVIO RODILES
LÓPEZ

Noviembre 2013 Morelia Mich.



Este trabajo se realizó en el Laboratorio de Análisis de Alimentos de la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo (UMSNH), bajo la dirección de la M.C. Rosa María García Martínez y del D.C. José Octavio Rodiles López. Con el apoyo de la Coordinación de investigación científica de la UMSNH, por el proyecto de investigación científica 26.13.



“Tesis apoyada por el Consejo Estatal de Ciencia, Tecnología e Innovación del Estado de Michoacán”

Agradecimientos

A Dios por la vida que me dio.

A mis padres **Gloria** y **Macario** por el apoyo y sacrificios que han realizado en todo momento, por los valores que me han inculcado, y por haberme dado la oportunidad de tener el mayor de los regalos que es la educación en el transcurso de mi vida. Sobre todo por ser un excelente ejemplo de vida a seguir.

A mis asesores de tesis.

A la Maestra **Rosi García** por el apoyo que me brido durante este periodo en el cual agradezco las enseñanzas y que me haya confiado en mí y en mis capacidades, por ser parte importante de mi formación académica.

A D.C. **Octavio Rodiles** le agradezco la confianza, apoyo y dedicación de su tiempo. Por creer en mí, por su paciencia y comprensión, por ser parte importante en mi formación académica.

A mis hermanas por ser parte importante de mi vida.

A **Lupita** por ser un ejemplo de desarrollo profesional a seguir.

A **Jimena** por enseñarme a que a pesar de las dificultades siempre se pueden vencer y salir adelante.

A **Rosi** por llenar mi vida de alegrías y paciencia.

Les agradezco a mis hermanas por el apoyo siempre brindado y por la paciencia, por brindarme felicidad y amor cuando más lo he necesitado.

A **José Sesmas** por su apoyo brindado

A **Jessi** por su apoyo y comprensión durante todos estos años

A mis amigos **Cecy, Erika, Ivonne** y **Juan Carlos** por confiar y creer en mí y por haber hecho esta etapa un trayecto de vivencias que nunca olvidaré.

Agradecimientos

A **Gloria** por su ayuda y apoyo durante este proyecto

A la M.C. **Diana Maya** por su apoyo, ayuda, por ser parte importante en mi formación académica.

A D.C. Hector Eduardo Martínez Flores por las facilidades que se me proporcionó en el desarrollo del proyecto al prestarnos el Deshidratador solar

ÍNDICE

RESUMEN	1
1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS.....	3
1.1. CARAMBOLA.....	3
1.2. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS.....	12
1.3. DESHIDRATACIÓN	22
2. JUSTIFICACIÓN.....	32
3. HIPÓTESIS	32
4. OBJETIVOS.....	33
4.1. OBJETIVO GENERAL.....	33
4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	33
5. MATERIALES Y MÉTODOS	34
5.1. MATERIALES	34
5.2. MÉTODOS	35
6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	41
6.1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA CARAMBOLA.....	41
6.2. TRATAMIENTO BOX-BEHNKEN.....	41
6.3. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD	42
6.4. ANÁLISIS SENSORIAL	43
6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO BOX-BEHNKEN	47
6.6. CONDICIONES ÓPTIMAS DE PROCESO	50
6.7. DESHIDRATACIÓN SOLAR.....	51
6.8. ANÁLISIS SENSORIAL EN LA DESHIDRATACIÓN SOLAR	52
6.9. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE DO Y DS	53
7. CONCLUSIONES	54
8. BIBLIOGRAFÍA.....	55

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Árbol de <i>Averrhoa carambola</i> L. con su flores y fruto.....	5
Figura 2. Fruta <i>Averrhoa carambola</i> L.....	5
Figura 4. Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de a_w . (Andrés Grau <i>et al.</i> , 2001)	23
Figura 5. Representación a nivel molecular, se muestra la diferencia en la concentración del soluto. (Cambell <i>et al.</i> , 2007)	24
Figura 6. Proceso de deshidratación osmótica en la fruta carambola	39
Figura 7. Proceso de deshidratación solar en la muestras de carambola	39
Figura 8. Muestras del análisis sensorial del diseño experimental Box- Behnken.....	40
Figura 9. Diseño Box- Behnken. Variable Color.....	44
Figura 10. Diseño Box- Behnken. Variable Olor.	45
Figura 11. Diseño Box- Behnken. Variable Textura.	45
Figura 12. Diseño Box-Behnken. Variable Sabor.	46
Figura 13. Diseño Box-Behnken. Flavor.	47
Figura 14. Análisis Estadístico. Flavor. °Brix y Temperatura.....	49
Figura 15. % de Humedad. °Brix y Temperatura.	50
Figura 16. % Pérdida Humedad Experimental. Condiciones Óptimas. 53° C, 50°Brix, 4h.....	51
Figura 17. % Pérdida de Humedad. Deshidratación Solar Pre-tratada Osmóticamente.....	52
Figura 18. Flavor en Carambola Deshidratación Osmótica más Deshidratación Solar.....	53

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Composición de la carambola en base a 100 g de la parte comestible	6
Tabla 2. Diseño Experimental Box-Behnken	36
Tabla 3. Análisis Químico Proximal de la fruta carambola	41
Tabla 4. Modelo experimental Box-Behnken	41
Tabla 5. Resultados de Humedad. Diseño Box-Behnken	42
Tabla 6. Análisis Sensorial. Diseño Box-Behnken	47
Tabla 7. Humedad Final. Deshidratación Solar.....	51
Tabla 8. Análisis Proximal Carambola. Tratamiento Osmótico y Solar	53

RESUMEN

La carambola (*Averrhoa carambola* L) es un fruto tropical exótico, perteneciente a la familia de las oxalidáceas, muy cotizada en el mercado internacional, y conocida como carambola, carambolo, fruta estrella o starfruit. La carambola se ha encontrado en forma silvestre desde tiempos remotos en el sudeste de Asia; y el cultivo de la misma se ha introducido en regiones tropicales. De su lugar de origen la isla de Java en Indochina fue llevada a diferentes lugares de Asia y de ahí fue introducida a Florida (EUA), y posteriormente se dispersó a otros lugares del mundo, entre ellos México. La conservación de los alimentos ha sido una actividad importante para la humanidad, y que civilizaciones antiguas llevaban a cabo con métodos basados en el calentamiento, el salado, la fermentación, el secado, entre otros. Los procesos de conservación de alimentos, aplicados hoy día en el ámbito de la industria alimentaria, tienen como objetivo evitar el deterioro de la calidad de los alimentos elaborados durante los períodos de almacenamiento necesarios. Uno de los métodos más antiguos de secado es el uso de la energía solar, y todavía se sigue utilizando este aprovechamiento de calor para secado de los alimentos. El secado al sol de frutos, granos, vegetales, carnes y pescado ha sido ampliamente utilizado; hoy en día la industria de los alimentos deshidratados constituye un sector importante dentro de la industria alimentaria extendido por todo el mundo. La deshidratación osmótica es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar desfavorablemente su calidad. La pérdida de agua puede ser aproximadamente del 50-60% de su contenido inicial, existiendo entonces la posibilidad de producir significativas modificaciones en el volumen, forma y estructura del alimento. El objetivo del presente estudio fue evaluar la influencia de la deshidratación osmótica utilizando sacarosa como agente osmótico a diferentes tiempos, temperaturas y concentraciones para la fruta carambola basada en un diseño experimental Box-Behnken. Estandarizar las condiciones de procesos óptimas mediante modelos matemáticos para la deshidratación osmótica. Realizar un proceso de deshidratación solar a diferentes horas como complemento a la deshidratación osmótica. Análisis bromatológicos de la carambola en estado natural, deshidratada osmóticamente y por deshidratación solar. El producto terminado fue sometido a una deshidratación solar para disminuir la humedad y actividad de agua como proceso complementario a la deshidratación osmótica.

PALABRAS CLAVES: Deshidratación osmótica, deshidratación solar, fruto, carambola, agente osmótico, sacarosa.

ABSTRACT

Starfruit (carambola L) is a highly valued on the international market exotic tropical fruit , belonging to the family of oxalidáceas , and known as carambola, carambolo , star fruit or starfruit . The carambola is found wild from remote in Southeast Asia times, and the cultivation of it has been introduced into tropical regions. From their home island of Java in Indochina was taken to different parts of Asia and then was introduced to Florida (USA), and subsequently dispersed to other parts of the world, including Mexico. The preservation of food has been an important activity for mankind, and that ancient civilizations carried out based heating, salting, fermentation, drying, and other methods. Conservation processes foods, applied today in the field of food industry, aim to prevent deterioration of the quality of foods during storage periods necessary . One of the oldest methods of drying is the use of solar energy, and this is still used for drying heat utilization of food. Sun drying of fruits, grains, vegetables, meat and fish has been widely used and is today the dehydrated food industry is an important sector in the food industry spread throughout the world. Osmotic dehydration is a technique to partially remove water from the tissue of food by immersion in a hypertonic solution, without damaging the food and adversely affect its quality. Water loss can be approximately 50-60% of their initial content, and the possibility exists of producing significant changes in the volume, shape and structure of the food. The aim of the present study was to evaluate the influence of osmotic dehydration using sucrose as an osmotic agent at different times, temperatures and concentrations for the carambola fruit based on a Box-Behnken experimental design . Standardize the optimal process conditions using more mathematical models for osmotic dehydration. Perform a process of dehydration sun at different times to supplement the osmotic dehydration. Analysis bromatológicos carambola natural surroundings, osmotically dehydrated dehydration and sun. The finished product was subjected to solar drying to reduce the moisture and water activity as complementary to the osmotic dehydration process .

KEYWORDS: Osmotic dehydration, solar dehydration, fruit, carambola, osmotic agent, sucrose.

1. ANTECEDENTES BIBLIOGRÁFICOS

Los frutos tropicales, también llamados *exóticos*, han comenzado recientemente a presentarse con mayor diversidad en los mercados occidentales, siendo muchos de ellos hasta ahora desconocidos para gran parte de la población. Aún existe desconocimiento en cuanto a la manera de consumir estos frutos lo cual puede llevar a su rechazo (Martínez, 2011).

Las ventajas de estas frutas son los mayores rendimientos por hectárea que las tradicionales, al producirse bajo técnicas orgánicas y naturales, guardan un equilibrio de conservación ambiental que propicia nuevas prácticas agronómicas y comerciales para el productor. Ello les da un valor agregado ideal para dirigirlos a mercados con alto poder adquisitivo, lo que reporta mejores ingresos (Martínez, 2011).

1.1. CARAMBOLA

La carambola, *Averrhoa carambola* L., es un fruto exótico considerado así por su distintiva forma de estrella en la sección transversal, su particular sabor y color. Estas características le han proporcionado un mercado potencial considerable para combinarse en ensaladas y bebidas, además de su consumo en fresco y procesado.

La ubicación geográfica y la diversidad de climas con los que cuenta México le permite ser el país con mayor variedad de productos frescos y en el cual va inmerso el cultivo de frutales. La producción de nuevos cultivos llamados no tradicionales como el de carambola, es alternativo, adaptado a las condiciones de clima y suelo de la región y con buenas perspectivas de comercialización, producción, y rentabilidad; con el objetivo de diversificar la producción, ya que la rentabilidad que se tiene a los cultivos tradicionales de mayor importancia: cítricos y café ha disminuido, debido entre otros factores, a los bajos precios de comercialización (Cruz *et al.*, 2006).

ORIGEN Y DISTRIBUCIÓN

La carambola se ha encontrado en forma silvestre desde tiempos remotos en el sudeste de Asia. Se cree que el sitio de origen es la isla de Java en Indochina, siendo popular en este lugar desde el siglo XVII (SAGARPA, 1997). En América fue introducido a fines del siglo XVIII (Ordúz *et al.*, 2002).

El cultivo de carambola se ha distribuido desde su lugar de origen a diferentes lugares de Asia y de ahí fue introducido a Florida (EUA), y posteriormente se dispersó a otros lugares del mundo, entre ellos México (SAGARPA, 1997).

En México se tiene registrados a los estados de Morelos, Michoacán, Jalisco, Nayarit, Veracruz, Tabasco, Yucatán como productores de carambola. En el estado de Michoacán los municipios de mayor producción son Apatzingán, Parácuaro, Nuevo Urecho, con una producción total

en el 2011 de 134.45 toneladas (SIAP, 2011). En el estado de Morelos se cultiva el carambolo ‘Maha’ y ‘FwangTung’. En Michoacán (Apatzingán y Parícut) se tienen cultivadas, 7 ha de carambolo con el cultivar Thompson (cuatro en producción y dos en desarrollo) (Chávez, 2001).

CLASIFICACIÓN TAXONÓMICA

El carambolo pertenece al reino vegetal, ubicado en la clase de la dicotiledóneas, orden de las geraniales, y dentro de la familia botánica de las Oxalidaceae, perteneciendo al género *Averrhoa*, ubicándose en la familia *carambola* L, y adquiriendo el nombre científico de *Averrhoa carambola* L (Martínez, 2011).

Nombres comunes: Tiriguro (Costa Rica); árbol de pepino, carambolera, carambolo, carambola (México); cornichón (Antillas); limas de cayena (Brasil y Portugal); cornichon (Francia); starfruit, karambola, bilimbí (E.U.A) (Ordúz *et al.*, 2002).

CARACTERÍSTICAS BOTÁNICAS

El carambolo es un árbol de 5 a 10 metros de altura, cuyas ramificaciones empiezan cerca del suelo y tiene una corona irregular. Sus hojas son alternadas y compuestas, imparipinnadas con folíolos ovalados o ligeramente elipsoides de 2 a 9 cm de largo, de 1 a 5 cm de ancho y de un color verde claro. Las hojas son sensibles a la luz y se pliegan por la noche o cuando el árbol se agita. Sus flores son pequeñas con pedúnculos cortos, hermafroditas, de color rosado oscuro hasta el rojo y se agrupan en inflorescencias racimosas. Las flores son auto-incompatibles, y no se polinizan con el viento, cómo se puede observar en la figura 1. Los insectos son necesarios en la producción de fruto y son agentes polinizadores dado que el carambolo es una especie de polinización cruzada (SAGARPA, 1997). La producción de los árboles es variable dependiendo de la edad, cultivar y ambiente (Cruz *et al.*, 2006).



Figura 1. Árbol de *Averrhoa carambola* L. con su flores y fruto.

Cuando se cortan transversalmente los frutos tienen forma de estrella cuando se corta transversalmente con cinco vértices, alargados o elipsoides, que cuando están inmaduros son verdes y en su madurez amarillos (Ordúz *et al.*, 2002). Los frutos son de piel cerosa, suave y de color amarillo con un mesocarpio frágil y jugoso, maduran a los cuatro o cinco meses después de la floración. Normalmente los frutos poseen entre 4 y 5 semillas como los que se muestran en la figura 2 (Bernal *et al.*, 2001).



Figura 2. Fruta *Averrhoa carambola* L.

VARIEDADES

Para que una variedad sea comercialmente rentable debe ser de color amarillo característico, acidez baja, tamaño y forma uniforme, pero de gran tamaño, resistencia al manejo poscosecha y adaptabilidad a las condiciones locales donde se produce. Mundialmente existen diferentes variedades: Arkin, Fwang, Tung estrella dorada, Hoku, kaian, Maha, Kembanqan, Thaye y Newcom-

be. Las principales variedades cultivadas en México son: *Arkin*, *FwangTung*, *Maha* y tipo *Malasya* (SAGARPA, 1997).

REQUERIMIENTOS AGROCLIMÁTICOS

Clima

El cultivo de carambola puede prosperar en diferentes localidades y climas diversos como templados, subtropicales y tropicales; los semicálidos son los más adecuados para obtener un desarrollo vegetativo y productivo excelente (SAGARPA, 1997).

La carambola se adapta a temperaturas que van desde 10 °C hasta 34 °C, y con una media anual de 20°C. A temperaturas menores de 8°C las plantas se ven afectadas en su desarrollo (SAGARPA, 1997); temperaturas bajas de -2.8 a -1.7 °C pueden ocasionar la muerte de árboles jóvenes, y dañar hojas y ramas en árboles adultos. Los árboles adultos pueden ser severamente dañados a temperaturas de -4.4 a -6.7 °C; y en ocasiones puede llegar a causarles la muerte si el período es prolongado (Pérez, 2004); con una precipitación pluvial de 2,500 mm y una humedad relativa de 70 a 90% (SAGARPA, 1997).

Los vientos fuertes y constantes a principio y mediados de primavera pueden ocasionar defoliación, muerte regresiva de ramas y tallo y cicatrices en los frutos. En áreas donde se tiene la presencia de estos vientos, las plantaciones deben ser establecidas cerca de cortinas rompe vientos naturales o intercalar con otros cultivos como papaya o aguacate (Pérez *et al.*, 2004).

Suelo La carambola se desarrolla en una amplia gama de suelos, los idóneos son los profundos, permeables y con buen drenaje, y con textura mediana y un pH de 5.5 a 7.0 (Orduz *et al.*, 2002).

VALOR NUTRICIONAL

A continuación se presenta la composición nutrimental.

Tabla 1. Composición de la carambola en base a 100 g de la parte comestible

Componentes mayores(g)		Minerales (mg)		Vitaminas (mg)	
Agua	90.0	Calcio	5.0	Caroteno (A)	90.00
Proteínas	0.28	Fósforo	18.0	Tiamina (B1)	0.04

Grasas	0.08	Hierro	0.4	Rivoflavina (B2)	0.02
Carbohidratos	0.80			Niacina (B5)	0.30
Fibra	8.64			Ac.ascórbico (C)	35.00
Ceniza	0.20				

Fuente: Tello *et al.*, 2002.

MANEJO DEL CULTIVO

Propagación

La propagación de carambola se efectúa por dos métodos que son sexuales y asexuales.

La propagación sexual se efectúa principalmente para la obtención de porta-injertos adaptados a las localidades tanto en climas como suelos. En cuanto a la obtención de plantas productivas y superiores se requiere efectuar la propagación asexual mediante injertos, ya sea de yema o varetas. La elección del tipo de injerto depende de la disponibilidad de material vegetativo, edad del porta-injerto y preferencia o estilo del propagador (SAGARPA, 1997).

La propagación por semilla es fácil y tradicionalmente los árboles existentes son obtenidos en esta forma. Cultivos comerciales deben establecerse a través de propagación vegetativa por injerto, los cuales se debe relizar sobre patrones procedentes de semillas de árboles rústicos y vigorosos, y bien daptados a la zona de cultivo (Bernal *et al.*, 2001).

Para la propagación por semillas, estas deben ser seleccionadas de árboles de buena apariencia y con producción conocida, asegurando que estas logren un desarrollo completo. Las semillas pueden sembrarse en turba húmeda, germinan entre los 8 y 18 días de sembradas dependiendo de la humedad (verano-invierno) (Ordúz *et al.*, 2002).

Establecimiento de la plantación

Se debe hacer un estudio detallado del lugar para el establecimiento de plantas de carambola, ya que un error provocaría graves problemas y pérdidas económicas al productor, para asegurar huertos productivos y rentables los factores principales son:

- Socioeconómicos: mercado, proyecciones de demanda futuro, facilidades de transporte y disponibilidad de mano de obra.
- Ecológicos: ubicación geográfica, climáticos y edáficos.
- Técnicos: elección del sitio de plantación, elección del porta-injerto y variedad, sistema de plantación, trazos de canales de riego y plantación (SAGARPA, 1997).

Después de considerar estos factores y elegido el sitio adecuado se procede a la preparación del terreno con todo lo que esto comprende, desde la limpia hasta el trazo de plantación, después se hace el acepado y siembra de la plantación de los árboles de carambola (SAGARPA, 1997).

Para la plantación de carambolo se prefieren terrenos planos o ligeramente inclinados, donde se hace el trazado a una distancia entre plantas de 8 x 8 metros (Ordúz *et al.*, 2002).

Fertilización

La fertilización es de suma importancia para la obtención de altos rendimientos y fruta de excelente calidad. La carambola debe tener de 4 a 6 aplicaciones al suelo y de 8 a 10 fertilizaciones foliares (SAGARPA, 1997). Se recomienda aplicar abonos orgánicos en corona en terrenos plano, y en media luna para terrenos ondulados, y aumentando la dosis con la edad del árbol. Los árboles jóvenes deben recibir aplicaciones ligeramente de fertilizantes de 60 a 90 días durante la fase de vivero. Después se fertiliza una o dos veces por año. Se puede aplicar dos libras por año de fertilizante que contenga de 6-8% de nitrógeno, de 2-4% de ácido fosfórico disponible, de 6-8% de potasio y 3-4% de magnesio (Ordúz *et al.*, 2002). En árboles adultos se sugiere aplicar 900 g/año por cada 2.5 cm de diámetro del tronco usando la siguiente fórmula 6-4-6-3 de N, P, K, Mg (Pérez *et al.*, 2004).

Riego

El cultivo de la carambola es muy exigente de agua, por lo que para tener una plantación comercial se necesita un sistema de riego establecido para dotar de agua durante todo el año. Se sugiere efectuar los riegos cada 10-16 días entre uno y otro. Cabe hacer mención de que aun en temporal, “verano”, se debe regar para mantener la plantación productiva (SAGARPA, 1997); en los meses secos del año se dan riegos cada 15 días; los árboles son muy sensibles a la falta de agua, por lo que si el riego se retrasa más de 15 días el follaje de los árboles se torna amarillento y marchito llegando a ocasionar defoliaciones y caída de flores y frutos (Pérez *et al.*, 2004).

Poda

El objetivo de la poda en la carambola consiste en tener plantas que den el máximo beneficio productivo, así como subsanar daños causados por vientos, plagas y enfermedades; por lo que con la poda regulariza la producción, se obtienen frutos de mejor calidad, árboles resistentes y se reduce el costo de producción; ya que con esta actividad se ayuda a ser más eficaz y mejora la económica final. En este cultivo deben efectuarse diversos tipos de poda como son: plantación, formación, fructificación, saneamiento y rejuvenecimiento (SAGARPA, 1997). La poda anual a una altura de 3.7 a 4.3 puede ser factible y puede producir rendimientos aceptables (Ordúz *et al.*, 2002).

Control de maleza

El control de las malezas es necesario en el cultivo, ya que las hierbas compiten con el frutal en la absorción de nutrientes y agua, además de que son nichos de plagas y enfermedades. Dicho control debe ser sistemático y en forma controlada para mantener un equilibrio biológico de insectos y patógenos. Cabe señalar que al existir una cubierta pequeña de hierba nos ayuda a mantener una mejora en la estructura de la capa superficial del suelo, aumenta el contenido de materia orgánica, se facilita la infiltración del agua, así como la circulación por el huerto, especialmente cuando está húmedo (SAGARPA, 1997).

PLAGAS Y ENFERMEDADES

La carambola tiene problemas con la mosca de la fruta *Anastrepha* y con algunos insectos y plagas que se asocian a este cultivo (Ordúz *et al.*, 2002).

Las plagas que atacan a la carambola son:

- Moscas de la fruta, *Anastrepha obliqua*, y que es el principal insecto que causa daños a la fruta, afectando la calidad y por ende a la comercialización. El combate es eficiente cuando uno aplica lo establecido en la NOM-EM-023 FITO 1995 (Norma Oficial Mexicana que se refiere a la Campaña Nacional contra la Mosca de la fruta).
- Gorgojo del fruto, *Carpophylus sp*, que penetra en el fruto afectándolo también en su calidad.
- Araña roja (*Tetranychus sp*) y Pulgón (*Aphis sp*); y que son combatidos con predadores importados de Holanda.
- Mancha de las hojas (*Cercospora averyana*), las cuales provocan defoliación.
- Antracnosis (*Colletotrichum gloeosporioides*), hongo que ataca frutos provocando pudriciones blandas.
- Pudrición de raíz (*Pythium splendens*), se manifiesta por la pérdida de vigor del árbol, caída de hojas y muerte de ramas así como de raíces (SAGARPA, 1997).

COSECHA Y EMPAQUE

La recolección es una labor delicada, se deben extremar los cuidados en la cosecha a efecto de no dañar el fruto. La Carambola es un fruto no climatérico, en el que, el contenido de azúcar no cambia tras la cosecha; en consecuencia, si se corta antes de su madurez, no se tendrá una coloración y contenido de azúcar adecuados; ambos atributos, importantes para su comercialización y degustación (Cruz *et al.*, 2006).

Las características más importantes que debe tener un cultivar de carambola comercial son: alta producción, calidad comestible, tamaño mediano del fruto, color amarillo brillante, resistencia a los daños por manejo y habilidad para mantener buena calidad durante el almacenamiento y mercadeo. (Pérez *et al.*, 2004).

Los frutos de carambola se cosechan a mano, son colocados en cajas o canastas y se llevan a la empacadora para su clasificación, empaque y almacenamiento. Se recomienda preenfriar el fruto para alargar su vida de anaquel (SAGARPA, 1997). En el empaque, los frutos se seleccionan basándose en el tamaño (medio, grande y extra grande) y se colocan en cajas en cantidades de 20, 25 ó 30 frutos. Las cajas son de cartón macizo y se rellenan en la base y superficie con hule espuma; las cajas tienen celdas individuales en donde cada fruto es colocado hacia arriba, siendo envuelto en papel fino decorado e impregnado con cera para evitar la deshidratación (Pérez *et al.*, 2004).

El almacenamiento debe ser en cuartos fríos, donde los frutos pueden almacenarse de 30 a 44 días a una temperatura de 5°C y de 85–95 % de humedad relativa. Los frutos pueden ser transferidos a temperatura ambiente (23°C) sin sufrir daños por frío (Pérez *et al.*, 2004).

A. MERCADO

Mercado Nacional. El mercado nacional de carambola es restringido, la demanda se encuentra satisfecha con pocos volúmenes de producto, lo que implica una limitante para incrementar su volumen y expandir los mercados.

B. EXPERIENCIAS EN LA COMERCIALIZACIÓN INTERNACIONAL

Potencial para la Exportación. La carambola es un fruto que está empezando a abrirse mercado en países industrializados, pero todavía es poco conocida por el público, razón por la cual la demanda no es grande. En estos países las minorías de origen asiático son las que más demandan este fruto. Sin embargo, poco a poco se van ampliando los mercados de exportación. En los meses de junio a diciembre, cuando madura la carambola en Malasia, o México, los países ricos del norte están saturados de fruto convencional (manzana, pera, ciruelas), por lo que no adquieren frutos exóticos; por lo que un periodo atractivo para la adquisición y consumo de este tipo de frutos es de marzo a mayo, sin embargo es el periodo en que la carambola escasea en los mercados.

Para poder exportar el fruto debe ser inspeccionada por personal autorizado de la SAGARPA y si cumple con la normatividad en materia de control de mosca de la fruta se extiende el “Certificado Fitosanitario Internacional”, el cual permitirá al embarque, y pasar la aduana en el país de destino.

De acuerdo a la experiencia que se tiene en comercialización internacional, los mercados potenciales presentan las siguientes características:

Japón. Este es un mercado exigente en todos los aspectos, la calidad del producto debe ser óptima, la reglamentación fitosanitaria debe ser cumplida al 100%, el envase y embalaje cuidadoso. Este mercado ha disminuido últimamente debido a una baja en el poder adquisitivo del japonés, a

causa de la fuerte depresión en la economía de ese país y el hecho de que la nueva generación de japoneses se está orientando cada día más al consumo de la “comida rápida”, por lo que se están modificando los hábitos alimenticios y disminuyendo el consumo de frutas frescas, que eran apreciadas por las generaciones pasadas.

Canadá. Se tiene a los clientes más constantes, sin embargo, dado que Vancouver, se constituye como un puerto de importancia del Océano Pacífico, la carambola de Malasia y Taiwan llega por barco con costos de flete bajos, lo que saca del mercado a México, ya que los volúmenes de producción son transportados forzosamente por avión, encareciendo con ello los productos. Cabe señalar que otro de los factores que disminuye la comercialización del producto en este mercado es porque en la época de verano, debido a la abundancia de frutas baratas disminuye la demanda de fruta exótica.

Estados Unidos. En este país, principalmente en Florida y Hawai, se produce carambola de la variedad *Arkin* principalmente. Actualmente la producción de carambola fresca en México no puede entrar en este mercado por una prohibición de tipo fitosanitario, sin embargo EUA se constituye en un mercado potencial para productos procesados de carambola.

Europa. Aunque podido hacer embarques a España, Holanda e Inglaterra, y mandado muestras a Alemania e Italia, el mercado europeo es difícil de penetrar por diferentes razones; la competencia de países como Malasia, Taiwan e Israel es fuerte, ya que ellos manda por barco la carambola, y si utilizan avión, cuentan con subsidio de sus gobiernos para el transporte aéreo.

Otros países. Existen otros mercados potenciales en otras áreas geográficas, como son los países del este de Europa, los países árabes y Argentina.

USOS

La carambola se consume como fruto fresco o procesado, los frutos frescos, ya sean verdes, sazones o maduros, se utilizan para realizar mermeladas, dulces, jugos, gelatinas, jaleas, conservas, refrescos y licores; también se conoce en ensaladas como elementos decorativos, de consumo como fruto enlatado y como sustituto de tamarindo para preparar diversos alimentos (Ordúz *et al.*, 2002).

En Malasia, cocinan un estofado con azúcar, canela, carambola y manzana; en China se cocina carambola con pescado y en Tailandia utilizan rebanadas de fruto verde con mariscos. En China y Taiwan, los frutos de carambola se exportan en rebanadas en almíbar. En Hawai se produce jugo de carambola, el cual es preparado con frutos agrios mezclados con gelatina, azúcar, jugo de limón y agua. En la India, se comercializan jugos enlatados de frutos maduros y para hacer jalea se utilizan frutos sazones de cultivares dulces o frutos maduros de cultivares ácidos a los cuales se les agrega pectina comercial o se mezclan con otros frutos ricos en pectina como papaya verde con jugo de limón y lima (Pérez *et al.*, 2004).

1.2. CONSERVACIÓN DE ALIMENTOS

La conservación de los alimentos ha sido una actividad importante para la humanidad, que civilizaciones antiguas llevaban a cabo con métodos basados en el calentamiento, el salado, la fermentación, y el secado (Badui, 2011).

Los procesos de conservación de alimentos, aplicados hoy día en el ámbito de la industria alimentaria, tienen como objetivo principal evitar el deterioro de la calidad de los alimentos elaborados durante los periodos de almacenamiento necesarios. Esta calidad se suele valorar en términos nutricionales, sensoriales y de seguridad o salud pública. En la práctica, cuando una materia prima alimenticia, más o menos perecedera, no puede ser utilizada de inmediato necesita de un tratamiento adecuado para evitar el riesgo de sufrir alteraciones físicas, químicas o biológicas. Cada uno de estos procesos pueden originar en el alimento modificaciones (Bello, 2000).

Por la composición de los alimentos, pH y a_w , los alimentos frescos, sean de origen vegetal o animal, deben someterse a un proceso de conservación, porque de lo contrario su vida útil se reduce, en el mejor de los casos, a unos cuantos días. El deterioro de los alimentos puede ser solo sensorial, como cambios de color o de sabor, pero lo suficiente para que el consumidor rechace el producto; y en otros casos implica el crecimiento microbiano que afecta, además la calidad, la inocuidad del alimento y pone en riesgo al consumidor.

Todos los alimentos se echan a perder o se deterioran en función a tres mecanismos:

- a) Por contaminación microbiana con bacterias, hongos y levaduras que pueden crecer en casi todos los alimentos, sobre todo en los frescos: carnes, leche, pescado y vegetales; y es la más común de las tres contaminaciones accidentales y se favorece al tener condiciones ideales de crecimiento.
- b) Por enzimas endógenas, principalmente las que propician la maduración porque ésta, a su vez, propicia la pudrición de los vegetales; también influyen las que provocan la rancidez oxidativa, el oscurecimiento, la destrucción de vitaminas y de pigmentos, la putrefacción y la generación de compuestos muy olorosos, como los pescados.
- c) Por reacciones químicas, es decir, por las modificaciones catalizadas por las altas temperaturas, el oxígeno, la luz y los metales como son la rancidez oxidativa, la reacción de Maillard y la degradación de pigmentos.

Cada uno de los tres mecanismos anteriores ocurre en determinados alimentos y en ciertas condiciones.

- a) *Físicos*: empaques protectores, calentamiento, refrigeración, congelación, reducción del contenido de agua, reducción de oxígeno, radiaciones, pasteurización, procesos hiperbáricos, y microfiltración, entre otros.
- b) *Químicos*: uso de conservadores, sal, azúcar, ácidos, humo y otros aditivos.

c) *Biológicos*: fermentaciones (Badui, 2011).

MÉTODOS DE FUNDAMENTO FÍSICO

De más reciente implantación, algunas de ellas todavía en fase experimental, son las nuevas tecnologías que se apoyan en fundamentos bien diversos, tales como la aplicación de radiaciones ionizantes (irradiación), presiones elevadas (presurización), y por otros efectos físicos, todavía sin nombre propio para el tratamiento de los alimentos: campos eléctricos pulsantes de alta intensidad, campos magnéticos oscilantes, pulso luminosos, etc., (Bello, 2000).

BAJAS TEMPERATURAS

Los tres mecanismos de deterioro de los alimentos (contaminación microbiana, enzimas endógenas y reacciones químicas) se inhiben a bajas temperaturas; en general, sus valores de Q_{10} son de 2, lo que significa que una disminución de 10°C reduce su velocidad al 50%. Así, un producto que de 20°C pasa a -20°C experimenta cuatro ciclos de 10°C , equivalentes a una reacción de 94% de cualquiera de estos tres mecanismos. Un efecto de las bajas temperaturas es que abaten la presión de vapor del agua y con ello la a_w .

En el calentamiento, la transferencia de calor es de la fuente caliente, mientras que en la refrigeración y congelación es del alimento al sistema de enfriamiento.

Tanto la refrigeración como la congelación inactivan a las enzimas y también tienen una acción inhibitoria (bacteriostática) no destructiva (bactericida) sobre los microorganismos; una excepción son los cisticercos de la carne de cerdo que se destruyen con 15 días de congelamiento.

Para refrigerar los alimentos por lo general se utilizan sistemas mecánicos de producción de frío, mientras que en la congelación se pueden usar los mismos o bien refrigerantes líquidos (Badui, 2011).

Refrigeración

El enfriamiento y refrigeración de los alimentos nos ayuda a la disminución de la actividad enzimática y microbiana. La velocidad de enfriamiento depende de la naturaleza del alimento, del material del recipiente y del medio de enfriamiento (Garda, 2006).

La refrigeración consiste en conservar los alimentos a baja temperatura, pero superior a 0°C . A esta temperatura el desarrollo de microorganismos disminuye o no se produce. La refrigeración es sistemática en la leche y frecuente en verduras que se almacenan a temperaturas que oscilan entre 0°C y el 12°C . La carne se guarda en cámara fría durante cinco días por lo menos (Cuéllar, 2008).

Los refrigeradores domésticos se mantienen entre 4 y 6°C, mientras que los equipos industriales trabajan desde los 2°C; en cualquier caso, sus sistemas de enfriamiento están diseñados para una determinada cantidad de producto en ciertas condiciones, y cuando éstas no se observan, ocurren descomposturas o una ineficiente operación; esto sucede al introducir grandes cantidades de alimentos muy calientes (Badui, 2011).

En la refrigeración no se forma hielo, el agua permanece líquida y si el tiempo de almacenamiento no es muy largo, no se afecta el sabor ni la textura o el valor nutrimental. A 4°C, la vida útil de un producto depende de su pH, a_w , composición química y contaminación microbiana; los alimentos ácidos y de baja humedad se conservan por muchos meses, mientras que los no ácidos y de alta humedad como leche, carnes y pescado, sólo algunos días. Los microorganismos siguen reproduciéndose, aunque a menor velocidad, pero llegan a cifras de millones por gramo, lo que provoca el deterioro del alimento; por ello la vida de los productos frescos refrigerados siempre es corta e inferior a la de los congelados (Badui, 2011).

Congelación

La congelación es una operación unitaria que reduce la temperatura del alimento por debajo de su punto de congelación, por lo que una proporción elevada del agua que contiene cambia de estado, formando cristales de hielo (80%). Un alimento congelado mantiene casi inalterables por mucho tiempo las características originales debido a que las bajas temperaturas inhiben la actividad microbiana, hacen más lentas las reacciones bioquímicas y reduce la actividad de agua (Garda, 2006).

La congelación consiste en bajar la temperatura a -20°C en el núcleo del alimento, para que no pueda haber posibilidad de desarrollo microbiano y limitar la acción de la mayoría de las reacciones químicas y enzimáticas. La temperatura con la que se congela el alimento oscila entre -40°C y -50°C, y seguidamente se almacena a -18°C, temperatura que se debe mantener hasta el momento de cocción. Este sistema es considerado como una de las mejores técnicas de conservación. Sin embargo, si el alimento pasa varios meses en la congelación, el contenido en vitaminas tiende a disminuir y las grasas a hacerse rancias (Cuéllar, 2008).

Este sistema de conservación no siempre es benéfico para todos los alimentos debido a que induce la coagulación de proteínas, rompe emulsiones, cristaliza solutos y registra otros cambios negativos.

En la congelación existen tres etapas:

- Enfriamiento. Esta etapa comprende desde la temperatura inicial del producto hasta aquella en que comienza la congelación.

Cambio de estado. Se inicia con la formación de cristales de hielo y durante ella se libera calor.

Enfriamiento posterior. Cuando toda el agua se ha transformado en hielo, se reinicia el descenso de la temperatura (Cuéllar, 2008).

Hay dos procesos de congelación: lenta y rápida.

Congelación Lenta. Realizada en sistemas tradicionales, y que se caracteriza porque se forman grandes cristales de hielo al congelarse el agua, provocando la ruptura de la estructura celular (Garda, 2006).

La congelación lenta genera pocos cristales, pero grandes, lo que genera un volumen de 10 a 15 % mayor que la del agua líquida; este incremento debe considerarse al llenar un recipiente que será congelado, ya que el alimento puede derramarse y las botellas de agua y los huevos, romperse.

Los macro cristales tienen un efecto cortante que daña de forma irreversible las proteínas y los carbohidratos de las membranas celulares de vegetales y cárnicos, lo que deriva en una reducción de su capacidad de retención de agua y de un goteo al descongelarse. Esta pérdida de líquidos reduce la turgencia, los tejidos se hacen flácidos y se deshidratan más fácilmente en la cocción; el agua del descongelamiento de carnes se tiñe de rojo por la liberación de la mioglobina del músculo dañado y el jamón rebanado libera 10% del peso del agua con las sales de curación que le fueron inyectadas en su fabricación. Estas mermas representan dinero cuando el comerciante vende los productos descongelados por su pérdida de peso. Este proceso es inadecuado para los helados, ya que produce granulosidad; en cambio, es recomendable para destruir los parásitos de la carne de cerdo (Badui, 2011).

Congelación Rápida o Ultra-congelación. Aquí el agua se congela formando pequeños cristales de hielo, permaneciendo intacta la estructura celular del sistema (Garda, 2006).

En la congelación rápida se generan muchos cristales pequeños a lo largo de las fibras de los tejidos que no altera la estructura celular de carnes y verduras; esto permite que; una vez descongeladas, retengan su agua y en consecuencia su textura. Se usa en los helados para formar microcristales imperceptibles en la boca y conservar la tersura, y también en masas de panificación, pescados y muchos otros alimentos; para las frutas se añade jarabes concentrados junto con ácidos cítrico o ascórbico que inhibe enzimas (Badui, 2011).

Los equipos de congelación se pueden dividir en:

- Congeladores de ráfaga de aire, donde el aire es el congelante, existiendo distintos diseños o modelos como: los discontinuos, de túnel, de cinta, de lecho fluidizado.

- Congeladores de contacto: el producto está en contacto directo o indirecto con el medio de congelación
- Congeladores criogénicos: se utilizan como medio de transferencias el nitrógeno líquido o el dióxido de carbono. Las ventajas del nitrógeno líquido sobre el dióxido de carbono es que permite una mayor rapidez en la congelación; es un gas inerte que protege al producto, mientras que el segundo reacciona con la parte acuosa del alimento pudiendo cambiar las características del mismo; además, el nitrógeno, al ser inerte y respirarlo continuamente, no produce riesgo para la salud, mientras que el dióxido de carbono es tóxico y en dosis superiores al 4.6% puede producir muerte por asfixia (Garda, 2006).

Descongelación

Es el proceso por el cual se produce una paulatina elevación de la temperatura del producto congelado. La descongelación es más lenta que la congelación y se producen pérdidas de componentes celulares que se manifiestan como un exudado rico en sustancias hidrosolubles, como las vitaminas del complejo “B” (observado generalmente en carnes) y vitamina “C” (que puede darse en vegetales y frutas).

Hay diferentes métodos de descongelación. Una forma es exponer la superficie del alimento a la acción del aire, vapor de agua, líquido o la influencia de superficies calientes. Otra forma de descongelar es usar el calentamiento con microondas, generando calor dentro del alimento; pero puede ocurrir que, al hacerlo tan rápidamente, aparezca un calentamiento descontrolado. Esto ocurre cuando partes del alimento que se han descongelado primero absorben humedad de forma preferente y se vuelven muy calientes, mientras otras áreas permanecen congeladas.

Es aconsejable realizar el descongelamiento en la heladera, que puede llevar hasta 1 hora, dependiendo del grosor y naturaleza del producto. Algunos alimentos pueden ser descongelados directamente en agua en ebullición, como es el caso de los vegetales; otros directamente en los recipientes adecuados para la cocción por fritura o al horno.

Los productos descongelados no se pueden volver a congelar porque se verían afectados por daños en la estructura de las células, producidas por la nueva congelación, y, además, se volvería a congelar un alimento que durante la descongelación ha sufrido proliferación de bacterias y gran actividad enzimática, disminuyendo la seguridad alimentaria.

Se pueden re-congelar aquellos sistemas alimentarios que, habiendo sido descongelados, fueron posteriormente cocidos (Garda, 2006).

Los ciclos de congelación y descongelación causan mucho daño a la textura, al sabor y al color, además de que propician el crecimiento microbiano. Sin importar la forma de descongelamiento, en el agua que gotea se pierden sabores, pigmentos, vitaminas y minerales hidrosolubles (Badui, 2011).

REDUCCIÓN DEL CONTENIDO DE AGUA

Uno de los métodos de conservación de alimentos más antiguos es el proceso de secado o reducción de su contenido de acuoso. Los alimentos que contienen poca cantidad de agua, como algunas semillas, pueden ser bien conservados, pero no ocurre así con la mayoría de los alimentos, ya que es preciso reducir su contenido acuoso para estabilizarlos frente a las actividades nocivas de enzimas y microorganismos.

Uno de los métodos más tradicionales es el uso de la energía solar. Se sabe que la mayoría de las bacterias patógenas no resisten la desecación del alimento, pero sus formas esporuladas sí pueden ofrecer resistencia. Por ello, todavía se sigue utilizando este aprovechamiento del calor del sol para secado de los alimentos, en un principio reservado a carnes y pescados, y extendido posteriormente a diversos tipos de frutas (Bello, 2000).

Concentración

La concentración es el proceso de reducción del contenido de agua de los alimentos sin pasar al estado sólido (Cuéllar, 2008).

El proceso de concentración se emplea para fabricar los purés y pastas de jitomate, así como la leche evaporada y la azucarada; también para el suero de leche y de algunas materias primas y de alimentos como paso previo a su deshidratación por aspersión (Badui, 2011).

Liofilización

La liofilización es un proceso mediante sublimación utilizando con el fin de reducir las pérdidas de los componentes volátiles o termosensibles. Durante este proceso, se dan dos subprocesos: la congelación del alimento y la remoción del agua del mismo mediante un proceso conocido como sublimación. El alimento es congelado a una temperatura cercana a -30°C , luego de lo cual, es colocado en bandejas dentro de una cámara de refrigeración al vacío, donde se aplicara calor de manera controlada. Como resultado, el agua del alimento es convertida directamente de su estado sólido a vapor de agua sin haber pasado previamente por el estado líquido (Cuéllar, 2008).

Como no se emplean altas temperaturas, no se afectan las vitaminas termosensibles, además de que las proteínas y los carbohidratos conservan intactos sus grupos hidrófilos y su capacidad de hidratación; la porosidad se mantiene igual que la capilaridad del tejido vegetal o animal, y con ello se asegura un producto muy rehidratable. Debido a su alto costo se emplean en productos caros como café, carne de pollo, algunos vegetales, probióticos y bacterias industriales. La liofilización se utiliza en la gastronomía molecular para lograr estructuras poco convencionales como las espumas de vegetales y hasta las frutas enteras con alta porosidad y crujientes (Badui, 2011).

REDUCCIÓN DE OXÍGENO

La reducción de la disponibilidad de oxígeno es el modo más satisfactorio de inhibir el pardeamiento enzimático y que consiste en la eliminación total del oxígeno. Esto puede obtenerse por des-oxigenación al vacío, borboteo de nitrógeno o apelando a la acción combinada de las enzimas glucosa oxidasa y la catalasa. Sin embargo, es importante considerar que el oxígeno es un requisito de los tejidos vivos.

En el caso de sólidos, como las porciones de frutas y hortalizas, la eliminación del oxígeno más sencilla es por inmersión en soluciones como jarabe, salmueras o agua para retardar la difusión del oxígeno. Sin embargo, el tejido pardeará cuando entre en contacto nuevamente con el aire. Además, durante el tiempo en el cual el tejido está inmerso, el equilibrio osmótico puede producir una pérdida de solutos y la imbibición de la solución de inmersión, y en algunas ocasiones no deseada. Otra alternativa sería el envasado del producto en atmósfera inerte. Pero el desarrollo de metabolismo anaerobio alteraría las propiedades organolépticas de las frutas hace este tratamiento inaplicable (Garda, 2006).

RADIACIONES

Se trata de ondas electromagnéticas portadoras de energía que atraviesan el espacio a la velocidad de la luz. Cuando hace contacto con algún objeto, la radiación es reflejada, transmitida o absorbida, dependiendo de las propiedades de dicho objeto. Solamente la radiación absorbida comunicará su energía y dará lugar a un cambio de temperatura. La diferencia está exclusivamente en la longitud de onda o período de vibración que es más largo en el calor radiante.

Las radiaciones, según la longitud de onda, pueden ser:

- Ionizantes: rayos X, rayos gama,
- No ionizantes: rayos ultravioleta, rayos infrarrojos y las microondas (Garda, 2006).

Microondas

Las microondas son ondas electromagnéticas de energía radiante, que difieren de las ondas de la luz por su longitud y frecuencia. Toda materia está formada por moléculas. Si un agente externo logra que estas entren en movimiento friccionándose entre sí, se produce calor por roce mutuo, elevándose la temperatura de dicha materia o cuerpo. En el caso de las microondas, se usa un campo eléctrico generado por una válvula electrónica llamada magnetrón, que es capaz de producir oscilaciones o roces de las partículas en el orden de 2.4 MHz o ciclos por segundo. Esta energía penetra en el alimento y genera una intensa oscilación de las moléculas dipolares del agua y hace que se cocinen rápidamente.

En estos equipos no existe una fuente calórica externa. El calor no se conduce por conducción desde la superficie del alimento hacia el centro del mismo, como en los métodos tradicionales, sino que se genera rápida y uniformemente a través de toda la masa.

La pérdida de nutrientes es bastante menor que la que se produce por otras formas de cocción debida que no hay contacto con el agua que actúa como disolvente especialmente de sales minerales y vitaminas hidrosolubles.

Materiales y envases aptos para cocinas de microondas son: vidrio templado y refractario, cerámica vitrificada y refractaria, losa, porcelana (todos ellos sin bordes o piezas metálicas). Se utilizan plásticos termoresistentes, polietileno de alta densidad (20 a 25 micrones de espesor), bolsas para hornear, papel parafinado (manteca), película auto-adherente de PVC para cubrir platos y fuentes, también se puede usar papel mimbre y madera.

Rayos Gamma (γ)

A diferencia de los rayos UV, X y microondas, estos rayos son electrones de muy alta energía y penetración provenientes del cobalto 60 y cesio 137, ambos elementos químicos radiactivos. Estos rayos son ionizantes, rompen átomos y alteran las proteínas y el ADN de los microorganismos, incluyendo los patógenos, pero no afectan sus toxinas preformadas. Se aplican a bajas dosis, menos de 10 kGy (kilo Grays) en frutas, verduras, granos, pescados, mariscos, pollo y harinas; eliminan huevos, larvas y pupas de insectos e inhiben los brotes de tubérculos y bulbos. Sin embargo, destruye algunas vitaminas y pigmentos y generan olores indeseables en ciertos alimentos; la mioglobina de la carne puede perder el color y adquirir uno verde y varias frutas modifican su textura y sabor (Badui, 2011).

MÉTODOS DE FUNDAMENTO QUÍMICO

La existencia de compuestos químicos que poseen propiedades conservadoras ha llevado al desarrollo y aplicación de métodos adecuados para la conservación de alimentos. Su aplicación está reglamentada por los organismos correspondientes (FAO/OMS; Codex Alimentarius, FDA, etc.) y su dosificación o aplicación están restringidos total o parcialmente en algunos de ellos, por consideraciones toxicológicas y/o impactos organolépticos en sabor, aroma, color y textura. También existen conservadores que no tienen aplicación industrial debido a su poca disponibilidad comercial, a un alto costo o a un método de aplicación no rentable (Pérez- Cabrera, 2003).

SAL

Se le denomina salazón al método de agregar sal a los alimentos para su conservación, de forma que se encuentren disponibles para el consumo durante un mayor tiempo. El efecto de la salazón es la deshidratación parcial de los alimentos, el refuerzo del sabor y la inhibición de al-

gunas bacterias. Existe la posibilidad de salar frutas y vegetales, aunque lo frecuente es aplicar el método en alimentos tales como carnes y pescado (Cuéllar, 2008).

AHUMADO

Este sistema era conocido por los Aztecas y los Egipcios, e implica la quema de maderas duras de poca resina como nogal o el abedul, en una cámara cerrada para generar el humo que se adhiere al jamón, chorizo chuletas, salami y quesos. En México y de forma más rustica, los chipotles o chipotles (en náhuatl significa “chile ahumado”) se producen con el ahumado de los chiles jalapeños. El efecto conservador de este proceso se basa en la acción del humo, pero también en la alta temperatura y la sal añadida a los productos (Badui, 2011).

Ahumar consiste en someter a los alimentos a la acción de productos volátiles procedentes de la combustión incompleta de virutas o de aserrín de madera duras de primer uso, pudiendo mezclarse en distintas proporciones con plantas aromáticas inofensivas. El poder conservador se debe a la deshidratación y a la acidificación del alimento. Además, el humo contiene una gran cantidad de productos orgánicos, compuestos fenólicos, hidrocarburos, antioxidantes, óxido de nitrógeno, por lo que hay que evitar temperaturas excesivamente altas y maderas recuperadas de otros usos, como maderas de barcos, que contienen alquitrán (Cuéllar, 2008).

El humo es un aerosol o sólido disperso en un gas, de composición muy compleja con cientos de sustancias que cumplen diferentes funciones: unas proporcionan sabor, otras como el ácido acético y el formaldehído reduce el pH e inhiben los microbios, y algunas más a base de fenoles son antioxidantes que evitan el deterioro de las grasas. En la cámara se alcanza hasta 7°C y se destruyen los patógenos y las enzimas endógenas, se deshidrata la superficie, se produce una costra protectora contra el oxígeno y se generan pigmentos y sabores por la reacción de Maillard. Por su parte, la sal también deshidrata la superficie e inhibe el crecimiento microbiano, además de que contribuye al sabor (Badui, 2011).

MÉTODOS DE FUNDAMENTO BIOLÓGICOS

FERMENTACIONES

Dentro de la historia de la producción y conservación de alimentos se han conocido modificaciones más o menos profundas provocadas por microorganismos, que han sido descritas como fermentaciones (Bello, 2000).

Las fermentaciones, consideradas como métodos preservadores, se caracterizan por producir considerables modificaciones químicas de la materia prima y por el hecho de que los agentes conservadores se forman en el seno del producto mismo gracias a la acción de microorganismos; se pueden considerar como alteraciones dirigidas.

La fermentación sirve para uno o ambos de los siguientes objetivos:

- Producir sabores y características físicas nuevas y deseables.
- Ayudar a la conservación del alimento.

La conservación por fermentación depende de la conversión de azúcares a ácidos por la acción de los microorganismos y de la imposibilidad de las bacterias de crecer en un medio ácido. Es necesario inhibir el desarrollo de los microorganismos capaces de provocar la putrefacción. Las fermentaciones pueden ser producidas por bacterias, levaduras, mohos o ambas (Cuéllar, 2008).

La conservación de los alimentos ha sido una actividad de mucha importancia para la humanidad, que civilizaciones antiguas llevaban a cabo con métodos basados en el calentamiento, el salado, la fermentación, y el secado (Badui, 2011).

Los procesos de conservación de alimentos, aplicados hoy día en el ámbito de la industria alimentaria, tienen como objetivo principal evitar el deterioro de la calidad de los alimentos elaborados durante los necesarios periodos de almacenado. Esta calidad se suele valorar en términos nutricionales, sensoriales y de seguridad o salud pública. En la práctica, cuando una materia prima alimenticia, más o menos perecedera, no puede ser utilizada de inmediato necesita de un tratamiento adecuado para evitar el riesgo de sufrir alteraciones físicas, químicas o biológicas. Cada uno de estos procesos pueden originar en el alimento modificaciones (Bello, 2000).

Por la composición de los alimentos, pH y la actividad de agua (a_w), los alimentos frescos, sean de origen vegetal o animal, deben someterse a un proceso de conservación, porque de lo contrario su vida útil se reduce, en el mejor de los casos, a unos cuantos días. El deterioro de los alimentos puede ser solo sensorial, como cambios de color o de sabor, pero lo suficiente para que el consumidor rechace el producto; y en otros casos implica el crecimiento microbiano que afecta, además la calidad, la inocuidad del alimento y pone en riesgo al consumidor.

Todos los alimentos se echan a perder o se deterioran en función a tres mecanismos:

- a) Por contaminación microbiana con bacterias, hongos y levaduras, que pueden crecer en casi todos los alimentos, sobre todo en los frescos: carnes, leche, pescado y vegetales; y es la más común de las tres contaminaciones accidentales y se favorece al tener condiciones ideales de crecimiento.
- b) Por enzimas endógenas, principalmente las que propician la maduración porque ésta, a su vez, propicia la pudrición de los vegetales; también influyen las que provocan la rancidez oxidativa, el oscurecimiento, la destrucción de vitaminas y de pigmentos, la putrefacción y la generación de compuestos muy olorosos, como en los pescados.

- c) Por reacciones químicas, es decir, por las modificaciones catalizadas por las altas temperaturas, el oxígeno, la luz y los metales como son la rancidez oxidativa, la reacción de Maillard y la degradación de pigmentos.

Cada uno de los tres mecanismos anteriores ocurre en determinados alimentos y en ciertas condiciones. Se puede evitar estos daños usando diferentes sistemas, como son:

- a) *Físicos*: empaques protectores, calentamiento, refrigeración, congelación, reducción del contenido de agua, reducción de oxígeno, radiaciones, pasteurización, procesos hiperbáricos, y microfiltración, entre otros.
- b) *Químicos*: uso de conservadores, sal, azúcar, ácidos, humo y otros aditivos.
- c) *Biológicos*: fermentaciones (Badui, 2011).

1.3. DESHIDRATACIÓN

El secado de los alimentos es el método más antiguo de conservación de los productos perecederos. El uso de la radiación solar para reducir el contenido de agua de un producto es un procedimiento artesanal de bajo costo. Actualmente se utiliza para el secado de diversos productos, como higos (secos), uvas (pasas), ciruelas (pasas) y otros frutos, así como para obtener la sal por evaporación del agua de mar.

Un producto deshidratado es el que no contiene más de 2.5% de agua (base seca), mientras que el alimento seco es todo producto alimenticio que ha sido expuesto a un proceso de eliminación del agua y que contiene más de 2.5% de agua (base seca) (Caziñares *et al.*, 2006).

Hoy en día la industria de alimentos deshidratados constituye un sector importante dentro de la industria alimentaria y se ha extendido a todo el mundo. En el mercado puede encontrarse una amplia variedad de productos deshidratados o formulados a partir de ingredientes deshidratados como es el caso de las salsas y sopas en polvo (Andrés Grau *et al.*, 2001).

La industria alimentaria utiliza la deshidratación como método de conservación en un gran número de productos, entre los cuales se encuentran: productos lácteos y derivados (leche en polvo instantánea, semi-productos en polvo para helados y postres), productos derivados de los cereales (alimentos para bebés con carne y frutas, harinas con frutas y miel, pastas), productos obtenidos del café, té y cacao, productos vegetales (puré de papas, forrajes, frutas secas), productos de origen animal (huevos, sopas y salsas deshidratadas), entre otros (Caziñares *et al.*, 2006).

El contenido de agua en los alimentos es variable: 60-75% en carnes, 10-20% en cereales, 80-90% en frutas y hortalizas y 90-95% en hongos comestibles. De aquí que varios métodos de conservación se fundamentan, al menos parcialmente, en el descenso de la disponibilidad de agua, eliminándola por deshidratación, evaporación, liofilización, congelación, y fijándola por adición

de solutos y otros medios. La deshidratación es considerada un procedimiento que permite eliminar por evaporación o sublimación la mayor parte del agua del alimento, sea líquido o sólido.

La mayoría de los productos agroalimentarios son sólidos por lo que se define mejor la deshidratación como la operación básica por la que el agua que contiene un sólido a una disolución (generalmente concentrada) se transfiere a la fase fluida que lo rodea debido a los gradientes de actividad de agua (a_w) entre ambas fases (Andrés Grau *et al.*, 2001).

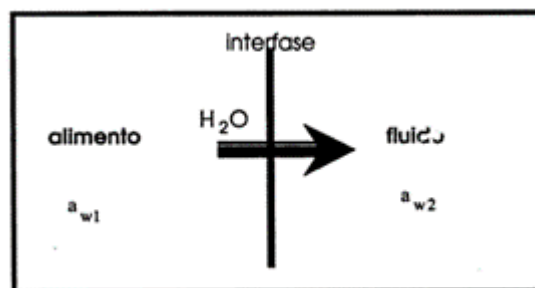


Figura 3. Esquema de las fases alimento-fluido entre las que se produce el transporte de agua durante la deshidratación debido a un gradiente de a_w . (Andrés Grau *et al.*, 2001)

DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

La deshidratación osmótica es una técnica que permite eliminar parcialmente el agua de los tejidos de los alimentos por inmersión en una solución hipertónica, sin dañar el alimento y afectar su calidad (Rastogi *et al.*, 2002).

La ósmosis es un fenómeno en el que se produce el paso o difusión de un disolvente a través de una membrana semipermeable (permite el paso de disolvente pero no de solutos) desde la disolución más diluida a la más concentrada.

Los medios acuosos separados por una membrana semipermeable pueden tener diferentes concentraciones, y se denominan:

- Hipertónicos los que poseen una elevada concentración de solutos con respecto a otros en los que la concentración es inferior.
- Hipotónicos los que contienen una concentración de solutos baja con respecto a otros que la poseen superior.

Cuando el medio externo celular es hipertónico respecto al medio interno, sale agua de la célula por ósmosis, y entonces disminuye el volumen celular y aumenta la presión osmótica en el interior celular. En el caso de las células vegetales este hecho provoca la rotura de la célula o plasmólisis, al desprenderse la membrana plasmática de la pared celular.

Cuando el medio externo celular es hipotónico respecto al medio interno, se produce entrada de agua al interior de la célula, lo que ocasiona aumento de volumen celular y disminución de la presión osmótica en el interior celular. En el caso de las células animales puede producirse estallido celular. En las vegetales, debido a la existencia de pared celular rígida, se produce turgencia (Cambell *et al.*, 2007).

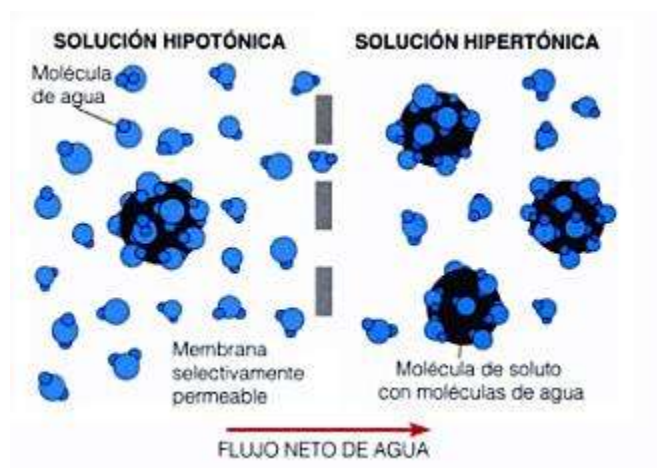


Figura 4. Representación a nivel molecular, se muestra la diferencia en la concentración del soluto. (Cambell *et al.*, 2007)

La fuerza impulsora para la difusión del agua desde los tejidos a la solución es la diferencia de actividad acuosa (presión osmótica) entre el alimento y la solución. Los medios de deshidratación son generalmente soluciones acuosas concentradas de un azúcar o una sal o mezclas de diversos azúcares y/o sales. Así mismo, cuando no es deseable aplicar dulzor en el alimento, como en el caso de los vegetales, se emplean alcoholes de alto peso molecular para reemplazar los azúcares o la conjunción de sal y azúcar u otros edulcorantes para enmascarar a estos últimos.

Acompañando a la eliminación parcial de agua del alimento se produce la pérdida de algunos solutos solubles del mismo que son arrastrados por el agua y una ganancia de solutos por parte del alimento desde la solución. Tanto la magnitud de este fenómeno como la pérdida de agua dependen de las características del producto alimenticio: forma, tamaño, estructura, composición y tratamiento previo (pelado, escaldado, tratamiento de la superficie); y de la solución: tipos de solutos, concentración de los mismos y de las condiciones de proceso: temperatura, grado de agitación de la solución, presión de trabajo y relación masa de entre el alimento y la solución osmótica (Della, 2009).

La deshidratación osmótica de alimentos incluye dos tipos de transferencia de masa: la difusión del agua del alimento a la solución y la difusión de solutos de la solución al alimento. En el primer tipo, la fuerza conductora de la transferencia de masa es la diferencia de presión osmótica, mientras en la segunda es la diferencia de concentraciones (Barbosa y Vega, 2000).

Este es un tratamiento de eliminación parcial de agua, donde se sumerge la materia prima en una solución hipertónica que tiene una alta presión osmótica y baja actividad de agua, siendo la fuerza impulsora para que el agua del alimento se difunda en el medio, originándose así una transferencia de masa desde la región de mayor concentración hacia la de menor concentración. En los productos deshidratados osmóticamente la mayor resistencia a la transferencia de masa se localiza en la membrana celular semipermeable, la cual depende de las características y morfología de los productos; y a través de la cual es posible la transferencia de agua, sales, y azúcares naturales (glucosa y fructosa).

Las variables de proceso son: concentración de la solución osmótica, tipo de soluto, temperatura, presión, tiempo de residencia, geometría y tipo de tejido; estas variables han sido estudiadas extensamente, ya que todas tienen una considerable influencia en la velocidad de la transferencia de masa. El aumento de la temperatura en el sistema va a producir cambios en la permeabilidad de la membrana celular y en la fluidez de la solución osmótica (Barat *et al.*, 2001).

Cabe señalar que también se produce, pero en menor medida, cierta impregnación del soluto hacia el alimento. Esto se traduce en la incorporación de un sólido seleccionado (sales, aceite, vitaminas y sustancias naturales benéficas) al comestible, al mismo tiempo que éste pierde el agua de su interior y, por lo tanto, peso (Melchor, 2006).

La pérdida de agua durante la deshidratación osmótica se puede dividir en dos períodos: (1) un periodo inicial de 2 h con alta tasa de eliminación de agua y (2) un periodo que varía de 2 a 6 h con una disminución de la tasa de eliminación de agua. La velocidad inicial de la pérdida de agua no es sensible a la circulación de la solución osmótica. El escaldado afecta a la fase inicial de la deshidratación osmótica, aunque la pérdida de agua final no es muy diferente de la de la producción sin escaldar. La temperatura y la concentración de la solución osmótica afectan la tasa de pérdida de agua. En comparación con secado al aire o secado por congelación, la deshidratación osmótica es más rápida porque la eliminación del agua se produce sin un cambio de fase (Barbosa y Vega, 2000).

VENTAJAS DE LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

A continuación se lista una serie de ventajas de la deshidratación osmótica:

- Eficiente desde el punto de vista energético, ya que se lleva a cabo generalmente en condiciones cercanas a la temperatura ambiente sin que el agua cambie de fase.
- Prácticamente no se afecta el color, el sabor, el aroma y la textura del alimento.

- Es un proceso tecnológicamente sencillo.
- Se puede trabajar con pequeños volúmenes de producto.
- Produce un daño mínimo en la estructura del alimento deshidratado, ya que no debe someterse a altas temperaturas como en otros tratamientos térmicos como es el caso del secado conectivo.
- Por lo general, no se requiere tratamiento químico previo para evitar el pardeamiento del producto, pues al estar sumergido en la solución se minimiza el contacto con el oxígeno retardándose el proceso.
- Se retienen la mayoría de los nutrientes (Della, 2009).
- Puede aumentar la relación azúcar/ácido, Ponting (1996) observó que los ácidos de los frutos les eran extraídos junto con el agua eliminada en la deshidratación dando lugar a un producto con un menor contenido en ácidos y mayor tenor de azúcar.
- Mejora la estabilidad del producto. La actividad de agua del alimento disminuye de tal modo que inhibe parcialmente el crecimiento microbiano y extiende la vida útil del alimento.
- Disminuyen los costos de empaque y transporte al disminuir el peso por eliminación parcial del agua (Rahman *et al.*, 2001).

Se puede fortificar el producto agregando minerales tales como calcio y zinc a la solución osmótica para que se produzca la impregnación del producto (Alzamora *et al.*, 2005). También se pueden producir alimentos funcionales al agregar probióticos a la solución. Los tejidos de los frutos se pueden impregnar al vacío con diferentes microorganismos como *Saccharomyces cerevisiae*, *Lactobacillus acidophilus*, y *Phomaglomerata* (Rodríguez, 1998).

FACTORES QUE AFECTAN LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

Durante la transferencia de agua-soluto que ocurre en el proceso de Deshidratación Osmótica (DO), uno de los factores determinantes es la naturaleza, estructura y tamaño/geometría del tejido a deshidratar; y que está dada por la especie, la variedad y el estado de madurez de la materia prima. El estado de madurez tiene un efecto significativo sobre la estructura del tejido en términos de la estructura de la membrana celular, espacios intracelulares, compactación del tejido, aire ocluido, cantidad de sólidos insolubles, entre otros (Spiazzi *et al.*, 2001).

Agente osmótico

Los más comúnmente usados son la sacarosa para frutos y el cloruro de sodio para vegetales, pescados y carnes; aunque se han usado distintas mezclas de solutos (Hawkes y Flink, 1978; Islam y Flink, 1982, Wais *et al.*, 2005). En azúcares se han empleado sacarosa, maltosa, glucosa, fructosa, lactosa, maltodextrinas, y trealosa, entre otros, o mezclas de ellos, (Barat *et al.*, 2001).

En cuanto a la cinética, se ha demostrado que la pérdida de agua en frutos expuestos a DO aumenta al incrementarse la concentración de solutos en la solución osmótica, siendo las soluciones entre 50 y 70 °Brix las de mayor uso.

La elección del agente osmótico dependerá de varios factores tales como costo del soluto, compatibilidades sensoriales con el producto terminado y preservación adicional otorgada por el soluto al producto final. (Machacua *et al.*, 2009)

Temperatura

En general, temperaturas comprendidas entre 20 y 40°C son consideradas óptimas porque no afectan la integridad de los tejidos, preservan la calidad nutricional del producto y son las de mayor interés a nivel económico (Lerici *et al.*, 1985). (Youn *et al.*, 1996), afirman que el empleo de bajas temperaturas y concentraciones osmóticas elevadas favorecen a la retención de ácidos orgánicos y nutrientes. Varios autores han observado que la velocidad del proceso osmótico se ve significativamente afectada por el aumento de la temperatura (Lenart y Flink, 1984), y reflejado por un incremento en la eliminación de agua y en la ganancia de azúcar. No obstante, en la mayoría de los casos se observa una escasa ganancia de azúcar, debido a la formación de una capa externa de células colapsada, impidiendo el flujo de componentes (Lazarides *et al.*, 1995). Ponting *et al.*, (1996) observaron que a temperaturas superiores a 50°C, se dieron daños en el color del fruto debido a un oscurecimiento, además de un deterioro en el sabor y aroma. Sin embargo, existen estudios que demuestran que tratamientos a altas temperaturas (70 a 90 °C) durante tiempos cortos (combinando el efecto osmótico con un escaldado), se produce una inactivación enzimática, suficiente para evitar la aparición de colores pardos (Lerici *et al.*, 1985; Lenart y Flink, 1984).

Este es el parámetro más importante que afecta la cinética de pérdida de agua y la ganancia de solutos. La ganancia de solutos es menos afectada que la pérdida de agua por la temperatura, ya que a altas temperaturas el soluto no puede difundir tan fácilmente como el agua a través de la membrana celular de los tejidos del producto.

La temperatura presenta dos efectos. Uno de ellos es que el aumento de temperatura favorece la agitación molecular y por consiguiente mejora la velocidad de difusión. El otro es la modificación de la permeabilidad de la membrana celular con un incremento de la temperatura. La temperatura crítica a la cual se produce la variación en la permeabilidad de la membrana depende de las distintas especies, pero se estima que para frutos rondo el rango es de (50°C-55°C), aproximadamente (Machauca *et al.*, 2009).

Tiempo de inmersión

En general, la DO se realiza manteniendo constante la concentración de azúcar en la solución osmótica. En estas condiciones, el aumento del tiempo de contacto se traduce, normalmente, en

un incremento de la pérdida de agua, y siendo la velocidad de dicha pérdida decreciente debido a que el gradiente de potencial osmótico es cada vez menor (Ponting y *et al.*, 1996; Farkas y Lazar, 1969). Además, la ganancia de azúcar por parte del fruto aumenta también con el tiempo de tratamiento.

Factores que influyen en la deshidratación osmótica.

Los que dependen del fruto son: la permeabilidad y características estructurales de las paredes o membranas celulares, la cantidad de superficie que se ponga en contacto con el jarabe y la composición de los jugos interiores de la pulpa. La pulpa entera con cáscara, de características cerosas como la breva, al ser sumergida en el jarabe sufrirá una deshidratación más lenta que una fruta sin cáscara por la presencia de lípidos. En recientes investigaciones se ha visto que con pre-tratamientos con sustancias que disuelven las ceras, o la acción de un escaldado, aumenta la permeabilidad de las paredes (Genina, 2002).

PH de la solución

La acidez de la solución aumenta la pérdida de agua debido a que se producen cambios en las propiedades tisulares y consecuentemente cambios en la textura de los frutos y vegetales facilitando la eliminación de agua (Moy *et al.*, 1978).

Agitación de la solución osmótica

La deshidratación osmótica puede mejorarse mediante la agitación. La misma disminuye la resistencia a la transferencia de masa en la superficie del producto, además de uniformizar la temperatura y la concentración de solutos en la solución. Sin embargo existen casos en que puede dañarse el producto y debe evitarse. Es por ello que se prefiere el uso de los agitadores orbitales que los agitadores mecánicos de paletas.

Geometría y tamaño del producto

La geometría del producto es importante ya que variará la superficie por unidad de volumen expuesta a la difusión. Así mismo, el tamaño influye en la velocidad de deshidratación y en la absorción de solutos puesto que la superficie por unidad de volumen se modifica para los diferentes tamaños.

En el caso de cubos o esferas al aumentar el lado o el radio, respectivamente, la superficie por unidad de volumen disminuye y entonces, la pérdida de agua resulta inferior para tamaños superiores (Lerici *et al.*, 1985), encontraron que al aumentar la superficie por unidad de volumen, la pérdida de agua aumenta hasta un máximo y luego decrece para los diferentes tamaños, mientras que los sólidos ganados aumentan. La disminución en la pérdida de agua se atribuye a la forma-

ción de una capa superficial de solutos sobre el producto que impide la difusión de agua hacia la solución, en el caso de soluciones muy concentradas de soluto (Della, 2009).

APLICACIONES

Acorde a los efectos observados en los procesos de deshidratación osmótica con relación al contenido de sólidos en los frutos, no se considera que esta operación constituya por sí misma un proceso de conservación, sino una etapa de pre-tratamiento en operaciones como son el secado o la congelación. A continuación se resumen las posibles aplicaciones de la DO como pre-tratamiento para operaciones de conservación y acabado de alimento.

- Los procesos de secado, al someter el producto a un proceso de deshidratación osmótica antes del mismo, permiten aumentar la capacidad de los secadores y el rendimiento de los productos finales. Esto conduce a un ahorro de energía, a la reducción o eliminación del escaldado, así como a mejorar la calidad de los productos naturales, especialmente aquellos con características termolábiles.
- En los mismos productos la actividad final del agua debe ser tomada en cuenta.
- Al combinar los procesos de DO y secado, la velocidad de rehidratación de los productos normalmente disminuye.
- La deshidratación osmótica, como tratamiento preliminar a la conservación de alimentos por congelación, permite trabajar con temperaturas de proceso no tan bajas, disminuir el consumo de energía, aumentar la velocidad de proceso, así como modificar la estructura y características sensoriales del producto. Todo lo anterior es resultado de la disminución del contenido de agua. Por otro lado, al reducir el contenido de agua se reduce también el volumen del producto, el volumen del empaque y, como consecuencia, los costos de distribución.
- Para explicar el proceso de congelación de frutos sometidos a un tratamiento previo de deshidratación osmótica se ha recurrido a la teoría de la transición vítrea. Según esta teoría, si el alimento es almacenado a una temperatura inferior a la de transición vítrea, el agua contenida en la fase del suero concentrado permanece inmovilizada y por lo tanto no interviene en el proceso de deterioro del alimento. Así, si mediante el proceso de deshidratación osmótica se disminuye la concentración de agua, entonces la temperatura de congelación puede ser disminuida a niveles de sobre enfriamiento.
- Los métodos combinados son técnicas de conservación que pueden considerarse para procesamiento mínimo de alimentos. Estos métodos, como su nombre lo indica, enfatizan el uso de tecnologías que conducen a la preservación de alimentos en que las características sensoriales, tales como textura, sabor y color, son similares a la de los productos frescos, sin comprometer su integridad. El efecto aditivo y sinérgico de factores de conservación permite preservar el alimento con una mayor calidad que si se usa una sola técnica, por ejemplo secado.

- Los métodos combinados, o efectos de barreras u obstáculos, reducen el crecimiento microbiano en alimentos al combinar factores de conservación tales como la disminución del pH, la inclusión de agentes antimicrobianos y el calentamiento moderado (Genina, 2002).

DESHIDRATACIÓN SOLAR

La deshidratación natural o secado al sol es antigua. La deshidratación solar de frutos, por ejemplo, data de milenios antes de Cristo. Diversos grupos humanos antiguos conservaban granos, frutos, hongos y levaduras por desecación al sol. En la industria alimentaria actual, la deshidratación se efectúa mediante equipos especializados que hacen circular aire sobre el alimento, o a través de él, a una temperatura y una humedad específicas (Marín, 2001).

La deshidratación por medio de la energía solar es el sistema más antiguo y sencillo de emplear que cumple con las condiciones actuales del mercado: ahorro de energía, protección del medio ambiente y de fácil manejo.

La forma más sencilla es extender el producto al aire libre, exponiéndolo a la radiación solar como los secadores para grano de café. La gran ventaja son los reducidos costos (CORPOICA, 2006). El sol eleva la temperatura y por consiguiente baja la humedad relativa del aire alrededor del alimento. Es necesario asegurar un flujo de aire adecuado alrededor del alimento, ya que su capacidad para transportar humedad es limitada. El contenido de humedad del alimento se estabilizará a un contenido de humedad de equilibrio que corresponde a un valor localizado entre la humedad relativa alrededor del alimento entre el día y la noche (Jara N, 1997)

No obstante y en comparación con el secado al aire libre, los secadores solares brindan una temperatura más elevada y una humedad relativa más baja, condición que resulta en periodos de secado sustancialmente más cortos y en una humedad inferior del producto final. También reduce el riesgo de contaminación con hongos y levaduras. El secado al aire libre atrae insectos, lo que se evita en un secador solar por las elevadas temperaturas, brindando además una protección importante contra la rehidratación por lluvias (CORPOICA, 2006).

DISEÑO EXPERIMENTAL

Un diseño experimental es una técnica estadística que permite identificar y cuantificar las causas de un efecto dentro de un estudio experimental. En un Diseño Experimental se manipulan deliberadamente una o más variables, vinculadas a las causas, para medir el efecto que tiene en otras variables de interés. El diseño experimental prescribe una serie de pautas relativas de variables a manipular, de manera, que cuantas veces hay que repetir el experimento y en qué orden para poder establecer un grado de confianza predefinido la necesidad de una presunta reacción causa- efecto (Kuehl R.O, 2001).

En la estadística, los diseños experimentales Box Behnken, son diseños experimentales de superficie de respuesta de una metodología aplicada en donde cada factor o variable independiente está situado en uno de los tres valores igualmente espaciados; y donde por lo menos tres niveles son necesarios para la siguiente meta.

El diseño debe ser suficiente para ajustarse a un modelo cuadrático, que contiene términos y productos de dos factores. La relación entre el número de puntos experimentales (corridas experimentales) con el número de coeficientes en el modelo cuadrático debe ser razonable, y con repeticiones que den certidumbre a la investigación.

La estimación de varianzas casi depende únicamente de la distancia desde el punto central de certidumbre hacia lo extremos.

2. JUSTIFICACIÓN

Hoy en día, existe una gran preocupación por los problemas de salud presentes en el país, ya que cada vez aumenta el consumo de la llamada comida chatarra, la cual normalmente no aporta calidad nutricional y su aporte calórico es muy alto, vía grasas y azúcares; por lo que es importante la elaboración de botanas a base de frutas naturales y que no contengan la adición de productos tipo aditivos que a la larga pudieran ser un factor para propiciar algún daño en el organismo de las personas.

Las frutas exóticas tienen un gran consumo por sus sabores y colores distintivos y llamativos. La carambola se considera una fruta exótica; principalmente por su peculiar forma de estrella al realizarle un corte transversal. Su producción en los últimos años ha aumentado, y ya se distribuye en los mercados nacionales; pero al no conocerse mucho de ella, no se consume como otras frutas. Nosotros proponemos un tratamiento de deshidratación osmótica y solar post-cosecha para aumentar la vida de anaquel, que sería una buena alternativa para los productores de esta fruta, ya que se obtendría un producto que podría comercializarse como un alimento tipo botana y conservando la mayoría de sus propiedades nutricionales y con un sabor dulce.

3. HIPÓTESIS

Mediante la deshidratación osmótica y deshidratación solar es factible obtener un alimento tipo botana dulce del fruto carambola al utilizar sacarosa como agente osmótico y realizar un estudio de aceptación mediante una evaluación de tipo sensorial.

4. OBJETIVOS

4.1. OBJETIVO GENERAL

Realizar un proceso de deshidratación osmótica utilizando sacarosa como agente osmótico y seguida de un proceso de deshidratación solar para la fruta carambola (*Averrhoa carambola L.*).

4.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar un proceso de deshidratación osmótica utilizando sacarosa como agente osmótico a diferentes tiempos, temperaturas y concentraciones para la fruta carambola basado en un diseño experimental Box-Behnken.
- Estandarizar las condiciones de procesos óptimas mediante modelos matemáticos para la deshidratación osmótica.
- Realizar un proceso de deshidratación solar a diferentes horas como complemento a la deshidratación osmótica.
- Análisis bromatológicos de la carambola en estado natural, deshidratada osmóticamente y seguida de una deshidratación solar.
- Análisis sensorial del producto terminado.

5. MATERIALES Y MÉTODOS

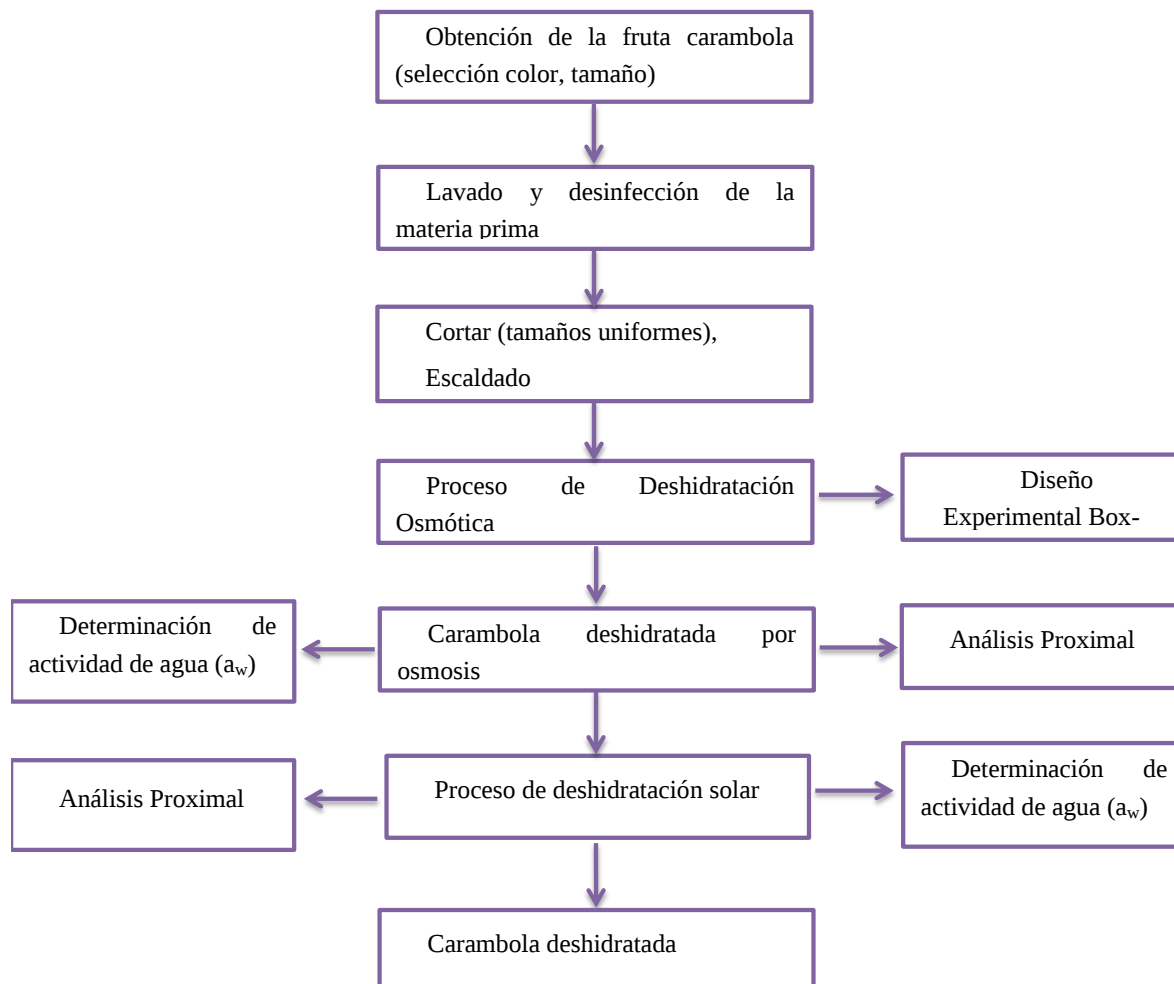
5.1. MATERIALES

- Balanza analítica PRECISA modelo XT220A
- Cápsulas de porcelana
- Deshidratador solar. Fabricado en la Facultad de Químico Farmacobiología de la UMSNH.
- Equipo Goldfish Labconco modelo 35001
- Equipo para determinación de fibra Labconco modelo 30001
- Espátulas
- Estufa Casa Ríos
- Mufla A1300 Furnacetemco modelo F-A1315M
- Olla de acero inoxidable con capacidad de 2 L
- Plancha de calentamiento eléctrica Lindberg modelo 53066
- Refractómetro Bausch & Lomb modelo 334010
- Termómetro de mercurio de 250°C

5.2. MÉTODOS

METODOLOGÍA GENERAL

A continuación se presenta un diagrama de flujo con la metodología general:



DISEÑO EXPERIMENTAL BOX BEHNKEN

Se manejó diseño experimental Box Behnken que maneja 3 variables del proceso y cada una con tres variables: temperatura, tiempo y concentración osmótica de sacarosa. El diseño consta de tres variables de proceso: temperatura 40, 55, 70°C, concentración 30, 40 y 50 °Brix, tiempo de proceso 2, 4 y 6 hr.

Tabla 2. Diseño Experimental Box-Behnken

CORRIDA	°Brix	°C	HORAS
1	30	40	4
2	30	55	2
3	30	55	6
4	30	70	4
5	40	40	2
6	40	40	6
7-11	40	55	4
12	40	70	2
13	40	70	6
14	50	40	4
15	50	70	2
16	50	55	6
17	50	70	4

ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL

Determinación de Humedad

Se determinó por el método 934.01 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-083-S-1986

Determinación De Cenizas

Se determinó por incineración por el método 962.09 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-607-NORMEX-2002

Determinación De Lípidos

Se determinó por el método 920.85 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-615-NORMEX-2004

Determinación De Nitrógeno Proteico

Determinación de proteína cruda por método de Kjeldhal .Se determinó por el método 920.87 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-608- NORMEX-2002

Determinación De Fibra Cruda

Se determinó por el método 985.29 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-613-NORMEX-2003

Determinación De Solidos Solubles °Brix

Por medio del Refractómetro. Norma técnica de referencia NMX-F-103-1982

DESCRIPCIÓN GENERAL DEL PROCESO

Se utilizó como materia prima la fruta carambola (*Averrhoa carambola L*) adquirida en el mercado de San Juan ubicado en la ciudad de Morelia, Michoacán. La selección de la fruta fue visualmente tratando de escoger frutas uniformes, tanto en tamaño como grosor, y que tuvieran coloración uniforme y carente de imperfecciones. Se compraban lotes de 2 kilogramos para cubrir cuatro corridas acorde al diseño Box-Behnken.

Las frutas fueron lavadas con agua corriente y detergente líquido marca Salvo® y después se cortaron en trozos de un tamaño aproximado de 0.4 a 0.5 cm de grueso, el largo dependía de la fruta, aunque se procuró trabajar con frutas que tuviesen un tamaño muy parecido, el cual oscilaba entre 4.7 ± 2 mm de largo; y seguido de un proceso de escaldado con la finalidad de inactivar enzimas que pudieran afectar el color del producto, ya que se podrían presentar problemas de oscurecimiento enzimático. El proceso de escaldado se llevó a cabo colocando los trozos en agua purificada en ebullición durante 2 minutos.

Posteriormente los trozos de fruta fueron sumergidos en el jarabe de sacarosa e iniciando el proceso de deshidratación osmótica a las diferentes condiciones de proceso. Durante el tiempo de proceso se realizaron muestreos para determinar el contenido de humedad (Se determinó por el método 934.01 de la AOAC (1997). Norma técnica de referencia NMX-F-083-S-1986) el alimento a tiempos preestablecidos. Cuando el proceso se llevaba a 2 horas la toma de muestra se realizaba cada 30 minutos, cuando el proceso de deshidratación osmótica se llevaba a cabo durante 4 y 6 horas la toma de muestra se realizó cada hora.

Finalizado el proceso de deshidratación osmótica la carambola fue sometida a un proceso de deshidratación solar, y con el objetivo de disminuir aún más el contenido acuoso del alimento y con ello ser menos propenso a la descomposición y contaminación biológica.

La deshidratación solar consistió en someter a la carambola previamente deshidratada por ósmosis a un equipo de deshidratación solar fabricado en la Facultad de Químico Farmacobiología de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. El periodo de tiempo de dicha deshi-

dratación fue de 8 horas comenzando a las 9 am del día, y tomando lecturas de temperatura cada hora y muestreando cada dos horas para determinación de pérdida de humedad.

PREPARACIÓN DE LA SOLUCIÓN OSMÓTICA

Como agente osmótico se utilizó sacarosa, la cual fue adquirida en la tienda Bodega Aurrera de Morelia, Michoacán, México y se utilizó agua purificada para realizar las soluciones a las diferentes concentraciones: 50°Brix, 40°Brix y 30°Brix. Así, por ejemplo, para preparar el jarabe a 50°Brix, se colocan 250 g de sacarosa y 250 ml de agua y se procede a disolver la solución de sacarosa aplicando calor para lograr una homogeneidad del jarabe y se realizó la lectura correspondiente en el refractómetro para constatar la concentración de grados Brix deseada; así mismo para las demás concentraciones de jarabe a utilizar.

DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA (DO)

La deshidratación de los cortes de carambola se llevó a cabo por inmersión de 250 g de carambola, previamente cortado, en medio litro de jarabe en una olla de acero inoxidable y manejando una relación de carambola-jarabe de 1:2.

El tiempo del proceso de deshidratación era variable conforme los tres tiempos establecidos en nuestro diseño experimental. En toda parte del proceso se mantuvo una agitación constante con ayuda de un agitador de cristal, en intervalos de 3-4 veces por hora. Por otro lado, se mantuvo el volumen inicial constante por medio de la adición de agua purificada cada hora y media de proceso, y ajustando los grados Brix correspondientes y usando para ello un refractómetro.

Las temperaturas que se manejaron fueron de 40°C, 55°C, y 70°C, y manteniéndose constantes a $\pm 2^\circ\text{C}$ durante todo el proceso.

Durante el proceso completo de deshidratación osmótica en cada una de las distintas corridas que se llevaron a cabo se midió la pérdida de humedad en el alimento. Se tomaban muestras en intervalos de tiempo de 60, 180, 300, 420, 540, y 660 min; y tomando una muestra al inicio del experimento. Las muestras se escurrían y secaban con papel absorbente para quitar el exceso de jarabe; para después determinar la humedad en el alimento por el método de diferencial de peso.



Figura 5. Proceso de deshidratación osmótica en la fruta carambola

DESHIDRATACIÓN SOLAR

Después de finalizar el proceso de deshidratación osmótica se procedió a complementar el proceso de deshidratación con un secado al sol utilizando un deshidratador solar. Este consistía en colocar los trozos de muestra en el deshidratador y tomando muestras cada dos horas para determinar la pérdida de humedad. El tiempo total de experimentación fue de 8 horas. El experimento comenzó a las 9 am y terminó a las 5 pm y se realizó en día 11 de marzo de 2013.



Figura 6. Proceso de deshidratación solar en la muestras de carambola

ANÁLISIS SENSORIAL

Se montó un análisis sensorial para evaluar las características organolépticas del producto en cada una de las corridas de experimentación Box-Behnken. Se seleccionaron personas al azar que fungieron como panelistas inexpertos. El análisis sensorial se realizó mediante una prueba hedó-

nica con valoraciones de puntuación de 1 a 5, considerando al 5 como la calificación más alta. Los porcentajes de aceptación obtenidos fueron sometidos al diseño experimental Box- Behnken para determinar condiciones óptimas de proceso para continuar con el proceso de deshidratación solar.

También se realizó un análisis sensorial para las muestras de la deshidratación solar también se realizó análisis sensorial bajo las mismas condiciones de evaluación.



Figura 7. Muestras del análisis sensorial del diseño experimental Box- Behnken

6. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.1. ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL DE LA CARAMBOLA

Se realizó un análisis proximal a la fruta carambola (*Averrhoa carambola L*) en fresco y que se muestran en la Tabla 3; los cuales se compararon con lo reportado en bibliografía por Tello *et al.*, 2002, y se muestra en esta tabla en donde se puede observar la similitud en estos

Tabla 3. Análisis Químico Proximal de la fruta carambola

ANÁLISIS QUÍMICO PROXIMAL	CARAMBOLA	CARAMBOLA TEÓRICO. Tello <i>et al.</i> , 2002
Humedad	90.0	90.0
Proteína	0.20	0.28
Lípidos	0.10	0.08
Fibra Cruda	0.80	0.80
Carbohidratos	8.70	8.64
Cenizas	0.20	0.20

6.2. TRATAMIENTO BOX-BEHNKEN

Se utilizó un diseño experimental Box-Behnken, y el cual nos permitió realizar nuestra experimentación con mayor facilidad, ya que al utilizar este tipo de diseño se reduce el número de experimentos, y lo cual ayuda a reducir tiempo y costos.

El diseño manejó tres variables y cada una con tres condiciones: temperatura (40, 55 y 70°C), tiempo (2, 4 y 6 horas), y concentración osmótica (30, 40 y 50°Brix); y con cinco repeticiones en el punto central: 40 °Brix, 55°C y 4 horas. En la tabla 4 se muestra dicho diseño experimental donde se señala cada una de las corridas y las variables con las que se trabajó.

Tabla 4. Modelo experimental Box-Behnken

CORRIDA	° BRIX	°C	HORAS
1	30	40	4
2	30	55	2
3	30	55	6

4	30	70	4
5	40	40	2
6	40	40	6
7	40	55	4
8	40	55	4
9	40	55	4
10	40	55	4
11	40	55	4
12	40	70	2
13	40	70	6
14	50	40	4
15	50	70	2
16	50	55	6
17	50	70	4

6.3. DETERMINACIÓN DE HUMEDAD

En la tabla siguiente se muestra el contenido de humedad final obtenido en cada corrida del tratamiento global, y en la cual se observa que la corrida 16 presenta la menor humedad con respecto a las demás corridas, lo que nos indica que en las condiciones óptimas para tener la menor humedad son 50°Brix, 55° C, y 6 horas de tratamiento.

Usando el software Excel de Office se obtuvo un modelo matemático para cada corrida con respecto a la humedad final. Se tomaron muestras de humedad cada hora para cada corrida y se buscó el modelo matemático que mejor se ajustaba a los datos. Estos resultados también se presentan en la siguiente tabla. Se muestra también el valor de la R^2 . Se observa que este valor fue mayor a 0.96 en todos los casos e implicando con ello una muy alta correlación entre el modelo matemáticos y los valores del mismo. El valor de R^2 va de 0 a 1, y entre más cercano a 1, mejor el modelo matemático.

Tabla 5. Resultados de Humedad. Diseño Box-Behnken

Corrida	°Brix	°C	Horas	% Humedad	Ecuación	R^2
1	30	40	4	69.62	$y = 0.0005x^2 - 0.2133x + 90.986$	0.9606
2	30	55	2	71.10	$y = 0.0003x^2 - 0.1866x + 89.591$	0.9821
3	30	55	6	68.43	$y = 0.0002x^2 - 0.1146x + 87.856$	0.9608
4	30	70	4	69.73	$y = 0.0006x^2 - 0.2383x + 91.997$	0.9894
5	40	40	2	68.84	$y = 0.0011x^2 - 0.3011x + 89.996$	0.9971
6	40	40	6	59.75	$y = 0.0002x^2 - 0.1433x + 90.688$	0.9948
7	40	55	4	59.07	$y = 0.0004x^2 - 0.2249x + 89.820$	0.9884

8	40	55	4	58.50	$y = 0.0004x^2 - 0.2273x + 90.495$	0.9831
9	40	55	4	58.72	$y = 0.0003x^2 - 0.2102x + 90.773$	0.9799
10	40	55	4	53.48	$y = 0.0005x^2 - 0.2562x + 90.147$	0.9667
11	40	55	4	53.30	$y = 0.0002x^2 - 0.2097x + 91.166$	0.9938
12	40	70	2	59.67	$y = 0.0016x^2 - 0.4593x + 91.488$	0.9980
13	40	70	6	54.08	$y = 0.0003x^2 - 0.2491x + 91.468$	0.9963
14	50	40	4	54.24	$y = -5E-05x^2 - 0.1449x + 91.366$	0.9943
15	50	70	2	49.86	$y = 0.002x^2 - 0.5787x + 91.469$	0.9795
16	50	55	6	45.84	$y = 0.0005x^2 - 0.2745x + 88.02$	0.9682
17	50	70	4	48.29	$y = 0.0009x^2 - 0.3883x + 91.184$	0.9863

* Donde y = % de humedad, y x = tiempo en horas

6.4. ANÁLISIS SENSORIAL

Así mismo, se realizaron pruebas sensoriales a cada una de las corridas del diseño experimental Box-Behnken con el fin de determinar el grado de aceptación que pudiera tener la carambola deshidratada en base a las condiciones de nuestro diseño experimental.

Las pruebas sensoriales se realizaron usando un número de 10 panelistas no entrenados, y empleando una escala hedónica de 1 a 5 y evaluando de manera individual los atributos de color, olor, textura y sabor; y posteriormente se obtuvo un promedio de los mismos y reportado como 'Flavor'. A mayor Flavor, mayor aceptación.

A continuación se presentan los resultados individuales de color, olor, sabor y textura. Cabe señalar que la corrida C8 corresponde al promedio de las 5 pruebas del punto central de experimentación.

COLOR

En la Figura 9 se muestra el gráfico representativo del % de aceptación obtenido en cada una de los tratamientos del diseño Box-Behnken con respecto a la variable de color. Se observa que la corrida que obtuvo el porcentaje aceptación menor fue de 38 % y que corresponde a la corrida 13 y cuyas condiciones de operación fueron 40° Brix, 70°C y 6 h, y que contiene dos de las condiciones más altas de trabajo: temperatura y tiempo. Se puede inferir que la temperatura afecta directamente el color del producto terminado. Se puede observar que el % de aceptación mayor en el tratamiento Box-Behnken se encuentra en dos tratamientos con un 86% de aceptación esto en la variable de color, los cuales corresponden a las corridas 2 y 12 cuyas condiciones fueron 30° Brix, 55° C y 2h, 40° Brix, 70° C y 2h respectivamente a cada una de las corridas antes mencionadas, teniendo en común estas dos corridas la condición de tiempo por lo cual no se ve una afec-

tación en la variable del color, por dicha condición la aceptación no se afecta siendo esta mayor hacia los panelistas que realizaron la prueba sensorial.

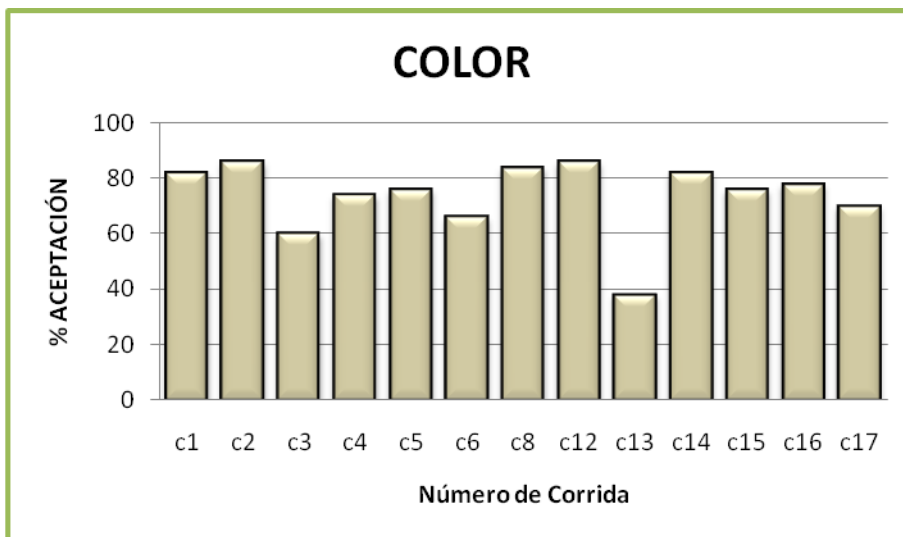


Figura 8. Diseño Box- Behnken. Variable Color.

OLOR

En la Figura 10 se muestra el % de aceptación del olor y que es una de las características organolépticas que forma parte de nuestro análisis sensorial. La corrida con mayor porcentaje de aceptación fue la C1 con 88%, y que corresponde a 30°Brix, 40° C, y 4 horas. Younet *al.*, (1996) comentan que el empleo de bajas temperaturas y elevadas concentraciones osmóticas favorecen la retención de ácidos orgánicos, compuestos volátiles y otros nutrientes. Esta investigación se encontró que trabajar a bajas temperaturas permite una mayor retención del olor.

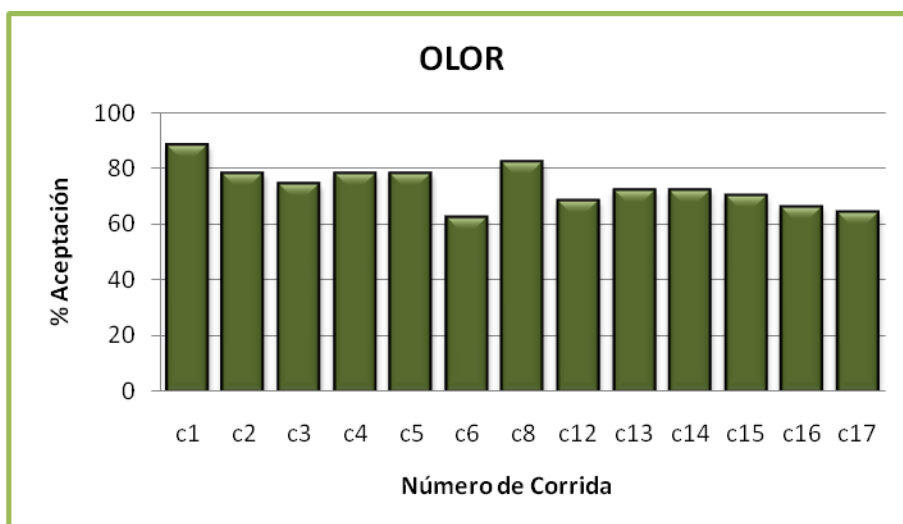


Figura 9. Diseño Box- Behnken. Variable Olor.

TEXTURA

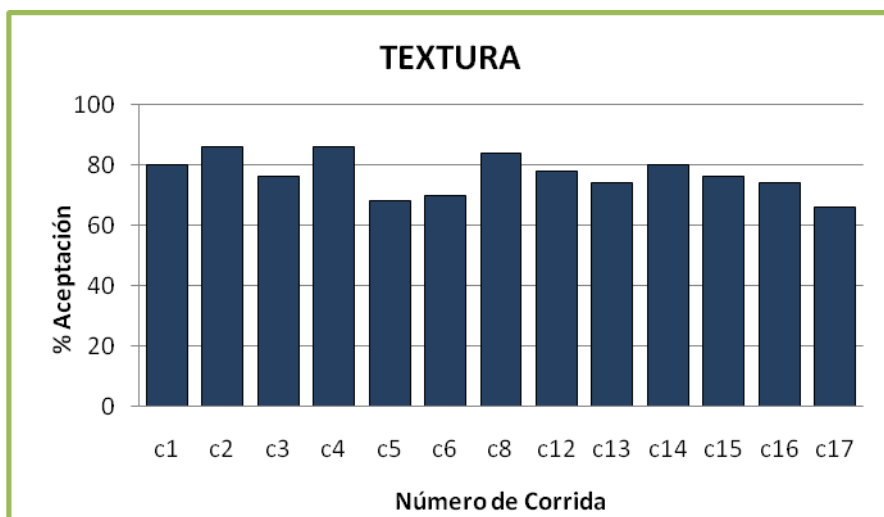


Figura 10. Diseño Box- Behnken. Variable Textura.

En el grafico 11 se muestra el porcentaje de aceptación para cada uno de los tratamientos en el diseño experimental Box-Behnken para la variable textura. Se observa que no hay diferencias tan marcadas como en los parámetros organolépticos de olor y color. Se puede observar que los porcentajes de aceptación se encuentran en un margen máximo de 86%, corridas C2 y C4, y el mínimo de 66 %, corrida 17. Esto se puede deber a que al tratar las muestras de carambola con el método de deshidratación osmótica hay una pérdida mínima de textura; ya que este método de conservación lo que se hace es mejorar y resaltar algunas características sensoriales como puede ser el caso de la textura.

SABOR

En el gráfico siguiente se representa el porcentaje de aceptación para el parámetro de sabor y se puede observar que al compararlo con los gráficos que representan las otras características sensoriales (color, olor, y textura) se encuentra un porcentaje muy alto de aceptación; y específicamente la C1 presenta 96 % de aceptación, y con condiciones de proceso de 30° Brix, 40°C y, 4 horas y que corresponden a las condiciones de proceso más bajas nuestra metodología de trabajo. Sin embargo la C13 presenta 56 % de aceptación, y que corresponden a las condiciones de tratamiento de 40° Brix, 70°C y 6 horas de proceso; siendo el menor porcentaje obtenido dentro del análisis sensorial en el parámetro de sabor. Pensamos que debido a que al ser tratado durante un tiempo prolongado y una alta temperatura se logra disminuir un gran contenido de agua perteneciente al alimento y simultáneamente se logra un mayor cambio de solutos que entran al alimento y que provocan que el sabor característico de la fruta carambola se vea afectada.

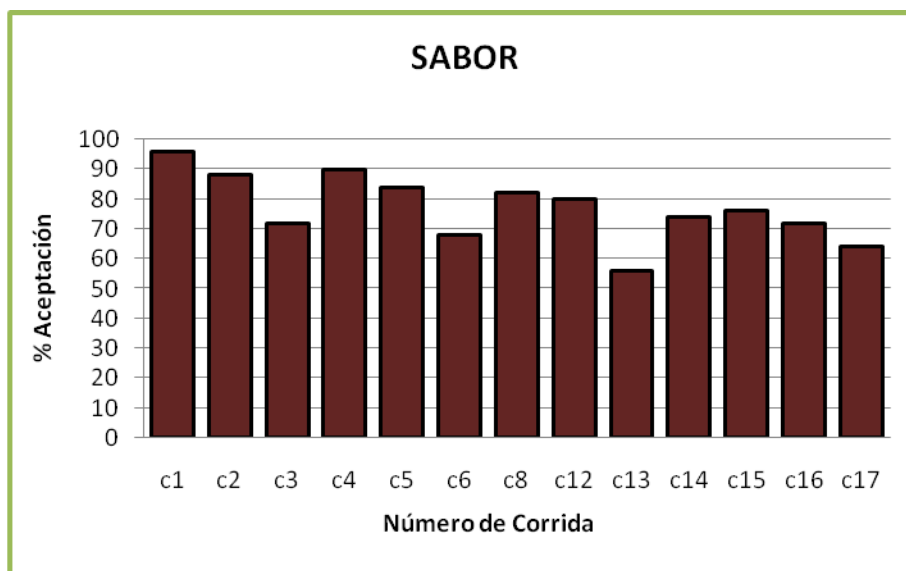


Figura 11. Diseño Box-Behnken. Variable Sabor.

FLAVOR

En la Figura 13 se muestra el porcentaje de aceptación global en las muestras de carambola tratadas a las diferentes condiciones de proceso bajo el diseño experimental Box-Behnken y reportado como Flavor. Éste se obtuvo de un promedio de las propiedades sensoriales de color, olor, sabor y textura. La obtención del flavor nos ayuda a saber la aceptación que puede tener nuestro producto al haberlo sometido al método de deshidratación osmótica frente a un grupo de panelistas inexpertos.

Se puede apreciar que la mayor aceptación se da en las condiciones centrales y bajas del diseño experimental, ya que en los tratamientos en que se utilizaron condiciones mayores el porcentaje de aceptación no es muy alto. Esto puede ser debido a que el tiempo de proceso y la temperatura afectan el color amarillo característico que tiene la fruta carambola, y por otro lado, a que el sabor se ve afectado, ya que la muestras obtiene un sabor muy dulce y ya no se percibe el sabor característico de la carambola; y quizá debido a la ganancia de solutos en el alimento.

Los tratamientos que obtuvieron mayor aceptación fueron C1 con 86.5 %, C2 con 84.5 % y el tratamiento de las corridas centrales, marcado como C8, y en el cual se obtuvo un 83.0 %.

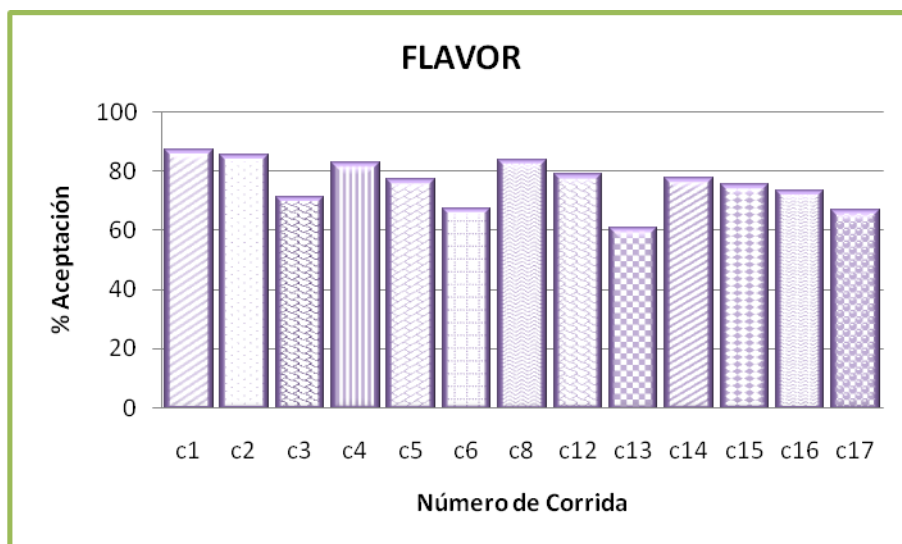


Figura 12. Diseño Box-Behnken. Flavor.

En la tabla siguiente se muestra un resumen de los datos del análisis sensorial.

Tabla 6. Análisis Sensorial. Diseño Box-Behnken

Corrida	°Brix	°C	Horas	Color	Olor	Textura	Sabor	Flavor
1	30	40	4	82	88	80	96	86.5
2	30	55	2	86	78	86	88	84.5
3	30	55	6	60	74	76	72	70.5
4	30	70	4	74	78	86	90	82.0
5	40	40	2	76	78	68	84	76.5
6	40	40	6	66	62	70	68	66.5
7	40	55	4	84	82	84	82	83.0
8	40	55	4	78	76	86	88	82.0
9	40	55	4	78	76	78	88	80.0
10	40	55	4	81	81	80	82	81.0
11	40	55	4	80	79	80	79	79.0
12	40	70	2	86	68	78	80	78.0
13	40	70	6	38	72	74	56	60.0
14	50	40	4	82	72	80	74	77.0
15	50	70	2	76	70	76	76	74.5
16	50	55	6	78	66	74	72	72.5
17	50	70	4	70	64	66	64	66.0

6.5. ANÁLISIS ESTADÍSTICO DEL DISEÑO BOX-BEHNKEN

Se realizó el análisis estadístico de los resultados con el software Desig-Expert 7 (2005) de Stat-Ease Corporation, Minneapolis, Estados Unidos.

Se evaluaron de manera conjunta las características de Flavor y Humedad y nos dio como resultado que las condiciones óptimas de proceso serían 53°C, 50°Brix y 4 h; y considerando como primer punto el flavor y después la humedad y jerarquizando los resultados por temperatura, tiempo y concentración, ya que nosotros consideramos que industrialmente el punto más caro sería el uso de la sacarosa, por los altos costos de la misma.

Así mismo se obtuvo una ecuación general para determinar humedad final y otra para el flavor y basado en los datos de cada una de las 17 corridas experimentales.

FLAVOR

El estudio se realizó mediante un análisis estadístico tipo Modelo de Superficie de Respuesta cuadrática ANOVA. Nuestro sistema estadístico estuvo conformado por 17 corridas de experimentación con un punto central de 5 repeticiones, y obteniendo una ecuación predictiva del comportamiento de la cinética de deshidratación osmótica en cada uno de los casos de las 17 corridas de experimentación entre las variables: °Brix (SS); Tiempo (θ); Temperatura (T), diferencial del producto y cuadrado de cada variable.

En nuestro análisis estadístico encontramos un valor $P=0.0072$ de significancia, lo cual quiere decir que nuestro diseño experimental presenta una alta confiabilidad estadística no determinada por el azar. Afirmando que el proceso de deshidratación osmótica que hemos estudiado tiene 99.28 % de confiabilidad en los resultados obtenidos en cada una de las 17 pruebas que se corrieron y solo acepta un 0.72 % como margen de error. Así mismo, el valor de correlación cuadrada fue de 0.9062.

Ecuación General Flavor:

$$\text{Flavor} = 44.2777 + 2.5611T + 7.4166\theta - 1.4750B - 0.6666T\theta - 0.0100TB + 0.1500\theta B - 0.0188T^2 - 1.5625\theta^2 + 0.0125B^2$$

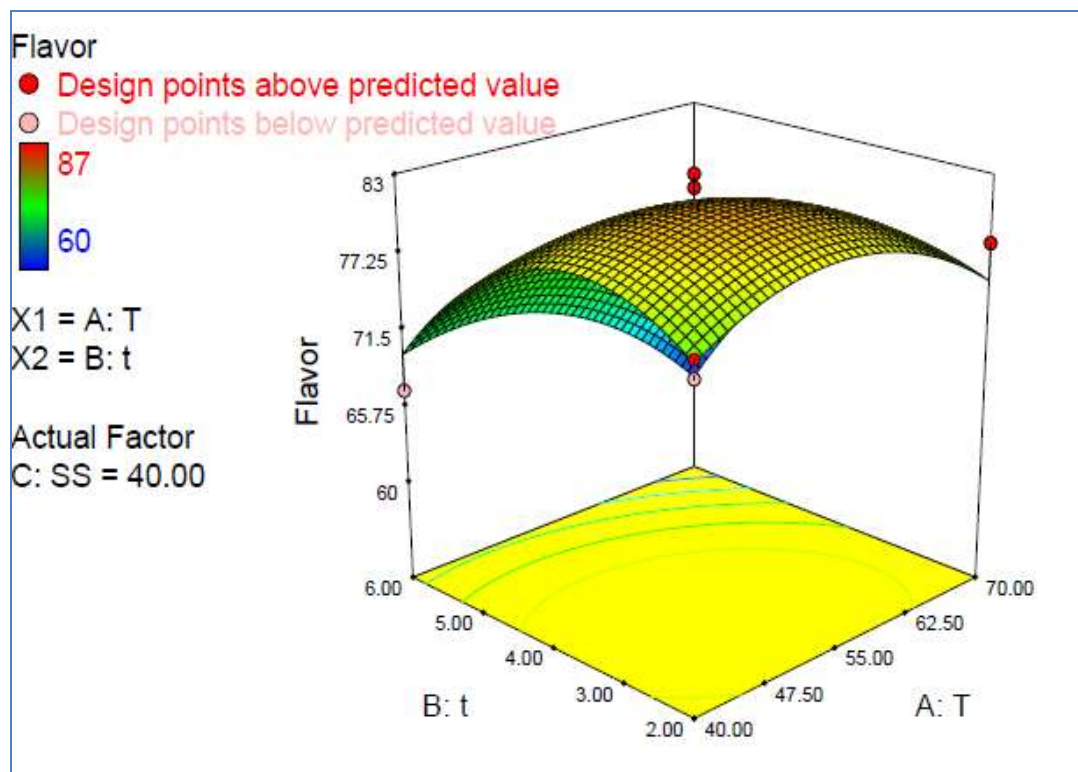


Figura 13. Análisis Estadístico. Flavor. °Brix y Temperatura.

% HUMEDAD

Al igual que en el análisis de flavor se realizó un análisis estadístico de Modelo de Superficie de Respuesta cuadrática ANOVA para el porcentaje de humedad, la cual se determinó a cada una de las muestras que comprenden el diseño experimental Box-Behnken.

En el análisis estadístico encontramos un valor de $P=0.0080$ de significancia, lo cual quiere decir que nuestro diseño experimental presenta una alta confiabilidad estadística no determinada por el azar. Afirmando que el proceso de deshidratación osmótica que hemos estudiado tiene 99.20 % de confiabilidad en los resultados obtenidos para cada una de las 17 pruebas que se corrieron y solo acepta un 0.8 % como margen de error. Así mismo se obtuvo una R^2 de 0.9031.

Ecuación General de % de Humedad:

$$\begin{aligned} \text{\% de Humedad} = & 140.1411 - 0.4862T + 1.2866\theta - 2.0995B - 0.0466T\theta - 0.01TB - 0.00175\theta B \\ & + 0.007511T^2 + 0.01\theta^2 + 0.0214B^2 \end{aligned}$$

Design-Expert® Software

Humedad

● Design points above predicted value

○ Design points below predicted value

71.1

45.1

X1 = A: T

X2 = B: t

Actual Factor

C: SS = 40.00

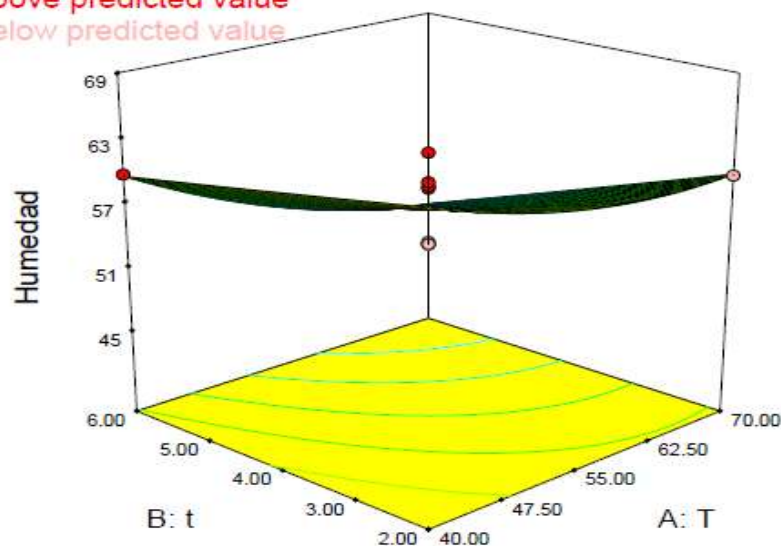


Figura 14. % de Humedad. °Brix y Temperatura.

6.6. CONDICIONES ÓPTIMAS DE PROCESO

El análisis conjunto de la pérdida de Humedad y la de flavor nos permitió encontrar las condiciones óptimas de procesamiento. Este estudio estadístico se basó en obtener el mayor valor del Flavor y el menor valor del % de Humedad.

Al realizar el análisis estadístico del diseño experimental Box-Behnken, en el cual se evaluaron las características de flavor y humedad, dio como condiciones óptimas de proceso: 53°C, 50°Brix y 4 h.

Acorde a estas condiciones óptimas el valor teórico de humedad debería ser de 49.3%.

Se realizó posteriormente una prueba de deshidratación osmótica usando las condiciones óptimas de proceso arrojadas por el software Desig-Expert 7 y nos dio un valor experimental de 49.5%. Esto implica que el valor teórico y el valor experimental no presentaron diferencia significativa, ya que el error experimental fue de tan solo 0.2%.

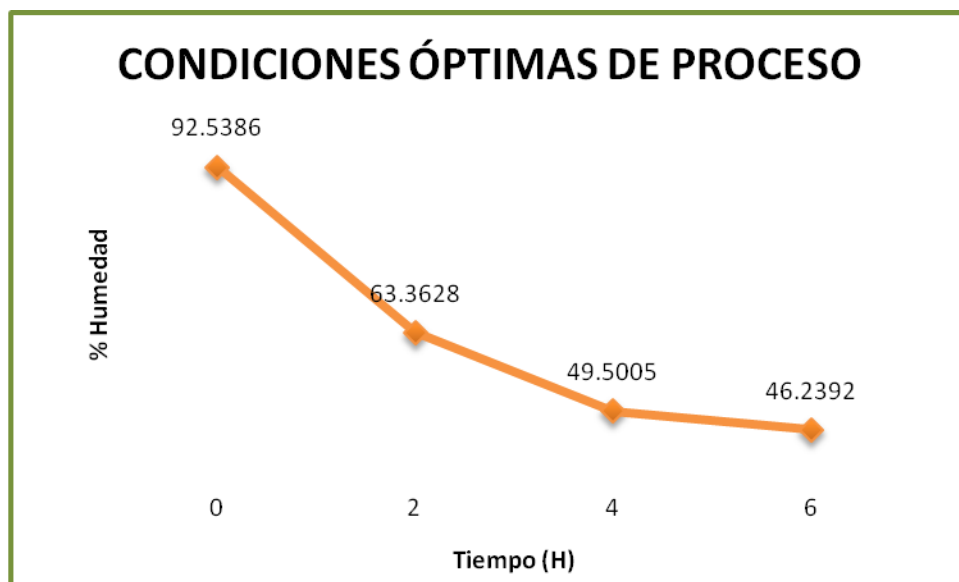


Figura 15. % Pérdida Humedad Experimental. Condiciones Óptimas. 53° C, 50°Brix, 4h.

6.7. DESHIDRATACIÓN SOLAR

Posterior a la deshidratación osmótica se realizó una deshidratación solar de la fruta carambola, y en la cual se determinó el porcentaje de humedad en periodos de tiempo de 2, 4, 6, y 8 horas.

En la Tabla 7 se muestra la humedad final en los tiempos de exposición, lo cual se realizó durante tres días de proceso con el fin de observar las variables que se pudieran presentar durante el procedimiento de deshidratación solar. Este proceso se realiza a la temperatura que obtenga en el deshidratador solar, y que depende del clima que registre durante el proceso, ya que la temperatura alcanzada por el deshidratador solar depende directamente de las condiciones climáticas que se presenten durante los días de proceso, los cuales se llevó a cabo los días 16,17,18 de enero de 2013 .

Tabla 7.Humedad Final. Deshidratación Solar.

TIEMPO EXPOSICIÓN (horas)	DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	PROMEDIO
0	49.36	45.90	41.49	45.58
2	42.40	40.88	37.90	40.39
4	22.73	21.67	17.59	20.66
6	10.66	11.46	8.20	10.11
8	8.31	8.08	6.48	7.62

En la Figura 17 se muestra el gráfico representativo de la pérdida de humedad obtenida durante el proceso de deshidratación solar en las rebanadas de la muestra carambola, y la cual tuvo un tratamiento previo, mediante deshidratación osmótica. Siendo la deshidratación solar una forma complementaria del proceso de secado

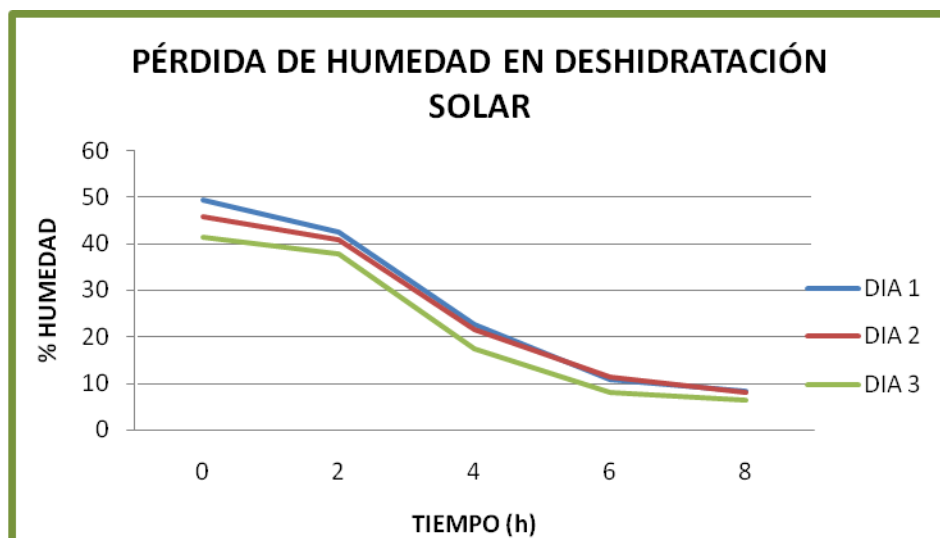


Figura 16. % Pérdida de Humedad. Deshidratación Solar Pre-tratada Osmóticamente.

Se puede apreciar en la Figura 17 que la pérdida de humedad fue muy parecida en los días 1 y 2. Esto es porque la deshidratación solar depende directamente de las condiciones climatológicas y éstas no son constantes.

6.8. ANÁLISIS SENSORIAL EN LA DESHIDRATACIÓN SOLAR

Se realizó un análisis sensorial a las muestras de carambola tratada por el método solar, previa deshidratación osmótica, y en el cual se buscaba obtener las condiciones óptimas de proceso mediante un grupo de panelistas.

Se realizaron pruebas de color, olor, sabor y textura y reportadas como flavor, el cual se obtuvo mediante el promedio de dichas pruebas sensoriales. Los resultados se presentan en la siguiente figura. Además, se realizó un análisis estadístico y se encontró que no había diferencia significativa mayor a 0.05, ya que los porcentajes de aceptación son muy parecidos; sin embargo, se observa que la mayor aceptación se da a las 2 horas en el deshidratador solar y obteniendo un valor de 78% en aceptación vía Flavor. Utilizando la prueba estadística

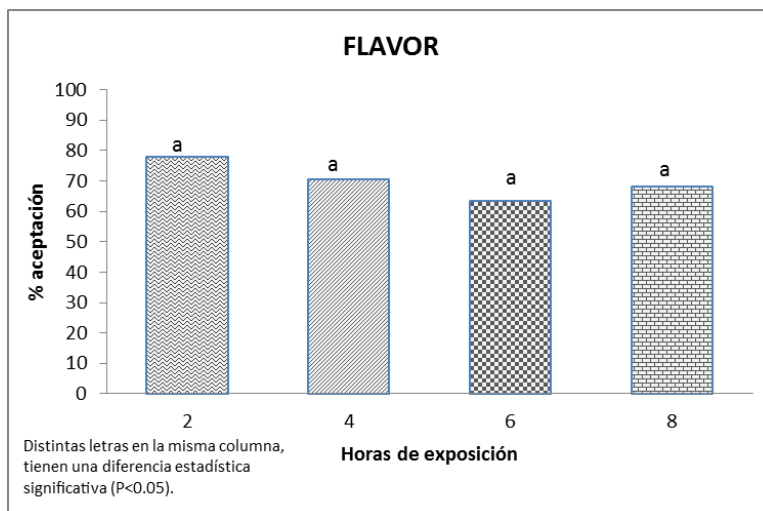


Figura 17. Flavor en Carambola Deshidratación Osmótica más Deshidratación Solar.

6.9. ANÁLISIS BROMATOLÓGICO DE DO Y DS

En la Tabla 8 se presenta la composición química de la fruta carambola y en la cual también se muestra la composición de la carambola tratada por los dos métodos: deshidratación osmótica y deshidratación solar. Cada valor representa la media de 3 repeticiones y el cálculo de los carbohidratos se obtuvo por diferencia. Distintas letras en la misma fila implican diferencia estadística significativa ($P < 0.05$).

Se observa que el agua es el componente mayoritario en la carambola fresca, 90 %, por lo cual al someter a la fruta a un método de reducción en su contenido acuoso se puede aumentar su vida de anaquel. También se puede observar que el contenido de carbohidratos aumenta, y esto porque al someter a la fruta al tratamiento de DO ocurre un intercambio de sólidos solubles dentro de la fruta y con ello aumenta su contenido de carbohidratos porque usamos sacarosa como agente osmótico.

Tabla 8. Análisis Proximal Carambola. Tratamiento Osmótico y Solar

	CARAMBOLA EN FRESCO	CARAMBOLA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA	CARAMBOLA DESHIDRATACIÓN SOLAR
Humedad	90.0 ^a	49.59 ^b	34.24 ^c
Proteína	0.20 ^c	0.79 ^b	1.24 ^a
Lípidos	0.10 ^b	0.31 ^a	0.27 ^a
Fibra Cruda	0.80 ^c	1.44 ^b	2.05 ^a
Carbohidratos ⁽³⁾	8.70 ^c	47.52 ^b	61.73 ^a
Cenizas	0.20 ^c	0.35 ^b	0.47 ^a

7. CONCLUSIONES

La deshidratación osmótica es una técnica con cual se reduce el contenido de agua de un alimento y puede ser aplicada a la fruta carambola. Al realizar el proceso de deshidratación osmótica con la utilización de sacarosa como nuestro agente osmóticos se obtuvieron buenos resultados con la perdida de humedad y con la aceptación frente a un grupo de panelistas inexpertos.

El proceso de deshidratación osmótica se realizó mediante un diseño experimental Box-Behnken con tres variables y tres condiciones: temperatura (40, 55, 70°C), tiempo (2, 4, 6 horas), y concentración osmótica (30, 40 y 50 °Brix). Se utilizó un software estadístico para el análisis de resultados y se obtuvieron las condiciones óptimas de proceso: 50 °Brix, 53°C, y 4 h. Este modelo predice que la humedad final sería de 49.5%. Se realizó la corrida experimental para tales condiciones y la humedad experimental fue de 49.3%.

El producto terminado de la deshidratación osmótica fue sometido a un proceso de deshidratación solar. La temperatura del deshidratador osciló entre 18 y 68°C, y mediante un análisis sensorial se determinó que el tiempo óptimo de proceso es de 2 horas y con una humedad final del 36.5%. Se obtuvieron resultados favorables en la aceptación como producto deshidratado frente de un grupo de panelistas no entrenados.

Los métodos de deshidratación osmótica y solar son una buena opción para la elaboración de un nuevo producto: fruta carambola deshidratada, y con lo cual se ayudaría al consumo de productos a base de frutas naturales y que no tienen conservadores artificiales, ya que la deshidratación es un método de conservación para reducir el contenido de agua y aumentar su vida de anaquel.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. Alzamora, S.M., Salvatori, D., Tapia, M.S., López -Malo, A., Wwelti-Chanes, J., Fito, P. (2005). Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *Journal of Food Engineering*. Vol. 67, page. 1-2, 205-214.
2. Andrés Grau A. M; Fito Maupoey P; Barat Baviera J M; AlborsSololla A. M. (2001). Introducción al Secado de Alimentos por Aire Caliente. Editorial Universidad Politécnica de Valencia. Valencia España.
3. Badui Dergal S. (2011) La Ciencia de los Alimentos en la Práctica. México, Editorial PEARSON. Pág. 121-144
4. Barat de Calvalho. Tesis. (2012) Textura de Snacks Crujientes Culinarios. Universidad de Extremadura. Departamento de producción animal y ciencia de los alimentos.
5. Barat, J. M., A. Chirat; P. Fito. (2001) Efecto de la concentración osmótica solución, temperatura, vacío y pre-tratamiento de impregnación sobre la cinética de osmóticos de rodajas de manzana. *Ciencia y Tecnología de Alimentación*. Vol. 7(5), pág. 451-456.
6. Barbosa G; Vega H. (2000) Deshidratación de Alimentos, Editorial Acribia S.A, Zaragoza España. Págs. 27- 35, 130 – 135.
7. Bello Gutiérrez J. (2000) Ciencias Bromatológicas. Principios Generales. Ediciones Díaz de Santos. S.A. Madrid España. Pág. 389
8. Bernal Jorge A; Tamayo Álvaro V, Lodoño Mauricio B; Hincapié Manuel. (2001). Frutales de Clima Cálido, CORPOICA, Cartilla Divulgativa
9. Cambell Neila A; Reece Jane B; Molles Manuel; Urry Lisa (2007) Biología. Séptima edición, Editorial Medica Panamericana. Madrid España.
10. Cañizares Adolfo; Bonafineosmileth; Laverde Dierman. (2006) Deshidratación de productos vegetales, centro de investigaciones Agrícolas del estado Monagas.
11. Chávez C. (2001). Comunicación personal. Campo Experimental Valle de Apatzingán.
12. Corpoica. Corporación colombiana de Investigación Agropecuaria; región 6 Tolima, Huila, Suroccidente de Cundinamarca. (2006) Deshidratación de frutas, métodos y posibilidades. Pág. 8
13. Cruz Fernández M, De la Garza Núñez J. Audón. (2006) La carambola, frutal con perspectivas de producción para la huasteca potosina. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias.
14. Cuéllar Alba N; Durán Ramírez F. (2008) Ciencia y Tecnología e Industria de Alimentos. Editorial Grupo Latino E.D.I.T.O.R.E.S. Bogotá Colombia pág. 91, 94, 98, 103, 107, 237.
15. Della Rocca Patricia. Tesis. (2009) Secado De Alimentos Por Métodos Combinados: Deshidratación Osmótica Y Secado Por Microondas Y Aire Caliente. Buenos Aires, Argentina.

16. Farkas D., Lazar M. (1969) Deshidratación Osmótica de Trozos de Manzana: Efecto de la Temperatura y la Concentración de Jarabe sobre las tarifas, Tecnología de los Alimentos, 23 (5), 688- 690.
17. Garda M. R. (2006) Técnicas del manejo de los alimentos. Editorial universitaria de Buenos Aires Sociedad de Economía Mixta. Buenos Aires, Argentina
18. Genina Soto Próspero.(2002) Deshidratación Osmótica: alternativa para conservación de frutas tropicales. Departamento de Biotecnología y Bioingeniería del Cinvestav, vol. 21: pág.301, 302
19. Hawkes J; Flink J. (1978) Deshidratación Osmótica Concentración de Frutas Rebanadas Antes De Congelar. J. FoodProc. Preserv, vol. 2, pág. 265-284
20. Islam M;Flink J. (1982) La Deshidratación de la Papa II. Concentración Osmótica y su Comportamiento de Secado de Aire. Revista de Tecnología de los Alimentos, vol. 17, pág. 387-403.
21. Jara N.L.(1997) La temperatura secado, procesamiento y almacenamiento de semillas forestales. Dinamarca. Ed técturiaba. C.R pp. 22
22. Kuehl, R. O. (2001) Diseño de Experimentos. Principios estadísticos para el diseño y análisis de investigaciones. Thompson Learning.
23. Lazarides, H.N., Katsanidis, E., Nickolaidis, A. (1995) Transferencia de masa durante osmótica pre-concentración durante la captación sólida mínima. Revista FoodEngineering, vol. 25, pág. 151-166.
24. Lenart A. y Flink J. (1984) Concentración osmótica de la papa. I. Criterios para el punto final del proceso de osmosis. Revista FoodTechnology, vol. 19, pág. 45-63
25. Lerici C; PinnavaiaG; Rosa M.D; Bartolucci L. (1985) La deshidratación osmótica de frutas: influencia del agente osmótico en el comportamiento y la calidad del producto secado, Revista Ciencia de los Alimentos, vol. 50: 1217-1219.
26. Machauca Cordova Santiago; Suca Apaza Fernando. (2009) Deshidratación osmótica de frutas. VI JUNIN 2. Perú
27. Martínez Navarro B, E. (2011) TESIS. Análisis bromatológico del carambolo (*Averrhoa carambola* L.) y determinación de su capacidad antioxidante. Universidad Veracruzana Facultad De Ciencias Químicas Ingeniería Química. Orizaba, Ver.
28. Marín Rodríguez Zoila Rosa, Elementos de Nutrición Humana, pág. 275.
29. Melchor Fernanda. (2006) Deshidratación osmótica, mejor opción para la conservación de alimentos. Gaceta Universidad Veracruzana. Revista Nueva Época No 97. Jalapa, Veracruz, México
30. Moy J; Lau N; Dollar A. (1978) Efectos de sacarosa y ácidos en la deshidratación osmótica de frutas tropicales. Revista preservación y protección de alimentos. Vol. 2, pág. 131

31. Orduz R Javier Orlando; Rangel M, Jorge Alberto. (2002) frutales tropicales potenciales para el piedemonte llanero, PRODUMEDIOS, pág. 72,73
32. Pérez Barraza Ma. Hilda; Vázquez Valdivia Víctor. (2004) Carambolo (*Averrhoa carambola* L) su cultivo y producción en Nayarit. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y pecuarias. Santiago Ixcuintla, Nayarit, México.
33. Pérez Cabrera Laura Eugenia. Tesis. (2003) Aplicación de Métodos Combinados para el Control del Desarrollo del Pardeamiento Enzimático en Pera (Variedad Blanquilla) Mínimamente Procesada. Valencia España. Universidad Politécnica de Valencia, Departamento de Tecnología de Alimentos
34. Pointing J. D; Watters G. G; Forrey R. R., Jackson, R; Stanley, W. L. (1996) Deshidratación osmótica de frutas, Revista Tecnología de los Alimentos. Vol. 20, pág. 125.
35. Rahman, M.S; Sablani, S.S; Al-Ibrahim M.A. (2001) La Deshidratación Osmótica De La Cítrica De Equilibrio De Patata. Tecnología De Secado. Vol. 19 (6), pág. 1163-1176.
36. Rastogi N., Raghavarao K., Niranjan K. Y Knorr D. (2002) Los acontecimientos recientes en la deshidratación osmótica: métodos para mejorar la transferencia de masa, Revista Tendencias en Ciencia y Tecnología de los Alimentos, vol. 13, pág. 48-59
37. Rodríguez, M.I. (1998) Estudio de la penetración de microorganismos en frutas mediante el modelo hidrodinámico, Tesis, Instituto de Ciencia y Tecnología de Alimentos, Universidad Central de Venezuela.
38. SAGARPA. Pequeños productores. Grandes negocios. El potencial económico de los productos Agropecuarios Comercialmente no Tradicionales de México. Diciembre de 1997; Memorias de la primera exposición nacional: pág. 295-304
39. Siap, SAGARPA, cierre de producción 2011; disponible en URL: www.siap.gob.mx fecha de consulta 30 de noviembre de 2012
40. Spiazzi A, Edgardo; Mascheroni H, Rodolfo. (2001) Modelo De Deshidratación Osmótica De Alimentos Vegetales, CIDCA (Centro de Investigación y Desarrollo en Criotecnología de Alimentos), Serie A, 4; vol. 21 321: pág. 23
41. Tello Orlando; García Ricardo; Vásquez Oscar. (2002) Conservación de *Averrhoa carambola* L "carambola" por azúcar y calor. Facultad de Ingeniería en Industrias Alimentarias de la UNAP, Iquitos, Perú. Revista Amazónica de Investigación Alimentaria, v.2, n° 1, pág. 49- 58
42. Torreggiani D. (1993) Deshidratación osmótica en el procesamiento de frutas y hortalizas. Investigación Internacional de alimentos, vol. 26, pág. 59-68.
43. Wais N; Agnelli M. E; Mascheroni, R. H. (2005) Deshidratación Osmótica y Combinación de Secado por Microondas: Aplicación en Cubos de Manzana, 2ª Congreso Mercosur en Química, ENPROMER, Brasil.
44. Youn K. S; Lee J. H; Choi Y. H; (1996) Cambios de azúcar y ácido orgánico en el proceso de deshidratación osmótica de manzanas. *Korean Journal of Food Science*, 28(6): 1095-1103

45.