ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción

"Diseño del Proceso de Obtención de Trozos Secos de Carambola *(Averroha carambola L.)* Tratados Osmóticamente.*"*

TESIS DE GRADO

Previo a la obtención del Título de:

INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

María Eugenia Castillo Ortíz

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2007

A G R A D E C I M I E N T O

A la M.Sc. Fabiola Cornejo, mi Directora de Tesis, quién con su valiosa guía contribuyó a la culminación satisfactoria de este trabajo. A la Ing. Sandra Acosta e Ing. José R. Webster, mis vocales, por sus sabios consejos. Y a todos quienes colaboraron en la realización de este trabajo.

D E D I C A T O R I A

A Dios quien guía mis actos y me ayuda a mejorar día a día.

A mis padres, Eugenio e Isabel, quienes son mi inspiración y por quienes he podido culminar mis metas propuestas.

A mis hermanas, Mari y Diana, quienes me apoyan en todo y con las que he logrado salir adelante.

A mi familia y amigos quienes forman parte de mi vida.

A todas las personas que quiero y que ya no están presentes.

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

_____	_____
Ing. Luis Miranda S. DELEGADO POR EL DECANO DE LA FIMCP PRESIDENTE	Msc. Fabiola Cornejo Z. DIRECTOR DE TESIS
_____	_____
Ing. José Rodríguez W. VOCAL	Ing. Sandra Acosta D. VOCAL

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido de esta Tesis de Grado, me corresponden exclusivamente; y el patrimonio intelectual de la misma a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL"

(Reglamento de Graduación de la ESPOL.)

_____

María Eugenia Castillo Ortiz

RESUMEN

La carambola *(Averroha carambola L.)* es una de las frutas exóticas con un alto valor nutricional; aportando con oxalato de calcio, Vitamina C, fibra soluble, potasio entre otros nutrientes necesarios en el metabolismo humano. En el Ecuador esta fruta es poco conocida, “a pesar de que internacionalmente es muy apetecida por su apariencia, sabor y aroma”. Por lo tanto, es importante desarrollar procesos tecnológicos que introduzcan a esta fruta como fuente nutricional en la alimentación ecuatoriana. El presente trabajo consiste en diseñar el proceso de obtención de trozos secos de carambola tratados osmóticamente.

En la primera parte se caracterizará la carambola a fin de obtener las características físico – químicas y sensoriales que debe poseer previo a los procesos de deshidratación osmótica y secado. Por otro lado, se especificará la solución osmótica con la que se trabajará. Se elaborarán isotermas de absorción para evaluar la relación entre la actividad de agua (a_w) y el contenido de humedad en la estabilidad del producto seco.

Además, se evaluará el comportamiento de los trozos de carambola durante la deshidratación osmótica, estudiando la cinética de DO (deshidratación osmótica) a través de parámetros como: pérdida de peso, ganancia de sólidos y pérdida de agua definiendo de esta manera el tiempo de DO y la concentración de solución osmótica apropiada para el secado posterior. Ulteriormente se determinará la velocidad de secado con el objetivo de definir el tiempo de secado en el proceso industrial. Una vez obtenido el producto seco, se realizarán análisis físico – químicos y sensoriales con el objetivo de conocer las características finales del producto y la aceptabilidad del mismo. Adicionalmente, se determinará el tiempo de vida útil del producto.

Con los resultados obtenidos en las pruebas y análisis mencionados se diseñará la línea proceso, estableciendo la capacidad de producción acorde con la disponibilidad de materia prima en el Ecuador. Así mismo se establecerá el diagrama de flujo para el proceso, los equipos necesarios con sus capacidades y se elaborará el lay out respectivo de la línea de producción propuesta. Finalmente con la información recopilada se realizará un análisis de la inversión que conlleva esta línea de producción para futuros desarrollos a nivel industrial.

De esta manera se busca darle valor agregado a frutas no tradicionales de nuestro país, abriendo así caminos para la inversión nacional y frenar la importación de productos que nuestro país es capaz de producir.

ÍNDICE GENERAL

Pág.

RESUMEN.....II

ÍNDICE GENERAL.....III

ABREVIATURAS.....IV

SIMBOLOGÍA.....V

ÍNDICE DE FIGURAS.....VI

ÍNDICE DE TABLAS.....VII

INTRODUCCIÓN.....1

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.....3

1.1 Materia prima.....3

1.2 Deshidratación Osmótica.....9

1.3 Secado Convencional.....15

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS.....21

2.1 Materiales.....21

2.1.1 Materia Prima.....21

2.1.2 Soluciones Osmóticas.....24

2.2 Métodos.....25

2.2.1 Isotermas de Absorción.....25

2.2.2 Deshidratación Osmótica.....32

2.2.3 Secado.....41

2.2.4 Análisis Físico – Químicos.....48

2.2.5 Análisis Sensoriales.....51

2.2.6 Estudio de Estabilidad de trozos secos de carambola.....52

CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.....58

Isotermas de Absorción.....58

Cinética de Deshidratación Osmótica.....64

Determinación de la Velocidad de Secado.....75

Análisis Físico – Químico.....82

Análisis Sensorial.....83

Determinación del tiempo de vida útil.....86

CAPÍTULO 4.

4. DISEÑO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE TROZOS SECOS DE CARAMBOLA TRATADOS OSMÓTICAMENTE.....90

4.1 Capacidad de producción.....90

4.2 Diagrama de Flujo.....91

4.3 Equipos y Capacidades.....93

4.4 Lay out de la línea de producción.....132

4.5 Costos de inversión de la línea de producción.....134

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....136

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

BET	Brunauer- Emmett- Teller
% bh	Porcentaje en base húmeda
CEDEGE	Comisión de Estudios para el Desarrollo de la Cuenca del Río Guayas.
cm	Centímetros
ºC	Grados centígrados
DO	Deshidratación osmótica
FIMCP	Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la Producción
ft^3 /min	Pie cúbico por minuto
g	Gramos
g H_2O/100 g ss	Gramos de agua por 100 gramos de sólido seco
GAB	Guggenheim – Anderson – de Boer
h	Horas
hp	Caballos de potencia
hz	Hertz
HR	Humedad Relativa
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
kCal	Kilocalorías
kg	Kilogramo
km	Kilómetro
kW	Kilowatts
kg/h	Kilogramo por hora
kg/hm^2	Kilogramo por hora por metro cuadrado
kg/m^3	Kilogramo por metro cúbico
kJ/kgºC	Kilojoules por kilogramo por grado centígrado
kJ/mºCs	Kiljoules por grado centígrado por segundo
kg/mºCs	Kilogramo por metro por grado centígrado por segundo
kg/ms	Kilogramo por metro por segundo
m	Metros
m^2	Metros cuadrados
m^3	Metros cúbicos
min	Minutos
mm	Milímetros
mmHg	Milímetros de mercurio
m/h	Metros por hora

m/s	Metros por segundo
MAG	Ministerio de Agricultura y Ganadería
N	Normalidad
NAOH	Hidróxido de Sodio
Nº	Número
pH	Potencial de hidrógeno
rpm	Revolución por minuto
s	Segundos
SO_2	Dióxido de Azufre
t	Tiempo
T	Temperatura
Ton.	Toneladas
V	Voltios

SIMBOLOGÍA

a_w	Actividad de agua
%	Porcentaje
ºBrix	Grados Brix
π	Pi
θ	Tiempo
$	Dólares
b	Espacio entre bandejas
Cs	Calor húmedo promedio
Ec.	Ecuación
G	Flujo de aire seco
H_2O	Agua
k/x	Permeabilidad a la transmisión de agua
K_{SG}	Coeficiente de difusión de sólidos
K_W	Coeficiente de difusión de agua
L_t	Longitud de las bandejas del secador
ΔM_W	Porcentaje de pérdida de agua
ΔMs	Porcentaje de ganancia de sólidos
T_T	Tiempo total de secado
tc	Tiempo de secado para el período de velocidad constante
tp	Tiempo de secado para el período de velocidad decreciente
x1	Profundidad de las bandejas

ÍNDICE DE FIGURAS

Pág.

Figura 1.1 Regionalización de la carambola en el Ecuador..... 7
Figura 1.2 Parcela de cultivo de carambola..... 9
Figura 1.3 Secadero de bandejas..... ...16
Figura 1.4 Principio de operación del secador combinado "Túnel de extracción central"..... ...18
Figura 2.1 Medición de carambolas en estados sucesivos de maduración.....22
Figura 2.2 Tipos de isotermas de adsorción..... ...26
Figura 2.3 Método isopiéstico aplicado para la construcción de isotermas de adsorción.....28
Figura 2.4 Preparación de carambolas para el proceso osmótico..... ...33
Figura 2.5 Deshidratación osmótica de muestras de carambola.....34
Figura 2.6 Diagrama del proceso de deshidratación osmótica de carambolas..... 35
Figura 2.7 Trozos secos de carambola..... ...45
Figura 2.8 Esquema del proceso experimental de secado.....45
Figura 2.9 Sistema experimental utilizado para el estudio de vida útil.....55
Figura 3.1 Isoterma de sorción de carambolas (materia prima).....59
Figura 3.2 Isoterma de sorción producto final..... 59
Figura 3.3 Isoterma de adsorción y desorción para materia prima y Producto final obtenido.....61
Figura 3.4 Pérdida de agua en los experimentos a diferentes concentraciones de sacarosa.....66
Figura 3.5 Ganancia de sólidos en los experimentos a diferentes concentraciones de sacarosa..... 67
Figura 3.6 Velocidades de pérdida de agua a las diferentes concentraciones de deshidratación osmótica..... 70
Figura 3.7 Velocidades de ganancia de sólidos a las diferentes concentraciones de deshidratación osmótica.....72
Figura 3.8 Curva de humedad libre en función del tiempo para carambolas secadas convencionalmente.....76
Figura 3.9 Curva de humedad libre en función del tiempo para el producto final.....77
Figura 3.10 Curva de velocidad de secado para secado convencional de trozos de carambola.....78
Figura 3.11 Curva de velocidad de secado para producto final.....79

Figura 3.12 Presentación de muestras a jueces para el panel de

degustación..... 84
Figura 3.13 Diagrama de Pareto de los resultados obtenidos..... 86
Figura 4.1 Diagrama de flujo para obtención de trozos secos de carambola tratados osmóticamente..... 92
Figura 4.2 Distribución de los trozos de carambola en las bandejas..... 114
Figura 4.3 Vista lateral del diseño del secador de bandejas..... 131

ÍNDICE DE TABLAS

Pág.

Tabla 1 Composición nutricional carambola fresca..... 6
Tabla 2 Caracterización de carambola en 3 estados de maduración..... 23
Tabla 3 Valores de actividad de agua de soluciones saturadas de sales seleccionadas..... 29
Tabla 4 Especificaciones del secador utilizado para los experimentos..... 43
Tabla 5 Escala de calificación utilizado en el análisis sensorial..... 62
Tabla 6 Tabla de humedad y evaluación sensorial para determinación de humedad crítica..... 63
Tabla 7 Coeficientes de difusión de agua y sólidos para las diferentes concentraciones de deshidratación osmótica de carambolas..... 73
Tabla 8 Coeficientes de difusión de agua para secado convencional y producto final.....81
Tabla 9 Características físico-químicas de los productos obtenidos.....83
Tabla 10 Tiempo de vida útil para el producto bajo condiciones de empaque establecidas..... 87
Tabla 11 Permeabilidad requerida para los trozos secos de carambola tratados osmóticamente..... 89
Tabla 12 Equipos básicos para la línea de producción..... 93
Tabla 13 Especificaciones técnicas de la cortadora..... 95
Tabla 14 Características del tanque de preparación de jarabe..... 97
Tabla 15 Características del agitador para tanque de preparación de jarabe..... 98
Tabla 16 Propiedades físicas del agua a presión de saturación..... 99
Tabla 17 Propiedades físicas del jarabe de sacarosa..... 100
Tabla 18 Datos del jarabe de sacarosa para cálculo de área de transferencia de calor..... 102
Tabla 19 Datos para el cálculo del coeficiente individual de transferencia de calor del jarabe en el tanque y el h_o 104
Tabla 20 Resultados obtenidos para Re, jH, h_i y h_{io}..... 106
Tabla 21 Resultados obtenidos de los cálculos del área de transferencia de calor..... 108
Tabla 22 Características determinadas para el serpentín..... 110
Tabla 23 Características del tanque de deshidratación osmótica..... 112
Tabla 24 Características de las bandejas del secador..... 113
Tabla 25 Características del aire de secado..... 115
Tabla 26 Datos obtenidos a partir de la tabla psicrométrica..... 115

Tabla 27 Características de carambolas deshidratadas osmóticamente para el proceso de secado..... 116
Tabla 28 Características de los carritos del secador..... 118
Tabla 29 Condiciones del vapor saturado como medio de calentamiento... 119
Tabla 30 Condiciones del aire como medio a calentar.....119
Tabla 31 Resultados para el vapor de agua y aire.....124
Tabla 32 Características calculadas para el serpentín de calentamiento.... 124
Tabla 33 Especificaciones del ventilador industrial.....125
Tabla 34 Dimensiones del secador..... 128
Tabla 35 Cálculo del número de ventiladores..... 128
Tabla 36 Datos para calcular el % de utilización de materia prima..... 129
Tabla 37 Costos estimados de los equipos básicos para el proceso productivo..... 134

INTRODUCCIÓN

Actualmente la utilización de frutas en la industria de nuestro país está encasillada hacia la fabricación jugos y néctares de frutas repetitivas, lo cual está saturando los mercados de marcas que ofrecen el mismo producto. Sin embargo existen frutas que presentan excelentes características y oportunidades de aprovechamiento, tal es el caso de la carambola, fruta no tradicional del Ecuador, la cual no se le ha dado hasta el momento algún destino industrial. Por lo cual este trabajo propone el diseño de una línea de proceso para la obtención de trozos secos de carambola tratados osmóticamente.

El trabajo experimental consistió en construir isotermas de sorción tanto para la fruta fresca como para los trozos de carambola deshidratados osmóticamente y secadas con la finalidad de determinar el contenido de humedad que forma la primera capa en contacto con el alimento, lo cual se lo realizó a través del método isopiéstico. Posteriormente se determina la concentración de sacarosa idónea para el proceso, lo cual se lo logró a través del análisis de la cinética de deshidratación osmótica a 3 concentraciones de sacarosa (40, 50 y 60 º Brix). Consecuente establecidas estas condiciones se determina la cinética de secado realizando pruebas a nivel piloto ejecutándose comparaciones entre el secado convencional y el secado con tratamiento osmótico de la fruta con la interesa de resaltar las ventajas de aplicar deshidratación osmótica antes del secado. Posteriormente se evaluó el comportamiento del producto a 100% de humedad relativa y 32ºC en un empaque

trilaminado, estableciendo el tiempo de vida útil en el mismo, para luego, determinar el requerimiento real de permeabilidad al vapor de agua y establecer el tiempo de vida útil que tendría el producto. Paralelamente se realizaron pruebas sensoriales de grado de satisfacción analizados con escala hedónica para establecer que tan agradables resultaban al paladar del consumidor el producto propuesto.

Finalmente se establece el diseño de la línea de proceso para los trozos secos de carambola tratados osmóticamente, indicando los equipos principales del proceso, el lay out del proceso y los costos estimados de inversión de los equipos principales para la línea de producción.

CAPÍTULO 1

1. GENERALIDADES.

1.1. Materia Prima.

Antecedentes.

La carambola, cuyo nombre científico es Averrhoa carambola L., de la familia de la Oxalidaceae, es también conocida como fruta estrella, originaria de Ceylán y de Moluccas, ha sido cultivada en Asia desde hace largo tiempo atrás. Puede ser propagada en climas tropicales y subtropicales. El árbol de carambola es relativamente pequeño y tiene una altura de 6 a 9 metros, con un ancho de copa de 6 a 10 metros. Tiene hojas verde oscuras, flores rosadas a púrpura, con un diámetro de 6 mm. La fruta de carambola es entre oblonga y elipsoidal, con 6 a 15 cm. de largo, con 4 a 6 ribetes longitudinales. La piel es translúcida, suave y cerosa, el color varia del blanco a un profundo amarillo dorado. El sabor es variable entre el dulzor y el ácido (4).

La carambola presenta muchas variedades, las cuales dependen de las condiciones del suelo en donde son cultivadas. En las variedades dulces, es raro que el contenido de azúcar alcance el 4%. Al tratarse de

una fruta ácida, los niveles de pH son bastante bajos, alrededor de 3.9 – 4.9 en variedades dulces y 2.4 en agrias, las mas conocidas son: Arkin, B1, B6 B10, Fwang tung, Maha, Kaján, Leng bak, Yua We, miss (14).

En el Ecuador predomina la variedad dulce o variedad Taiwán, debido a que la mayoría de los cultivos que se presentan son de rama suave, sin embargo en algunos sitios de cultivos se puede encontrar la variedad de frutos agrios, los cuales son de rama dura.

Usos.

La carambola es una fruta con buenas características organolépticas (sabor, aroma, color). Esta se puede utilizar para la fabricación de productos a partir de ella o para su consumo directo.

La carambola se la puede utilizar:

- ✓ Para la decoración de todo tipo de platos dulces y salados.
- ✓ En la preparación de platos aliñada con salsa vinagreta.
- ✓ En la fabricación de mermeladas, jugos, néctar, osmodeshidratados, vinos, productos de fermentación alcohólica, entre otros.

Otros usos de la carambola: Combate fiebres, diarreas y escorbuto. Quita manchas incluso herrumbre.

Propiedades Nutritivas.

La carambola es una fruta dulce, refrescante y con una forma muy original. Por su apariencia, propiedades nutritivas y aporte de sustancias de acción antioxidante, aliadas de nuestra salud, su consumo es muy recomendable para los niños, jóvenes, adultos, deportistas, mujeres embarazadas, madres lactantes y las personas mayores. Su contenido de fibra soluble le confiere propiedades laxantes, por su aporte de provitamina A y vitamina C, se recomienda su consumo a quienes presentan carencias de las mismas (17).

Su componente mayoritario es el agua. Contiene pequeñas cantidades de hidratos de carbono simples y aún menores de proteínas y grasas, por lo que su valor calórico es muy bajo. Por su aporte de Vitamina C, la cual es precursora del oxalato de calcio, su consumo no conviene en caso de litiasis renal (cálculos de oxalato cálcicos). En la tabla 1 se muestra la composición nutricional de la carambola.

TABLA 1

COMPOSICIÓN NUTRICIONAL CARAMBOLA FRESCA (3)

Contenido de 100 g de parte comestible			
Calorías 90 Kcal.			
		% Valor Diario*	
Grasa Total	0.1 g.	0.15 %	
Carbohidratos Totales	5 g.	1.67 %	
Proteína	0.7 g.	1.4 %	
Fibra soluble	1.8 g.	7.2 %	
Provitamina A	51.6 %	Vitamina C	43 %
Calcio	0.7 %	Hierro	2.2 %
Vitamina B_1	6.7 %.	Vitamina B_2	5.9 %
*Los porcentajes de los valores diarios están basados en una dieta de 2000 calorías.			

Producción de Carambola en el Ecuador.

Se trata de un cultivo introducido hace unos veinte años al país y de limitado consumo interno, que se siembra en el litoral. Los mercados de exportación para la carambola son interesantes y el Ecuador tiene condiciones apropiadas de suelo para desarrollar este producto. Puede cultivarse en bosques húmedos tropicales y premontanos localizados en las poblaciones de Quinindé, Santo Domingo de los Colorados, La Maná, Quevedo, Bucay, El Triunfo y la región Amazónica, así como también la zona tropical de la provincia del Guayas, tal como lo indica la figura 1.1

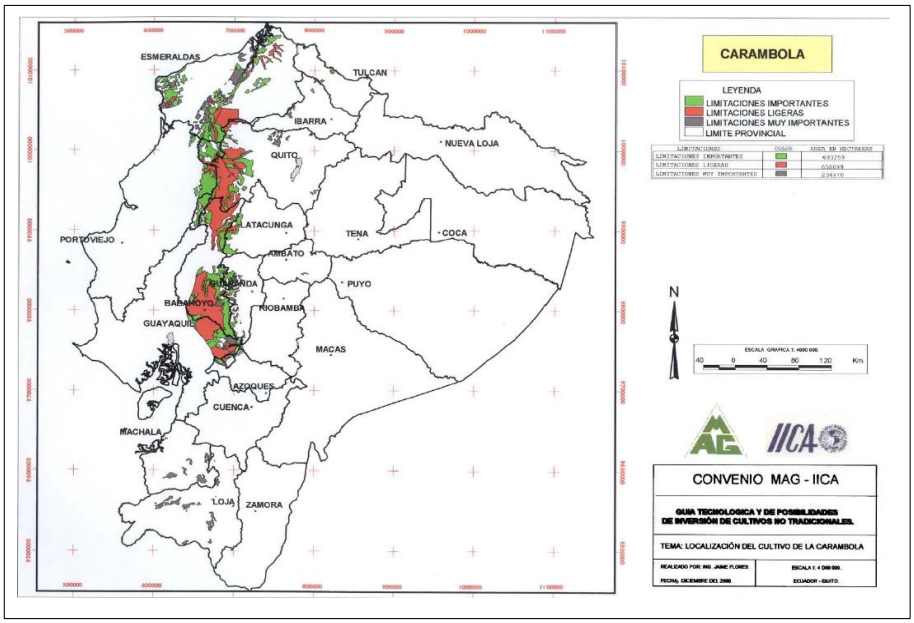


FIGURA 1.1 REGIONALIZACIÓN DE LA CARAMBOLA EN EL ECUADOR (13)

Existen algunos proyectos que se han realizado con esta fruta, se conoce sobre la existencia de dos fincas que han establecido cultivos de la fruta en la provincia de Santa Elena, bajo el proyecto CEDEGE. La

superficie aproximada de este cultivo es de 100 hectáreas. Al momento esta producción se está colocando en el mercado nacional y a futuro se podría exportarla, sin embargo, no se ha delineado una estrategia ni planificación de exportación (13).

Así mismo a través de la Misión Técnica Agrícola de Taiwán y el Ministerio de Agricultura y Ganadería (MAG), se han establecido cultivos de frutas no tradicionales del Ecuador, tales como: carambola, pomarrosa, guayaba, fruta de pan; entre otras a fin de desarrollar técnicas adecuadas de cultivo y obtener frutos de calidad de exportación y útiles para la industria procesadora de frutas. Actualmente cuentan con 20 plantas sembradas de carambola, de las cuales se obtienen 614.4 kg de fruta de producción mensual, con un peso promedio de 240 g (8). En la figura 1.2 se observan los cultivos y cosecha de carambola dados en la Hacienda “El Rosario” ubicada en el Km. 26.5 vía Daule, propiedad de la Misión Técnica Agrícola Taiwán en convenio con el Ministerio de Agricultura y Ganadería.

FIGURA 1.2 PARCELA DE CULTIVO DE CARAMBOLA (8)
Misión Técnica Agrícola de Taiwán - MAG Km. 26.5 Vía Daule.

Resulta interesante destacar que una de las finalidades que busca este trabajo, es el exponer, los beneficios de exportar la fruta como producto procesado.

1.2. Deshidratación Osmótica.

"La concentración de alimentos por medio de inmersión de productos en una solución hipertónica (sacarosa, sal, sorbitol o glicerol) es conocida como deshidratación osmótica" (Raoult – Back et al., 1989). La deshidratación se debe a que ocurre un proceso de ósmosis entre el alimento y la solución concentrada. La deshidratación osmótica es una etapa acertada para el preprocesado previo a la liofilización, secado con aire, secado solar y deshidratación a vació. En algunas de las técnicas mencionadas previamente, la ósmosis aparece a menudo como un medio para reducir el tiempo de procesado y el consumo energético.

También puede mejorar las características sensoriales del producto final (21).

El agua se traslada desde la solución menos concentrada en soluto (alimento) hacia la más concentrada (solución hipertónica), de tal manera que las concentraciones tienden a igualarse. El principal objetivo de la DO es maximizar la pérdida de agua y minimizar la incorporación de solutos (12). La cinética de deshidratación osmótica se analiza por medio de los parámetros obtenidos de la experimentación tales como: contenido de agua (WC, Water contain), pérdida de agua (Wl, Water Loss), ganancia de sólidos (SG, solids gain) y actividad del agua, (AW).

Factores que influyen en la velocidad de deshidratación osmótica.
La velocidad de perdida de peso de una determinada fruta sucede inicialmente de manera mas acelerada con un progresivo retardo a medida que avanza el tiempo de contacto con la solución osmótica.

Existen varios factores que influyen en la velocidad de deshidratación osmótica tales como: la composición de la fruta, la naturaleza del jarabe de inmersión y las condiciones de mezcla de los componentes. Los factores que dependen de la fruta 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 concentración del jarabe influye directamente sobre la velocidad, ya que al mantener una alta diferencia de concentraciones a lado y lado de la membrana, se incrementa la presión osmótica favoreciendo un rápido flujo de agua a través de la membrana en busca del equilibrio.

Otros factores que influyen en la velocidad de deshidratación son la temperatura y la agitación del sistema de deshidratación.

El aumento de la temperatura del sistema produce una mayor velocidad de deshidratación, debido a la mayor movilidad de las moléculas y a la pérdida de la selectividad de la membrana, la cual permite un mayor intercambio de agua que sale de la fruta, pero también un mayor ingreso de solutos o componentes del jarabe.

La agitación periódica al sistema también produce un aumento en la velocidad de deshidratación, ya que a medida que avanza el tiempo de contacto de la fruta con el jarabe, esta se va rodeando de su propia agua, la cual se va difundiendo lentamente por el

jarabe concentrado. Al estar rodeada de agua la fruta, la diferencia de concentraciones entre el jarabe y la pared celular se hace menor, con lo que también aumenta la velocidad de salida de agua.

Recientemente se ha incluido otro factor: la disminución de la presión atmosférica mediante aplicación de vacío al sistema. Esta técnica permite la salida de gases ocluidos en el interior de las paredes de la fruta los cuales son una barrera para la osmodeshidratación. Además la disminución de la presión permite una salida más rápida del agua por la ausencia parcial de la barrera que ejerce la fuerza de la gravedad sobre la pared celular (23).

Al utilizar la deshidratación osmótica antes de un secado convencional, se limita o elimina el uso de dióxido de azufre, debido a la acción protectora de los sacáridos, al ganar sólidos. Además se incrementará la estabilidad de los pigmentos durante el proceso de secado y el almacenamiento (21).

Ventajas de la deshidratación osmótica.

La aplicación de la deshidratación osmótica, principalmente a frutas, presenta algunas ventajas:

1. La fruta obtenida conserva en gran proporción sus características de color, sabor y aroma. Al aplicar temperaturas moderadas durante el proceso, el daño que se produce sobre el sabor y el color es mínimo y hay una mayor retención de compuestos volátiles los cuales se perderían a altas temperaturas (21).

2. La textura final mejora considerablemente, ya que las células no colapsan al perder agua y, además, la incorporación de solutos tiene un efecto protector sobre la estructura celular, haciendo al alimento más resistente a tratamientos posteriores (21,22).

3. La ausencia de oxigeno en el interior de la masa de jarabe donde se halla la fruta, evita las correspondientes reacciones de oxidación (pardeamiento enzimático), lo que evita el uso de sulfitos (21).

4. La relativa baja actividad de agua del jarabe concentrado, no permite el fácil desarrollo de microorganismos que rápidamente atacan y dañan las frutas en condiciones ambientales por lo tanto no se requiere la aplicación de agentes antimicrobianos (21).

5. El uso de los jarabes en la deshidratación osmótica pueden ser reutilizados en el proceso tanto para nuevos procesos o para edulcorar otros productos.

Desventajas de deshidratación osmótica.

1. No es aplicable a todas las frutas. Solo se emplean en frutas que presentan estructura sólida y pueden cortarse en trozos. Tampoco se recomienda en frutas que poseen gran cantidad de semillas de tamaño mediano.

2. Los productos obtenidos no son estables en el tiempo, se requiere de la aplicación de otros procesos o combinarlos con otros métodos de conservación.

1.3. Secado Convencional.

El secado es el método más antiguo de conservación de alimentos. El agua retirada durante el secado, puede ser eliminada de los alimentos por las simples condiciones ambientales (luz solar) o por una variedad de procesos controlados de deshidratación, concentración, etc., en los

que se someten a técnicas que emplean diferentes medios como calor, aire, frío, y ósmosis.

El método de secado escogido depende del tipo de alimento que se va a deshidratar, el nivel de calidad que se puede alcanzar y el costo que conlleve el proceso. Existen entre los métodos de secado: por convección del aire, secadores de tambor o rodillo, secadores al vacío, etc. Algunos de estos sirven para alimentos líquidos y otros para sólidos.

Cada uno de estos métodos tiene un número mayor de variantes que se ajustan a las necesidades de volúmenes y características de productos finales.

Secadores por convección.

Los secadores cuya transferencia de masa es por convección son utilizados para secar partículas y alimentos en forma laminar o en pasta. El calor se suministra a través de aire caliente o gas, el cual fluye sobre la superficie del sólido. El aire, los gases inertes, el vapor sobrecalentado, o gases de combustión directa pueden ser utilizados en sistemas de secado convectivos.

Dentro de los secaderos convectivos o directos encontramos: secadores de bandeja o charolas, secadores de túnel, secadores rotatorios, secadores por aspersión.

Secadores de Bandejas.

Es un secadero que se emplean para secar material granular, su funcionamiento es discontinuo y permiten calefacción directa (aire que circula sobre el material) y calefacción indirecta (bandejas calentadas). La figura 1.3 muestra un esquema de un secadero de bandeja; el material se coloca sobre bandejas, éstas pueden estar perforadas de tal manera que el aire pueda pasar verticalmente sobre ellas.

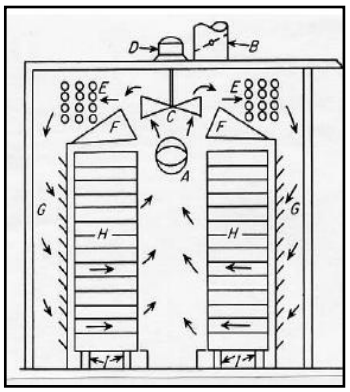


FIGURA 1.3 SECADOR DE BANDEJA (5)

Secadores de Túnel.

Estos secadores son adaptaciones para operación continua de los secadores de gabinete y bandejas. Este tipo de secadores es muy útil y aplicado en el secado de frutas y vegetales en forma de piezas o lascas, como es el caso de los trozos de carambola que se presenta en este trabajo.

Este tipo de secadores consisten en un túnel o cámara rectangular, que puede llegar a tener hasta 27 m de largo y con sección transversal cuadrada o rectangular del orden de 4 m^2. El mecanismo de operación de este tipo de secadores se basa en distribuir el material húmedo (alimento) en capas finas sobre bandejas perforadas. Las bandejas son colocadas en carritos, procurando dejar espacios libres suficientes entre las bandejas para permitir la circulación del aire de secado. Los carros cargados con el alimento húmedo son introducidos uno a uno, a intervalos apropiados dentro del túnel. Al mismo tiempo que entra un carro en el extremo "húmedo", se extrae un carro con producto seco del otro "extremo seco" del túnel. El aire se mueve impulsado por ventiladores.

Entre los tipos de secadores tipo túnel encontramos: con flujo en paralelo o en contracorriente los mismos que difieren en el sentido del movimiento del material y en las velocidades de secado. Sin embargo, la combinación más ventajosa consiste en un túnel primario de corrientes en paralelo, seguido de un túnel secundario a contracorriente. En este sistema se aprovechan las características del secado a altas velocidades iniciales (primer período) en el túnel en paralelo, mientras que las buenas condiciones de secado se logran en el túnel secundario a contracorriente permiten obtener una finalización del proceso más rápida y con menores contenidos de humedad en el producto, con aire seco y a una temperatura no muy alta. En la figura 1.4 se esquematiza

el principio de operación de un secador combinado de “túnel de extracción central” (20).

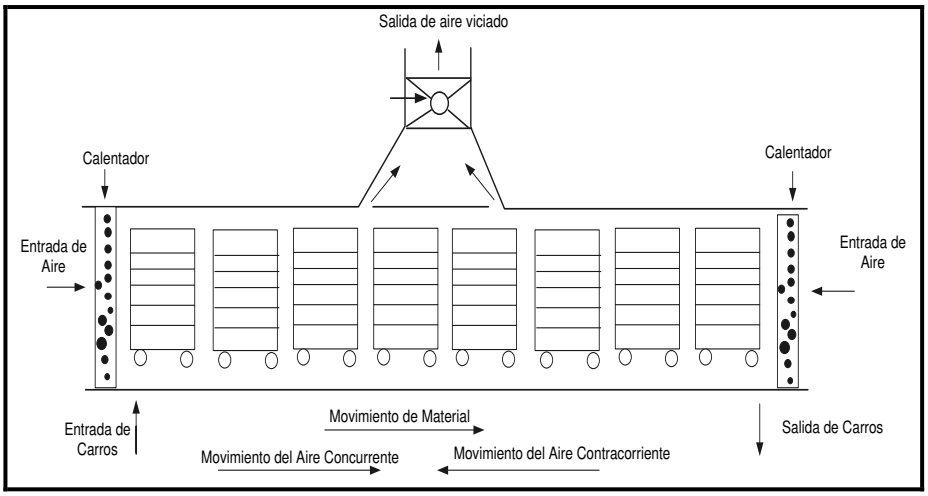


FIGURA 1.4 PRINCIPIO DE OPERACIÓN DEL SECADOR COMBINADO “TÚNEL DE EXTRACCIÓN CENTRAL” (20).

Factores que intervienen en el proceso de secado.

Temperatura del aire.

La temperatura desempeña un papel importante en los procesos de secado. En la práctica del secado, la elección de la temperatura se lleva a cabo tomando en consideración la especie que se vaya a someter al proceso.

Existen varios niveles de temperatura que se mantienen durante el proceso técnico de secado:

- ✓Temperatura de bulbo seco
- ✓Temperatura superficial

- ✓Temperatura de bulbo húmedo

Durante el proceso de secado, se origina un gradiente de temperatura con respecto al espesor del material, mismo que tiende a disminuir conforme se reduce el contenido de humedad.

Humedad relativa del aire.

La humedad relativa se define como la razón de presión de agua presente en ese momento, con respecto a la presión de saturación de vapor de agua a la misma temperatura (Perry, 1984). Generalmente se expresa en porcentaje (%), a medida que se incrementa la temperatura del aire aumenta su capacidad de absorción de humedad y viceversa.

Velocidad del aire.

La velocidad del aire dentro del secador tiene como funciones principales, en primer lugar, transmitir la energía requerida para calentar el agua contenida en el material facilitando su evaporación y en segundo lugar, transportar la humedad saliente del material.

La capa límite que existe entre el material a secar y el aire juega un papel importante en el secado. Cuando menor sea el espesor de esta capa límite, más rápida será la remoción de humedad. La

forma de la corriente de aire es muy importante para la velocidad, una corriente turbulenta es mucho más eficaz que una laminar, debido a que la primera afecta en mayor forma la capa límite y el aire.

A mayor velocidad, mayor será la tasa de evaporación y menor el tiempo de secado y viceversa, si la velocidad del aire disminuye la tasa de evaporación disminuye y el tiempo de secado aumenta. Por tal razón para asegurar un secado rápido y uniforme es indispensable una circulación del aire fuerte y regular.

CAPÍTULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS.

2.1. Materiales.

2.1.1. Materia Prima.

Las carambolas fueron obtenidas de la Hacienda “El Rosario” propiedad de la Misión Técnica Agrícola Taiwán la cual está ubicada en el Km. 26.5 vía Daule.

A las frutas se les realizó análisis físico-químicos y sensoriales en los diferentes estados de maduración. Además, través del especificador de color PANTONE, se obtuvieron los colores específicos para los diferentes estados de maduración de la fruta (Figura 2.1). La caracterización de las frutas se realizó con el objetivo de definir las cualidades necesarias que debe poseer la fruta previo a los procesos de deshidratación osmótica y el secado convencional.

FIGURA 2.1 MEDICIÓN DE CARAMBOLAS EN ESTADOS SUCESIVOS DE MADURACIÓN*.

* Igualar a la muestra

Cabe recalcar las carambolas seleccionadas deben cumplir con las siguientes propiedades:

- ✓ Poseer simetría en las aristas (5 aristas), aspecto fresco y consistencia firme.
- ✓ Sanas, libres de ataque de insectos, bordes café o enfermedades que impidan su uso.
- ✓ Exentas de olores fuertes, sabores o materias extrañas visibles.

TABLA 2

CARACTERIZACIÓN DE CARAMBOLAS EN 3 ESTADOS DE MADURACIÓN.

CARACTERIZACION	ESTADO DE MADURACIÓN		
Componente	**A**	**B**	**C**
Longitud (cm.)	10	14	11
Nº de aristas	5	5	5
Peso fresco (g.)	82.33	254.11	230.4
Corteza (%)	9.99	11.05	10
Semilla (%)	5.16	2.09	1.84
Pulpa (%)	84.84	86.06	88.16
Acidez Total (ác. Cítrico)	0.094	0.067	0.064
pH	4.55	4.86	4.9
Sólidos solubles(º Brix)	6	9.5	11
Humedad (% bh)	91.37	88.52	88.84
Color (*)	360 C	387 C	3935 C
Sabor	ácido	dulce suave	dulce acentado

*Especificador de Color PANTONE.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Para realizar la caracterización de la fruta en los diferentes estados de maduración, se realizó el muestreo por duplicado para cada estado de maduración, obteniendo los resultados expuestos en la tabla 2.

De los resultados presentados en la tabla 2, se seleccionó a las muestras correspondientes al código 387 C del especificador de Color PANTONE, ya que posee características estables en cuanto a ºBrix, ph, humedad, color, entre otros parámetros necesarios para los posteriores procesos de transformación.

2.1.2. Soluciones Osmóticas.

Comúnmente se utiliza sacarosa como agente osmótico en la deshidratación de frutas. Las soluciones de azúcar utilizadas como agente osmótico reducen el pardeamiento y aumenta la retención de volátiles, así como también permiten una alta reducción del contenido de humedad del producto sumergido en ella, pues actúa como depresor de la actividad de agua (2).

Para la preparación de las soluciones osmóticas se utilizó azúcar comercial (sacarosa), la cual fue adquirida en los supermercados de la ciudad de Guayaquil.

Las soluciones osmóticas se prepararon disolviendo el azúcar en agua purificada, el jarabe obtenido se calentó a una temperatura de 45 ºC por 10 minutos y se filtró para eliminar impurezas provenientes del azúcar. Las concentraciones de las soluciones osmóticas a las cuales se llevaron a cabo las pruebas experimentales fueron: 40 ºBrix, 50 ºBrix y 60 ºBrix.

2.2. Métodos.

2.2.1. Isotermas de Adsorción.

Una isoterma nos indica la cantidad de agua absorbida, o adsorbida en el componente con una actividad de agua conocida o presión de vapor relativa, cuando está en equilibrio. Las isotermas de desorción cobran importancia en los procesos de secado, mezcla, empacado y almacenamiento. Cabe indicar que existen tres tipos diferentes de isotermas dependiendo del comportamiento del alimento tal como se muestra en la figura 2.2.La carambola obedece al tipo II (11).

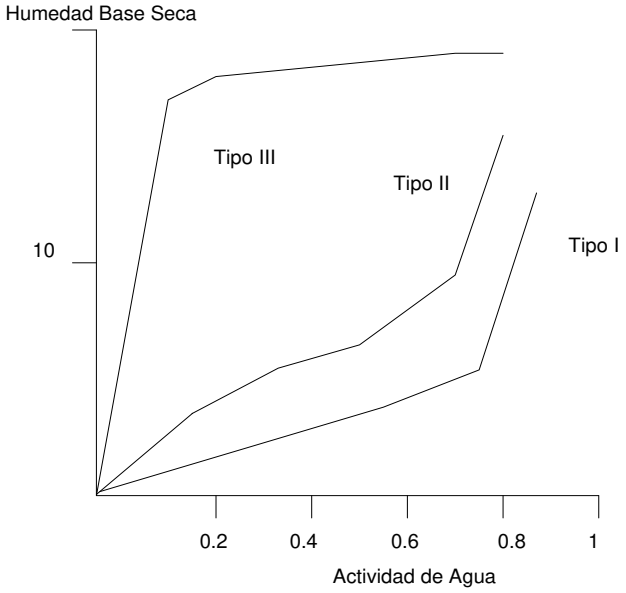


FIGURA 2.2 TIPOS DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN (11).

Isoterma de Adsorción Tipo I:

El isoterma tipo I es una isoterma para el azúcar puro cristalino. Muestra una muy pequeña ganancia de humedad hasta que la actividad de agua llega a 0.7 – 0.8 en donde la humedad sube en gran medida. Algunos de los alimentos que presentan éste comportamiento son los productos secos y congelados.

Isoterma Tipo II:

La mayoría de los alimentos siguen la forma sigmoidal de la isoterma tipo II. La curva resultante es causada por los efectos de la Ley de Raoult, efectos capilares o interacciones agua – superficie.

Isoterma Tipo III:

Es típico de agentes antiapelmazantes, éste tipo de ingrediente adsorbe agua en sitios específicos, pero la unión de enlaces es muy fuerte, por lo tanto disminuye la actividad de agua drásticamente.

Elaboración de Isotermas de Adsorción.

Con el objetivo de realizar un análisis del efecto que poseen los tratamientos propuestos en este trabajo, se realizan isotermas para la fruta fresca y para el producto final al cual se le realizó deshidratación osmótica como pre-tratamiento al secado convencional en las condiciones seleccionadas de proceso. Los dos tipos de isotermas se las realizaron a temperatura constante de 32 ºC. Es necesario indicar que la temperatura posee un

efecto directo en las isotermas de adsorción, ya que la (aw) incrementará a medida que la temperatura incremente para un contenido de humedad constante. Por lo tanto se decidió realizarla a 32 ºC, simulando las condiciones máximas de almacenamiento en la ciudad de Guayaquil en donde se está realizando el análisis.

Para la construcción de las isotermas de adsorción se recurre al método isopiéstico (figura 2.3), en el cual utiliza sales saturadas con (aw) conocida, determinando así la cantidad de humedad que el producto en análisis absorbe de la sal saturada. Las sales saturadas elegidas para el análisis con sus respectivos valores de (aw) a temperatura de 32 ºC se muestran en la tabla 2.2.

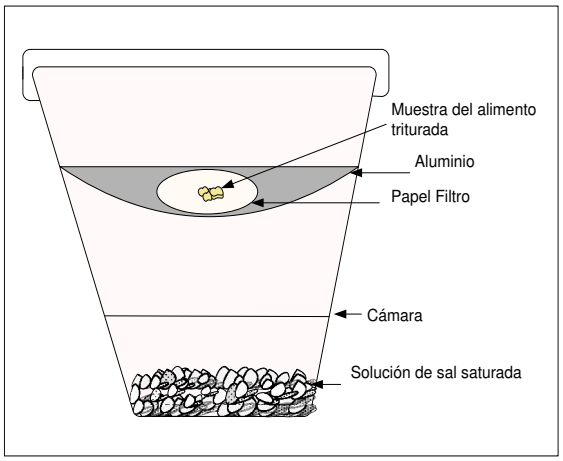


FIGURA 2.3 MÉTODO ISOPIÉSTICO APLICADO PARA LA CONSTRUCCION DE ISOTERMAS DE ADSORCIÓN

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

TABLA 3

VALORES DE ACTIVIDAD DE AGUA DE SOLUCIONES SATURADAS DE SALES SELECCIONADAS.

Sales	aw a 32 º C
Hidróxido de Sodio	0.0745
Cloruro de Magnesio	0.3244
Nitrato de Magnesio	0.5140
Yoduro de Potasio	0.6744
Nitrato de Sodio	0.7292
Cloruro de Sodio	0.7505
Cloruro de Amonio	0.7790
Sulfato de Amonio	0.8063
Cloruro de Potasio	0.8362
Sulfato de Potasio	0.9724

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Monocapa de BET (Brunauer-Emmet-Teller).

Determinar el valor de la monocapa de BET es un dato de mucha utilidad. Una de sus principales aplicaciones se le da a la predicción de la vida útil de un producto, ya que permite conocer el valor de (aw) para el cual el producto tiene la mayor estabilidad. Por lo tanto se considera al valor de la monocapa de BET como el contenido de humedad crítico o valor crítico de actividad de agua. Es necesario recalcar que el valor de la humedad crítica se debe calcular, realizando un análisis del posible deterioro del producto.

Modelo de GAB (Guggenheim-Anderson-de Boer)

El método isopiéstico descrito anteriormente permite obtener isotermas de absorción experimentales, las mismas que tienen tantos puntos según la cantidad de sales utilizadas. Existen métodos empíricos y teóricos de isotermas de adsorción los cuales nos permiten ajustar las curvas obtenidas experimentalmente, de tal manera que obtengamos curvas que faciliten los análisis posteriores.

Sin duda alguna el método más utilizado que presenta una ecuación que se ajusta a las isotermas de productos alimenticios, es el modelo de GAB, el cual se aplica en un rango de valores de actividad de agua de 0 a 0.9.

A continuación se describe la ecuación de GAB:

$$\frac{X}{X_m} = \frac{C * K * Aw}{(-K * Aw)(-K * Aw + C * K * Aw)} \qquad \text{(Ec. 2.1)}$$

Donde:

X_m= Humedad que corresponde a la monocapa de BET.

C = Constante que depende de la temperatura.

K = Factor de corrección.

Esta ecuación posee 3 constantes (Xm, C y K) y dos variables (X y Aw), por lo tanto se puede hallar la solución. Para este efecto se necesitan como mínimo 5 puntos en el gráfico, es

decir, elaborando una isoterma experimental con 5 sales como mínimo.

Para ajustar la curva se utilizó el programa estadístico Origin 6.0 Professional, en el cual una vez definida la ecuación de GAB, se realiza una regresión no lineal.

Definición de la Humedad Crítica.

Conocer la humedad crítica en un producto, es un factor importante en la determinación de la barrera de vapor de agua del empaque requerida por el alimento. Esta determinación, consiste en establecer el contenido de humedad en el cual el producto se vuelve no apto para el consumo humano, dado por la ganancia de humedad y la consecuente pérdida de las características originales del producto tales como olor, sabor, firmeza, entre otros.

El experimento consistió en someter a las muestras de carambolas secas tratadas osmóticamente a la reacción frente al vapor de agua, lo cual se logró colocando en un recipiente agua y tratado con el vapor a 100 ºC. Se registró la ganancia de peso cada 5 minutos, hasta el tiempo en el que las muestras perdieron sus características organolépticas, para lo cual se evaluación del cambio de sabor y olor.

2.2.2. Deshidratación Osmótica.

La deshidratación osmótica, excepto en confites, no es un proceso de preservación por si mismo, pero se lo tiene que considerar como un pre – tratamiento para futuros procesos. Es muy conocida la aplicación de deshidratación osmótica como pre – tratamiento al secado convencional, ya que ayuda a la retención de propiedades sensoriales de los alimentos tales como color, olor, sabor entre otros, los cuales se perderían al realizar un secado convencional.

Mecanismo de deshidratación osmótica.

Para realizar el proceso de deshidratación osmótica, primero se lavó la fruta y se procedió a eliminar los bordes gruesos de las aristas y las semillas que se encuentran al interior de la fruta, ya que éstas poseen sabor amargo y podían afectar las características finales del producto. Las frutas se cortaron de forma transversal obteniendo estrellas con 5 aristas de espesor aproximado de 0.5 cm. ± 0.01 cm., 9 cm. ± 0.05 de largo y 8 ± 0.05 cm. de ancho tal como se muestra en la figura 2.4.

Corte de las carambolas Lavado por inmersión

FIGURA 2.4 PREPARACIÓN DE CARAMBOLAS PARA EL PROCESO OSMÓTICO.

Posteriormente se pesó la cantidad de fruta a utilizar de acuerdo a la relación fruta – jarabe (1: 4).

Con el propósito de conocer la concentración de solución osmótica más idónea para el proceso, se realizó la experimentación con soluciones a diferentes concentraciones de grados Brix.

El experimento consistió en sumergir las carambolas en las soluciones osmóticas, tal como se muestra en la figura 2.5 por un tiempo máximo de 4 horas a temperatura constante de 32 ºC para lo cual se colocó en la estufa a la temperatura establecida el recipiente conteniendo la fruta – jarabe.

FIGURA 2.5 DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE MUESTRAS DE CARAMBOLA.

El proceso experimental de DO consistió en registrar cada 10 minutos, durante las primeras 2 horas, la perdida de peso, ganancia de sólidos solubles y la pérdida de espesor y cada 30 minutos durante las siguientes 2 horas. En cada tiempo establecido, las muestras se escurrieron y secaron con papel absorbente para retirar los restos de jarabe de la superficie de la fruta.

En la figura 2.6, se presenta el esquema del proceso de deshidratación osmótica realizada a las carambolas.

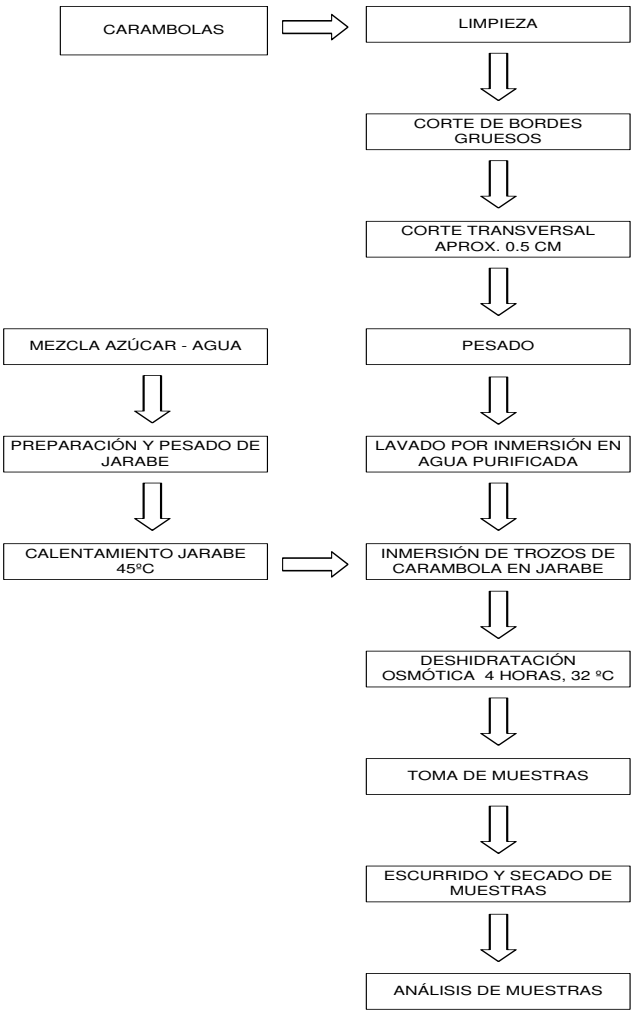


FIGURA 2.6 DIAGRAMA DEL PROCESO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE CARAMBOLAS.
Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Técnicas utilizadas en la evaluación de la cinética de deshidratación osmótica.

A fin de describir los aspectos cinéticos del proceso de deshidratación osmótica, se presentan a continuación las diferentes ecuaciones aplicables para dicho análisis.

Cinética de la transferencia de masa.

Para evaluar la cinética de transferencia de masa en las diferentes concentraciones de soluciones osmóticas se utilizaron las siguientes ecuaciones (18):

Pérdida de agua (Δ M_W)

$$\Delta M_W = \frac{M_0 X_{W0} - M_t X_{Wt}}{M_0} \qquad \text{(Ec. 2.2)}$$

Ganancia de sólidos (Δ M_S)

$$\Delta M_S = \frac{M_t X_{St} - M_0 X_{S0}}{M_0} \qquad \text{(Ec. 2.3)}$$

Donde:

Δ M_W = Pérdida de agua (g de H_2O/ g de fruta).

Δ M_S = Ganancia de sólidos (g de sólidos/g de fruta).

M_0 = Masa inicial de la fruta (g).

M_t = Masa de muestra deshidratada osmóticamente al tiempo *t* (g).

X_{S0} = Sólidos solubles iniciales en la fruta (º Brix).

X_{St} = Sólidos solubles en la muestra deshidratada osmóticamente al tiempo *t* (º Brix).

X_{W0} = Humedad inicial de la fruta (g de H_2O/ g de muestra húmeda).

X_{Wt} = Humedad de la fruta deshidratada osmóticamente al tiempo *t* (g de H_2O/ g de muestra húmeda).

Velocidades de transferencia de masa.

Velocidad de transferencia de agua.

Es necesario realizar un análisis de la velocidad con la que se pierde agua en las tres diferentes concentraciones de sacarosa, para lo cual se procede de la siguiente manera (6):

- ✓ Con el uso de las fórmulas anteriormente descritas, se determinó la cantidad de agua perdida durante la deshidratación osmótica.

- ✓ A partir de los valores obtenidos, se calculó la humedad libre la cual es la humedad en base seca.

- ✓ Se procedió a graficar una curva que relacione la humedad libre versus el tiempo de proceso.

- ✓ A partir de los valores que se obtuvieron en el paso anterior, se calculan las pendientes en los diferentes puntos de la curva, lo cual corresponde a las velocidades de pérdida de agua (V_w), en determinados periodos de tiempo.

Velocidad de ganancia de sólidos.

Para determinar la velocidad con la que los trozos de carambola ganan sólidos en las tres concentraciones analizadas, se sigue el siguiente procedimiento (18):

- ✓ Usando la ecuación 2.2, se determinó los sólidos ganados para cada uno de los experimentos realizados.

- ✓ Se graficó una curva que relacione los sólidos ganados versus el tiempo de proceso.

- ✓ Luego se determinó la pendiente del grafico anterior, lo cual representa la velocidad de sólidos ganados (V_{SG}).

Coeficiente de difusión de agua y de sólidos.

Coeficiente de difusión del agua.

Haciendo referencia a la velocidad de transferencia de masa por difusión molecular en estado no estacionario, señaladas en la segunda ley de Fick, se puede determinar el coeficiente de transferencia de difusión del agua desde el tejido de la fruta

hacia la solución osmótica. Según lo propuesto por Crack, et al (1975), el coeficiente de difusión del agua (K_W) se obtiene al graficar la velocidad de difusión del agua (M) versus la raíz cuadrada del tiempo en contacto, con lo que se tiene la pendiente de la curva lo cual representa el coeficiente de difusión del agua (18).

$$M = K_W . (t)^{0.5} \qquad \text{(Ec. 2.4)}$$

El valor correspondiente a la velocidad de difusión del agua (M), se puede calcular a partir de la siguiente expresión:

$$M = \frac{M_0 . X_{W0} - M_t . X_{Wt}}{M_0 . X_{W0}} \qquad \text{(Ec. 2.5)}$$

Donde:

$\boldsymbol{M_0}$ = Masa inicial de la fruta (g).

$\boldsymbol{M_t}$ = Masa de la fruta deshidratada osmóticamente al tiempo *t.* (g).

$\boldsymbol{X_{W0}}$ = Humedad inicial de la fruta (g de H_2O/ g de fruta húmeda).

$\boldsymbol{X_{Wt}}$ = Humedad de la fruta deshidratada osmóticamente al tiempo *t* (g de H_2O/ g de fruta húmeda).

Coeficiente de difusión de sólidos.

Para calcular el coeficiente de difusión de sólidos se utiliza la siguiente relación:

$$S = K_S . (t)^{0.5} \qquad \text{(Ec. 2.6)}$$

En donde *S* representa el valor del contenido normalizado de sólidos, el mismo que se lo puede calcular siguiendo la siguiente expresión:

$$S = \frac{M_t . X_{St}}{M_0 . X_{S0}} \qquad \text{(Ec. 2.7)}$$

Así, graficando el contenido normalizado de sólidos versus la raíz cuadrada del tiempo se obtiene una curva con pendiente K_S que equivale al coeficiente de difusión de sólidos.

2.2.3. Secado

Es conocido que la combinación del secado por aire caliente con la eliminación del agua de la fruta por ósmosis, disminuye peso y volumen, lo cual permite cargar las bandejas de un secador convencional con 2 o 3 veces más materia prima; con los sólidos ganados se aumenta el rendimiento. Así como también se logra

la eliminación o reducción del SO_2, obteniendo productos con mejor textura y aceptabilidad sensorial (2).

Mecanismo de experimentación del secado.

Preparación de muestras.

Con el objetivo de realizar una comparación de los efectos que se presentan al realizar el secado convencional sin tratamiento osmótico y con tratamiento osmótico, se procede a preparar las muestras para el secado convencional para los dos casos.

Para el secado de las muestras sin tratamiento osmótico se procedió de la siguiente manera: se lavaron las carambolas, se eliminaron los bordes gruesos de las aristas y se cortaron transversalmente con un espesor aproximado de 0.5 cm., se eliminaron las semillas y se lavaron los trozos por inmersión en agua purificada para el posterior proceso de secado.

Para el caso de las muestras tratadas osmóticamente, se siguió el mecanismo de preparación de muestras explicado en 2.2.2, para lo cual se utilizó el jarabe de inmersión de 50 ºBrix, ya que según las gráficas analizadas de la cinética de deshidratación osmótica y los valores de los coeficientes de difusión de agua y de sólidos, es la concentración adecuada a utilizar para el proceso.

Equipo de secado utilizado para el desarrollo del estudio.

Para realizar este estudio se utilizó el secador de bandeja del Laboratorio de Materiales de la FIMCP. En la tabla 2.3 se indican las especificaciones del equipo utilizado.

TABLA 4

ESPECIFICACIONES DEL SECADOR UTILIZADO PARA LOS EXPERIMENTOS (10).

SECADOR HORIZONTAL Tipo Cabina	
Modelo Nº	Prototipo
hertz	60
voltios	220
watts	5600
amperios	25,5
fase	simple
Velocidades:	R : 7.34 m/s S : 5.24 m/s T : 4.19 m/s

Para el proceso de secado se operó con una velocidad de aire de secado de 4.19 m/s, temperatura de 65 ± 5 ºC, tanto para los trozos de carambola sin tratamiento osmótico como para las analizadas con el tratamiento osmótico seleccionado. Se midió la humedad relativa del ambiente en los dos casos, valor utilizado para los posteriores cálculos.

Para el efecto de la experimentación, se procedió a colocar los trozos de carambola hasta llenar la base de la canastilla dispuesta para el secado. Se determinó la pérdida de peso sin interrumpir la operación, colgando la bandeja a una balanza dispuesta por la parte exterior de la cabina. Se registró la

pérdida de peso de los trozos de carambola cada 10 minutos durante los primeros 30 minutos y luego cada hora hasta obtener peso constante, datos que serán convertidos para obtener las curvas de velocidad de secado en condiciones de secado constante tanto para los trozos de carambola sin tratamiento osmótico, como para los tratados osmóticamente. En la figura 2.7 se muestran los trozos de carambola secos para los dos casos en análisis.

Sin tratamiento osmótico Con tratamiento osmótico

FIGURA 2.7 TROZOS SECOS DE CARAMBOLA.

En la figura 2.8 se esquematiza el proceso de secado general utilizado en la experimentación.

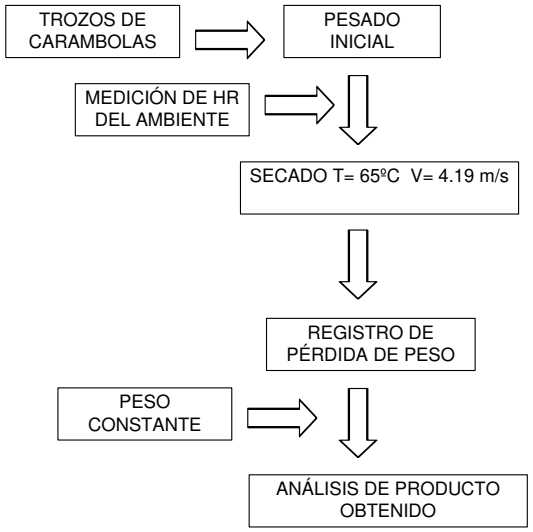


FIGURA 2.8 ESQUEMA DEL PROCESO EXPERIMENTAL DE SECADO.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Curvas de velocidad de secado para condiciones de secado constante.

Para establecer las condiciones de secado constante, es conveniente transformar los valores de la experimentación a datos de humedad en base seca, recurriendo a la siguiente expresión (6):

$$X_t = \frac{W - W_S}{W_S} \qquad \text{(Ec. 2.8)}$$

Donde:

X_t = Humedad en base seca (g H_2O / g sólido seco).

W = Peso del sólido húmedo en gramos totales de agua más sólido seco.

W_S = Peso del sólido seco en gramos.

Se determinó el contenido de humedad de equilibrio (***X****), haciendo uso de la tabla psicrométrica en g H_2O/ g sólido seco. Con este valor se procede a calcular el valor del contenido de humedad libre ***X*** en g de agua libre/ g de sólido seco para cada valor de X_t, a través de la siguiente expresión:

$$X = X_t - X^* \qquad \text{(Ec. 2.9)}$$

Al sustituir los datos calculados en la ecuación (2.9), se traza una gráfica del contenido de humedad libre ***X*** en función del tiempo ***t*** en horas. Este valor corresponde a la humedad por encima de la humedad de equilibrio, el cual puede ser eliminado por secado en las condiciones dadas de humedad relativa.

Para obtener la curva de secado se recurre a la siguiente expresión:

$$R = -\frac{W_S}{A}\left(\frac{\partial X}{\partial t}\right) \qquad \text{(Ec. 2.10)}$$

Donde:

$\boldsymbol{R}$ = Velocidad de secado (kg de H_2O/h m^2)

$\boldsymbol{W_S}$ = Kilogramos de sólido seco.

$\boldsymbol{A}$ = Área superficial expuesta al secado (m^2)

Resulta interesante conocer el comportamiento del coeficiente de difusión de agua tanto en el secado convencional como en el secado con tratamiento osmótico, para lo cual se utilizan las ecuaciones 2.4 y 2.5, enunciadas anteriormente, con lo cual se conocerá la facilidad de difusión de agua desde el tejido de la fruta hacia la superficie de secado.

2.2.4. Análisis Físico – Químicos.

Porcentaje de pérdida de peso (ΔM)

El porcentaje de pérdida de peso durante el proceso de deshidratación osmótica se calculó usando la siguiente fórmula:

$$\Delta M = \frac{M_o - M_t}{M_o} \qquad \text{(Ec. 2.11)}$$

Donde:

ΔM = Pérdida de peso.

M_o = Masa inicial de la muestra (g).

M_t = Masa de la muestra deshidratada osmóticamente al tiempo t (g).

Sólidos solubles.

Con el análisis de los sólidos solubles se estimó el contenido de azúcares en los trozos de carambola durante la experimentación de deshidratación osmótica, y a los trozos secos de carambola tratados osmóticamente como parámetro de producto final. La técnica más utilizada en la medición de este parámetro es a través de la refractometría. Los análisis se realizaron según la norma INEN 380.

Humedad.

Se determinó la humedad para el producto final obtenido, el mismo que se lo realizó por secado en estufa y diferencias de peso de acuerdo al método 934.06 (37.1.10) del AOAC. La temperatura a la que se operó en la estufa fue de 110 ºC. Cabe indicar que los análisis fueron realizados por duplicado.

pH.

Como parámetro final del producto obtenido se realizó la determinación del pH, a través de un potenciómetro el cual mide directamente el valor del pH; introduciendo el electrodo en la muestra la misma que ha sido previamente preparada añadiendo agua destilada desionizada.

Acidez.

Dado que la acidez determina el estado de conservación de los alimentos, basándose en los procesos de descomposición por hidrólisis, oxidación o fermentación, se determinó la acidez para el producto final obtenido.

Básicamente se trata de una titulación con una solución valorada de NAOH 0.1 N frente a fenolftaleína como indicador, hasta la aparición de color rosado que persista por 30 segundos. Seguido de esto se registra el porcentaje de acidez titulable a través de la siguiente expresión.

$$\%Acidez\ Titulable = \frac{V * N * MeqAc. * 100}{m} \qquad \text{(Ec. 2.12)}$$

Donde:

V = Consumo en ml de NaOH 0.1 N

N = Normalidad de NaOH

Meq. Ac. = Miliequivalente del ácido predominante (0.07 del ácido cítrico en frutas).

m = Peso de la muestra en gramos.

2.2.5. Análisis Sensoriales.

El análisis sensorial de los alimentos ha sido desde siempre un factor determinante en la aceptación de productos ya sean estos nuevos en el mercado, con modificaciones en su formulación o de la imitación de productos de la competencia.

El desarrollo de nuevos productos dentro de un mercado necesita de la discriminación que puede hacer el consumidor final a este; proporcionando así información muy valiosa para la empresa que lo está presentando. Es por esto, que en este trabajo es imperioso realizar un panel sensorial que indique el grado de satisfacción que provoca en los consumidores los trozos secos de carambola deshidratados osmóticamente.

Prueba de medición del grado de satisfacción.

Con el uso de estas pruebas se maneja más objetivamente datos tan subjetivos como son las respuestas de los jueces acerca de cuánto le gusta o les disgusta un alimento (1).

Para llevar a cabo esta prueba se utilizó una escala hedónica verbal de nueve puntos en la cual el punto central de la escala correspondía a **<<ni me gusta ni me disgusta>>**. La muestra fue presentada al panelista tal como recomienda Anzaldúa –

Morales, 1994. En el apéndice A se muestra el esquema del cuestionario utilizado para la realización del panel sensorial.

2.2.6. Estudio de Estabilidad de trozos secos de carambola.

La estabilidad de los alimentos posee una estrecha relación con la actividad de agua, ya que es de mucho interés al momento de diseñar un empaque para determinado producto, conocer la disponibilidad que tiene el agua en el alimento para que se presenten las reacciones de deterioro que el producto mismo.

Existen varios factores que pueden disminuir la estabilidad del producto, entre los que encontramos:

a) Cambios microbianos.

b) Reacciones enzimáticas y no enzimáticas.

c) Cambios físicos y estructurales.

d) Destrucción de nutrientes, aroma y sabor.

En el caso de los trozos secos de carambola deshidratados osmóticamente, se tiene un producto con alto contenido de sólidos lo cual ayuda a la no proliferación de microorganismos, dada la relativa baja actividad de agua del jarabe concentrado, sin embargo por tratarse de un producto seco, y poseer características higroscópicas se ve afectado por la ganancia de

humedad y en consecuencia se podría convertir en un producto inaceptable para el consumidor.

Es comprensible que la vida útil de los productos alimenticios no solo depende de las características y cambios del producto sino también de las condiciones ambientales y del empaque. Es por esto que en este trabajo se analiza la vida útil del producto en un determinado tipo de empaque, semejando condiciones ambientales extremas en la ciudad de Guayaquil (32 ºC y 100 % HR)

Predicción de vida útil de trozos secos de carambola tratados osmóticamente.

Para realizar la predicción de la vida útil del producto, se procedió a armar un sistema experimental el cual consistió en simular condiciones ambientales extremas en la ciudad de Guayaquil a 32 ºC, temperatura que se mantuvo constante durante el tiempo de la experimentación. Así mismo se utilizó agua para producir un ambiente de 100 % de humedad relativa valor que

se la utilizó con la finalidad de analizar el comportamiento del plástico en condiciones extremas.

En el interior del sistema armado se colocó en bolsas trilaminadas de 10 cm. x 10 cm. con producto. El experimento se realizó por duplicado como se muestra en la figura 2.9. La relación $\frac{\textit{Volumen de producto}}{\textit{Volumen de empaque}}$ fue de 50 %.

FIGURA 2.9 SISTEMA EXPERIMENTAL UTILIZADO PARA ESTUDIO DE VIDA ÚTIL.

La experimentación consistió en tomar pesos periódicos, registrando la ganancia de humedad del producto a través del tiempo, datos utilizados para la predicción de la vida útil del producto.

Este experimento permite conocer el tiempo de vida útil del producto para las condiciones de empacado establecidas. Con la determinación de este valor se pueden realizar comparaciones con plásticos con características similares de permeabilidad, analizando costos, resistencia, durabilidad y tiempo de vida útil.

Para calcular la permeabilidad (k/x) a la transmisión de vapor de agua del plástico para que el producto se mantenga en condiciones óptimas, se utiliza la siguiente expresión (11):

$$\boxed{ln\tau \approx ln\left(\frac{me-mi}{me-m}\right) \approx \frac{k}{x}\frac{A}{w_s}\frac{P_o}{b}\theta} \qquad \text{(Ec. 2.13)}$$

Donde:

τ = Contenido de humedad no completado.

me = Contenido de humedad en la isoterma que está en equilibrio con la temperatura y humedad externa.

mi = Contenido de humedad inicial en base seca.

m = Contenido de humedad a un determinado tiempo.

$\frac{k}{x}$ = permeabilidad máxima del alimento en g H_2O/día m^2 mmHg.

A = Área del empaque (m^2).

w_s = Peso del sólido seco (g).

P_o = Presión de vapor de agua a la temperatura T (mmHg).

b = pendiente obtenida de la isoterma de absorción.

De la misma expresión se obtiene el tiempo de vida útil de producto para las condiciones de permeabilidad al vapor de agua del empaque utilizado en el estudio.

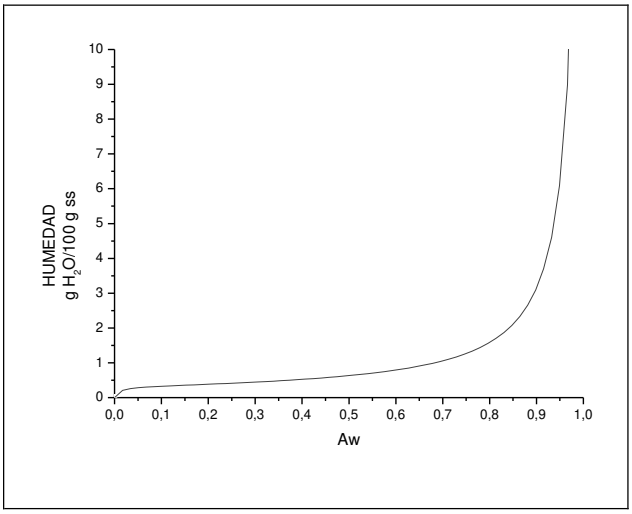
CAPÍTULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS.

3.1. Isotermas de Absorción.

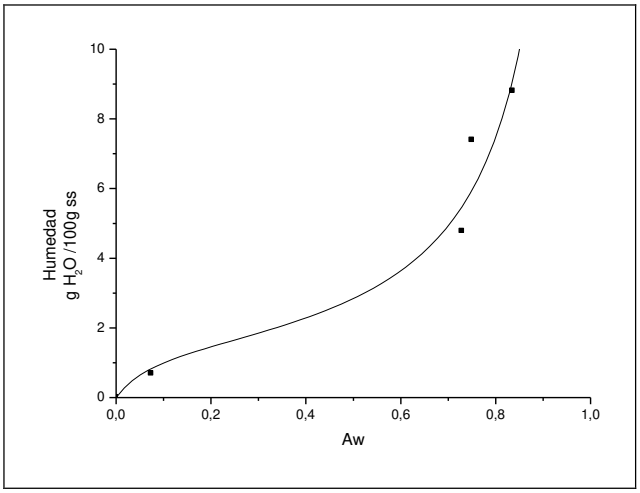
Con la finalidad de analizar el comportamiento de las carambolas frente a la actividad de agua de las diferentes sales utilizadas para este estudio, se elaboraron las isotermas de absorción tanto para las carambolas sin ningún tratamiento, como para el producto final obtenido en este trabajo.

Las isotermas resultantes de la experimentación mediante el método isopiéstico y ajustadas a través del modelo matemático de GAB para la carambola como materia prima y para el producto final obtenido del proceso, se muestran en las figuras 3.1 y 3.2 respectivamente.



Monocapa :	0.3229 g/100g

FIGURA 3.1 ISOTERMA DE SORCIÓN DE CARAMBOLAS (MATERIA PRIMA)



Monocapa:	1.5417 g/100g

FIGURA 3.2 ISOTERMA DE SORCIÓN DE PRODUCTO FINAL

Como ya se indico anteriormente, el análisis de las isotermas de absorción se lo realizó a una temperatura constante de 32 ºC, es así que, analizando las isotermas obtenidas, se observa que en el caso de las carambolas sin tratamiento alguno, el contenido de humedad de la monocapa es de 0.3229 g H_2O/100 g ss, mientras que para las carambolas secas (pre-tratadas osmóticamente), el valor de la monocapa es de 1.5417 g H_2O/100 g ss.

Analizando los valores obtenidos se puede notar claramente la influencia que ejercieron los tratamientos aplicados a los trozos de fruta. De tal manera, que se obtiene un valor de la monocapa mucho mayor en la fruta con los tratamientos aplicados que el de la fruta como materia prima. Cabe recalcar que el valor de la monocapa es el contenido de humedad que forma la primera capa de agua en contacto con las moléculas de las estructura del alimento. Por lo tanto, este valor presenta una intima relación con la estabilidad del producto, sabiendo que, mientras mayor es el contenido de la monocapa mayor es la estabilidad.

Analizando la figura 3.3, se observa el fenómeno de histéresis en el cual las curvas de adsorción y desorción son diferentes. Esto se debe a la falta de un verdadero equilibrio, ya que el proceso de adsorción empieza desde un sistema seco (producto final) mientras que el proceso de desorción comienza desde un sistema húmedo (materia prima). De lo que se infiere que, durante el secado (desorción) algunos

solutos se sobresaturan, adsorbiendo más cantidad de agua a menor (aw). Así también los capilares se encuentran vacíos durante la desorción por lo tanto la superficie de los poros podrá atrapar más cantidad de agua internamente. En cambio, durante la adsorción; los poros podrían estar más cerrados y grandes cuerpos (como el H_2O) tendrá más dificultad para entrar.

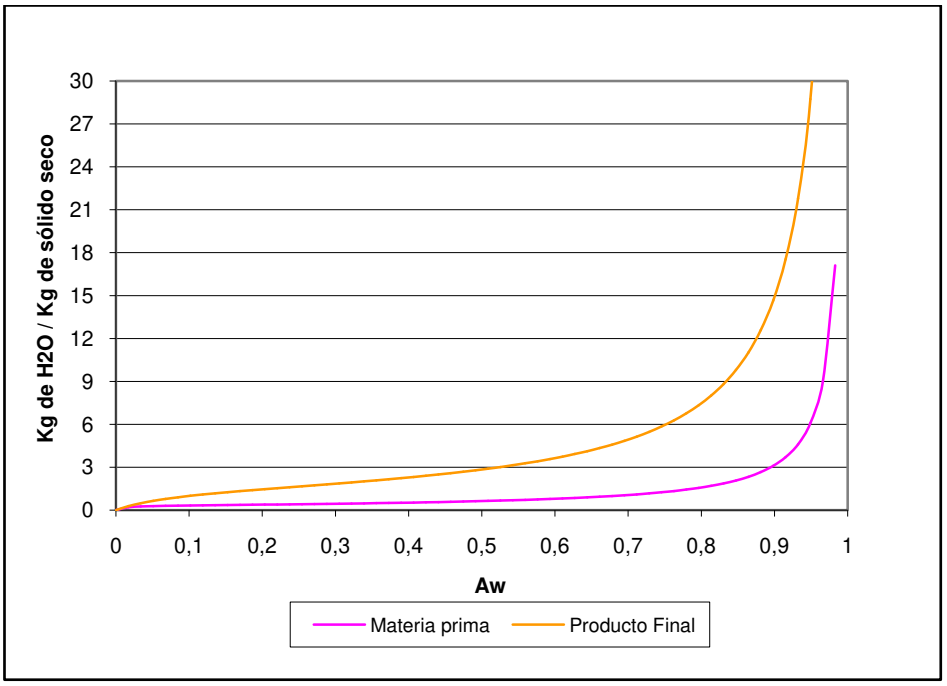


FIGURA 3.3 ISOTERMAS DE ADSORCIÓN Y DESORCIÓN PARA MATERIA PRIMA Y PRODUCTO FINAL OBTENIDO

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo Ortíz., 2007

Determinación de la Humedad Crítica.

Como ya se indico, es importante conocer la humedad crítica del producto obtenido para en lo posterior analizar la estabilidad del mismo; para lo cual se siguió el procedimiento descrito en el capítulo 2. En la

tabla 6 se muestra el contenido de humedad de la muestra en los diferentes tiempos de análisis conjuntamente con el análisis sensorial realizado (prueba de aceptación), para el cual se utilizó una escala de calificación, la misma que se muestra en la tabla 5.

TABLA 5

ESCALA DE CALIFICACION UTILIZADA EN EL ANÁLISIS SENSORIAL.

Escala Sensorial de Sabor	Puntaje de Escala
Sabor agradable	3
Sabor simple	2
Sabor simple - amargo	1

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

TABLA 6

CONTENIDOS DE HUMEDAD Y EVALUACION SENSORIAL PARA DETERMINACIÓN DE HUMEDAD CRÍTICA.

Tiempo (min.)	Humedad en Base Seca (g H_2O/100 g ss)	Puntaje de Evaluación Sensorial
0	0.87	3
5	0.87	3
10	2.54	3
15	4.21	3
20	5.05	3
30	5.61	3
40	6.72	2
50	9.51	2
60	10.29	2
70	12.59	1

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

De los valores tabulados en la tabla 6, se nota que a los 70 minutos de análisis el contenido de humedad es de 12.59 g H_2O/100 g y que el sabor a este tiempo tiene una puntuación de 1, lo que corresponde a simple-amargo, estableciendo de esta manera que el contenido de humedad critico para el producto.

Según la isoterma de absorción obtenida, el valor de la monocapa es de 1.5417 g/100g valor que se encuentra por debajo de la humedad crítica obtenida. Por lo tanto el contenido máximo de humedad permisible para los trozos secos de carambola tratados osmóticamente a 32 ºC es 12.59 g H_2O/100 g o 11.18 % de humedad.

3.2. Cinética de Deshidratación Osmótica.

En este trabajo se estudió la cinética de deshidratación osmótica a presión atmosférica (1 atm) y a temperatura de 32 ºC constante en todos los análisis realizados. Se estudio el comportamiento de la carambola a diferentes concentraciones de la solución osmótica, con la finalidad de conocer la concentración de jarabe idónea para el producto. El estudio de la cinética de deshidratación osmótica se lo realizó determinando la cantidad de pérdida de agua y ganancia de sólidos, así como también la velocidad de eliminación de agua y la consecuente velocidad de ganancia de sólidos.

Pérdida de agua y ganancia de sólidos.

Sabemos que los fenómenos más importantes que son analizados en un proceso de deshidratación osmótica son la remoción del contenido de agua de la fruta, el cual se espera sea del 45% y el ingreso de sólidos procedentes del jarabe de inmersión hacia la fruta. A continuación se analizan los resultados obtenidos para estos dos fenómenos.

Pérdidas de agua.

Utilizando la ecuación 2.2 se determinó la pérdida de agua para cada uno del los experimentos realizados, los cuales se ilustran en la figura 3.4.

El experimento realizado a 60º Brix de concentración de la solución de sacarosa, es el que presenta las mayores pérdidas de agua, ya que

después de una hora de proceso, la carambola había perdido aproximadamente el 45 % de su contenido de agua, mientras que el experimento realizado a 50 ºBrix alcanzó la dismunición del 45% de su contenido de agua a las 3 horas de proceso. Se puede determinar que mientras más alta es la concentración del jarabe de sacarosa mayor es la pérdida de agua en la fruta; aunque este aumento de la perdida de agua también se ve afectado por el incremento de la temperatura; tal como lo han demostrado estudios realizados con otras frutas (7).

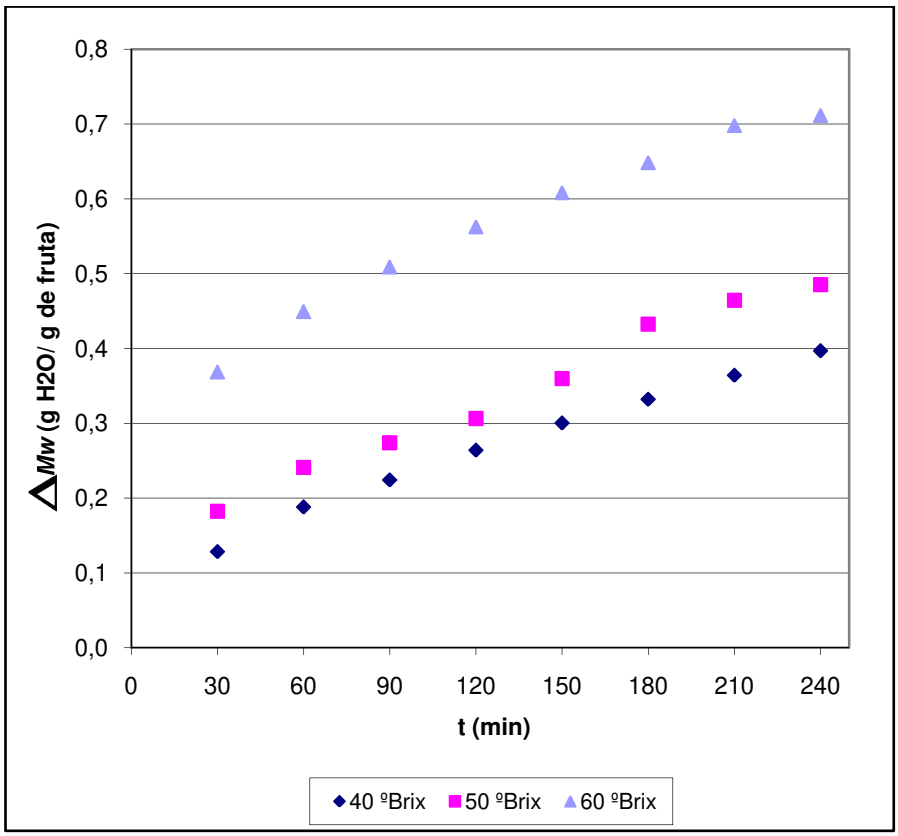
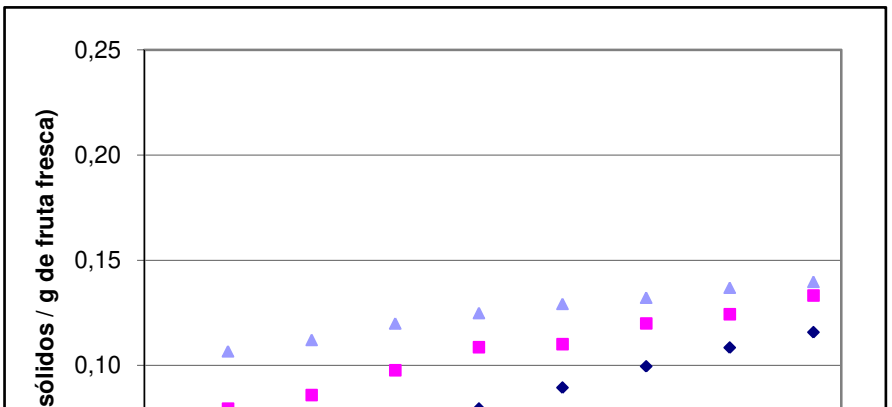


FIGURA 3.4 PÉRDIDAS DE AGUA EN LOS EXPERIMENTOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SACAROSA

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Ganancia de Sólidos.

En la figura 3.5 se esquematiza los sólidos ganados para las diferentes concentraciones de sacarosa utilizadas en este estudio, los mismos que fueron determinados por medio de la ecuación 2.3.



◁

FIGURA 3.5 GANANCIA DE SÓLIDOS EN LOS EXPERIMENTOS A DIFERENTES CONCENTRACIONES DE SACAROSA

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Tal como se indico en el capítulo 2 la deshidratación osmótica como tal, ayuda a través de la incorporación de solutos a la fruta, entre otras características, a la reducción del pardeamiento de la fruta y a la retención de compuestos volátiles, con lo cual se obtiene un producto con buenas características organolépticas.

Sin embargo la finalidad de la deshidratación osmótica no radica en incorporar solutos a la fruta; por el contrario esta se basa en una remoción de agua con la menor entrada de solutos al alimento. Por lo que en el análisis de la ganancia de sólidos, lo que se busca es establecer la concentración de sacarosa que genere un menor incremento de sólidos en los trozos de carambola.

Del experimento realizado se deduce que a la concentración de 60 ºBrix se logra una mayor incorporación de sólidos. Realizando la comparación con las otras concentraciones, se puede afirmar que mientras mayor es la concentración del jarabe de sacarosa, mayor será el incremento de sólidos en la fruta. Cabe acotar que no existió diferencia significativa en el incremento de sólidos entre las concentraciones de sacarosa de 60 ºBrix y 50 ºBrix; sin embargo sensorialmente a la concentración de 60 ºBrix el sabor del trozo de fruta era muy fuerte, tornándose desagradable al paladar. Lo cual se lo demuestra en el análisis del coeficiente de difusión de sólidos, el mismo que se enunciará posteriormente.

Es necesario señalar que durante el estudio, se realizó una prueba preliminar sumergiendo los trozos de fruta en jarabe de sacarosa a 50 º Brix una temperatura de 55 ºC, en donde se pudo comprobar la sensibilidad del tejido de la fruta a la exposición a altas temperaturas; razón por la cual se decidió realizar este estudio a 32 ºC, con la finalidad de no estropear la estructura original de la carambola.

Velocidad de pérdida de agua y velocidad de ganancia de sólidos.

Velocidades de pérdida de agua.

La figura 3.6 muestra las velocidades de pérdida de agua para cada uno de los experimentos realizados en función del tiempo, los que se obtuvieron al calcular las pendientes del gráfico de humedad libre vs.

tiempo expuesto en el apéndice B; mientras que en el apéndice C se presentan los valores de las velocidades de pérdida de agua.

Realizando una comparación de los resultados obtenidos, en la figura 3.6 se puede apreciar que las mayores pérdidas de agua se dan en los primeros 10 minutos del proceso. Siendo el proceso realizado a 60 ºBrix el que presenta mayores pérdidas de agua en relación a los demás. Además se puede indicar que las velocidades de pérdida de agua a las diferentes concentraciones luego de 1 hora de proceso son similares, con lo que se deduce que luego de 4 horas de tratamiento, el proceso de ósmosis tiende al cuasi- equilibrio en la fruta.

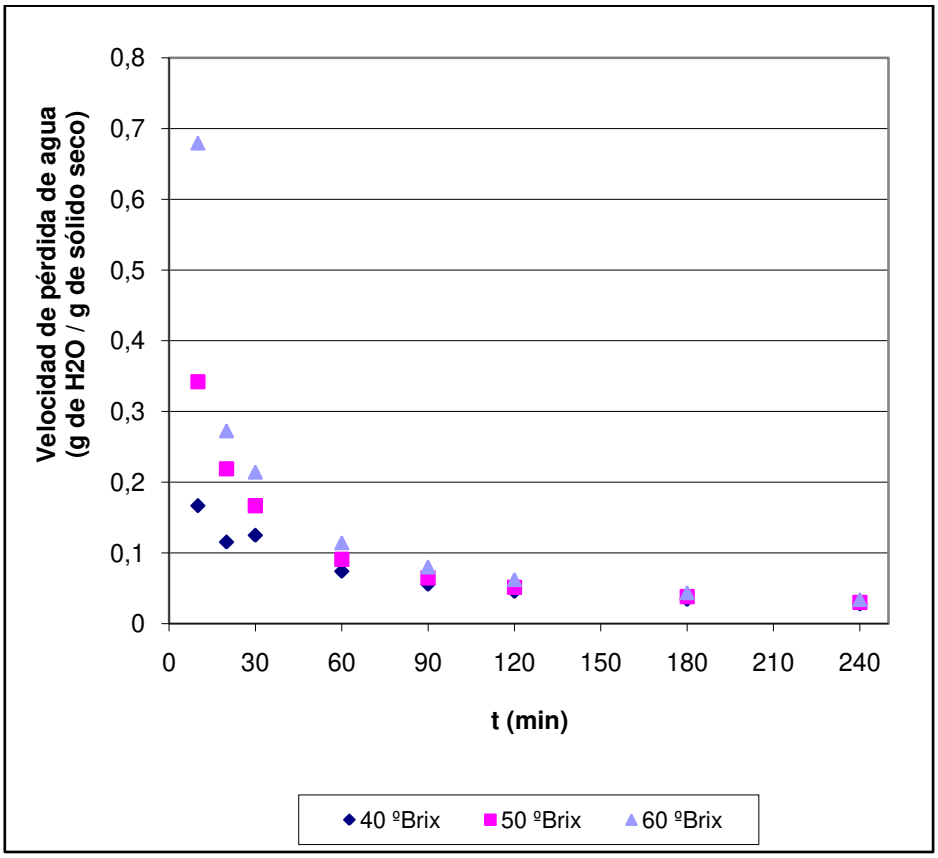


FIGURA 3.6 VELOCIDADES DE PÉRDIDA DE AGUA A LAS DIFERENTES CONCENTRACIONES DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Velocidades de ganancia de sólidos.

En la figura 3.7 se muestran las velocidades de las diferentes concentraciones de sacarosa en estudio. Se puede observar que las mayores velocidades de ganancia de sólidos se presentan durante los primeros minutos del tratamiento, destacando que a la concentración de 40 ºBrix, se presenta las menores velocidades de ganancia de sólidos. En el apéndice D se presentan los valores de las velocidades a las diferentes concentraciones de deshidratación osmótica.

Así mismo se puede notar que las velocidades decrecen gradualmente en el transcurso del proceso, lo cual se debe a que la solución osmótica se va diluyendo por la presencia del agua que ha perdido la carambola, con tendencia al equilibrio en las últimas horas de proceso disminuyendo de esta manera la transferencia de masa.

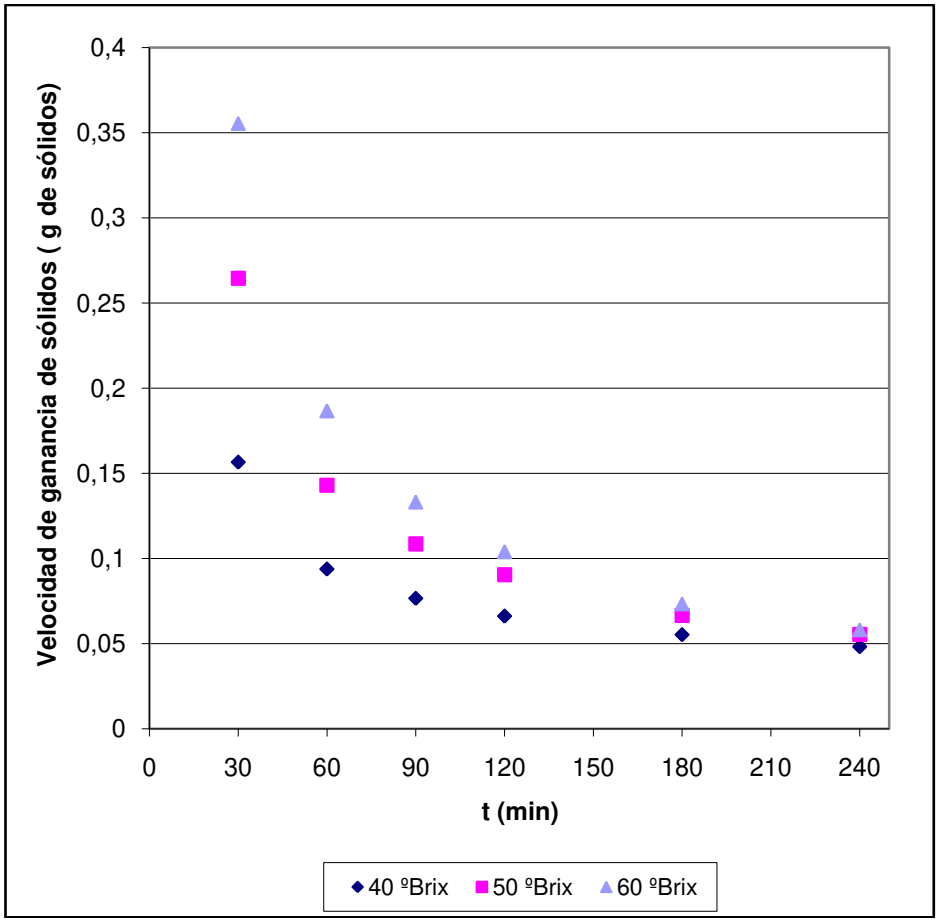


FIGURA 3.7 VELOCIDADES DE GANANCIA DE SÓLIDOS A LAS DIFERENTES CONCENTRACIONES DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Coeficientes de difusión de agua y sólidos.

La determinación de los coeficientes globales de transferencia de masa, ayuda en gran manera a la selección adecuada de la concentración de

solución osmótica a utilizar en el proceso de tratamiento osmótico, ya que, establecen la dificultad para el transporte de un determinado componente entre dos fases inmisibles. Los valores de los coeficientes de difusión del agua ($\mathbf{K_W}$) y de los coeficientes de difusión de sólidos ($\mathbf{K_{SG}}$), se presentan en la tabla 7, los mismos que fueron calculados a partir de las pendientes de los gráficos expuestos en los apéndices E y F, respectivamente.

TABLA 7

COEFICIENTES DE DIFUSIÓN DE AGUA Y SÓLIDOS PARA LA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA DE CARAMBOLAS

Soluciones osmóticas	K_W	R^2	K_{SG}	R^2
40	0.0316	0.9961	0.0726	0.8491
50	0.0347	0.988	**0.0685**	0.9456
60	0.0478	0.9767	0.0783	0.9885

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Al realizar la comparación de los coeficientes de difusión del agua (K_W) para las diferentes soluciones osmóticas, conviene escoger el que presente mayor (K_W), ya que al obtener su inverso sería el que represente menor resistencia a la transferencia de agua. Por lo tanto se escogería el proceso realizado a 60 ºBrix.

Sin embargo en lo que se refiere a los coeficientes de difusión de sólidos, lo que se busca es el que ofrezca mayor resistencia a la

difusión de sólidos, por lo tanto conviene el menor coeficiente (K_{SG}), siendo este el proceso realizado a la concentración de 50 ºBrix. Este fenómeno se da debido a que en la deshidratación osmótica tanto el agua como los sólidos procedentes de la solución osmótica compiten por difundirse hacia el alimento (sólidos) y desde el alimento hacia la superficie (agua). En lo que comparando los procesos realizados a 50 y 60 ºBrix nos podemos dar cuenta que cuando se difunde más agua (60 ºBrix) ingresan más sólidos a la fruta.

Luego de los análisis realizados, se toma la decisión de escoger la concentración de 50 ºBrix de la solución osmótica para el proceso de deshidratación osmótica previo al secado convencional.

3.3. Determinación de la Velocidad de Secado.

Con el interés de conocer la influencia del tratamiento osmótico previo al secado convencional de la fruta, se realizó la determinación de la velocidad de secado tanto para muestras de carambola secadas convencionalmente como para muestras de la fruta tratadas osmóticamente previo al secado convencional.

Es así que, luego de transformar los datos obtenidos de la experimentación a través de la ecuación 2.8, se obtienen las curvas de humedad libre en función del tiempo, los valores fueron obtenidos a través de la aplicación de la ecuación 2.9.

En las figuras 3.8 y 3.9 se muestran las curvas de humedad libre en función del tiempo, obtenidas tanto para la fruta secada convencionalmente como para la fruta con tratamiento osmótico previo al secado convencional.

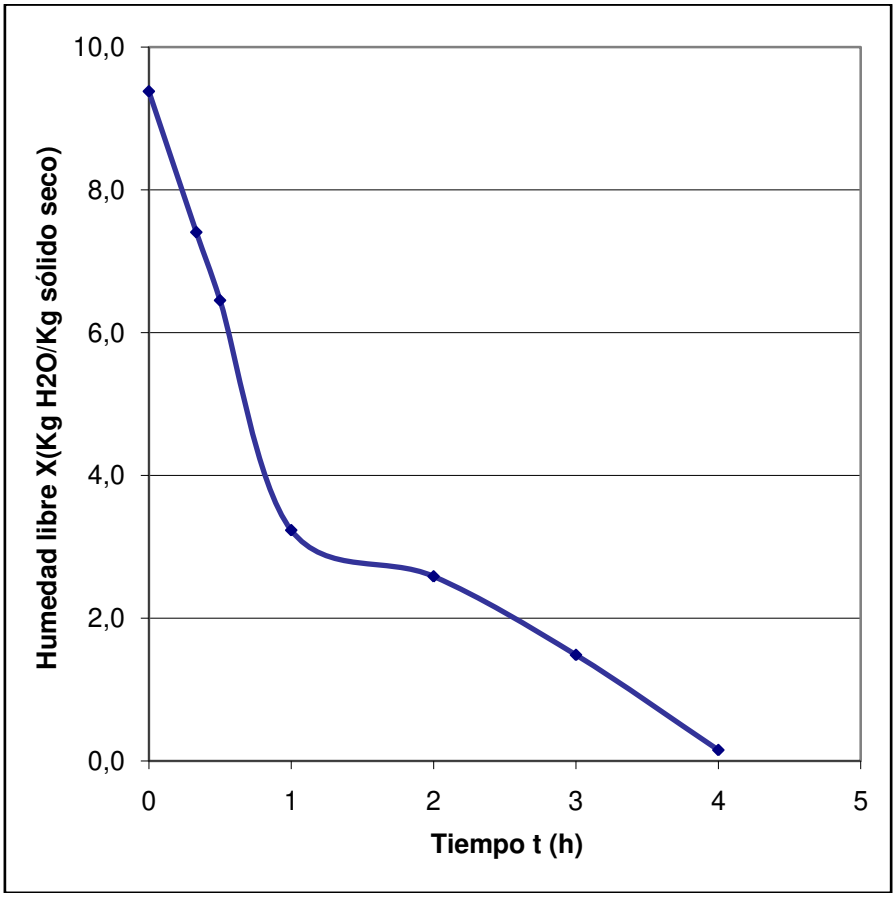


FIGURA 3.8 CURVA DE HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARA CARAMBOLAS SECADAS CONVENCIONALMENTE.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

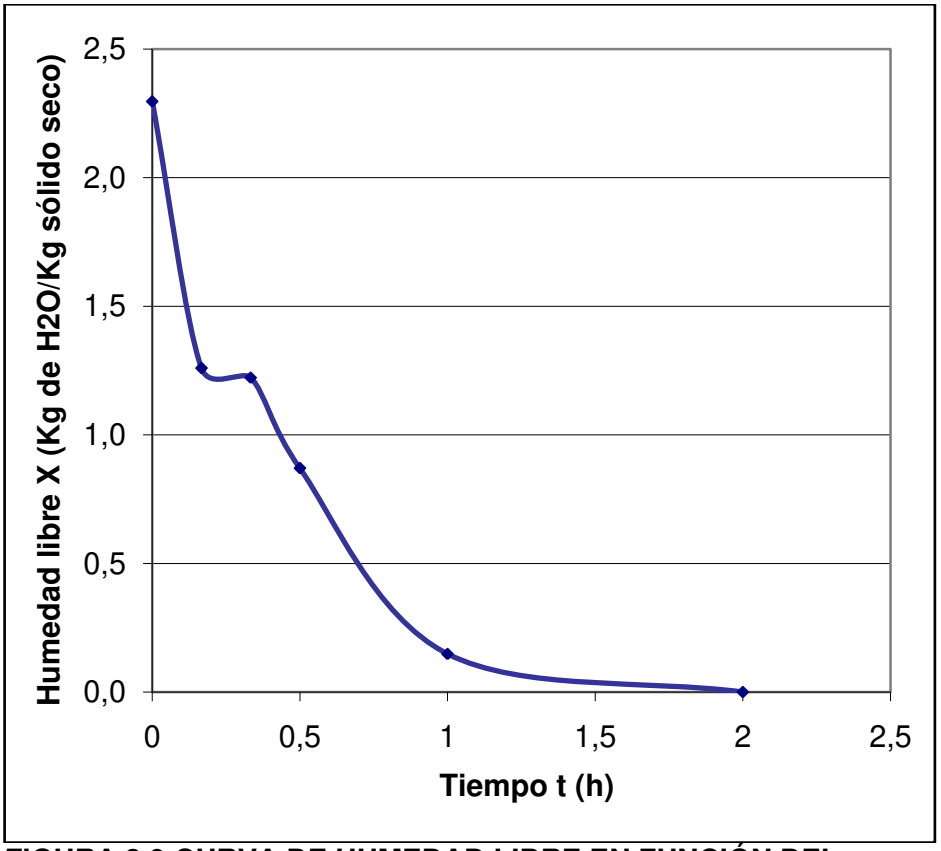


FIGURA 3.9 CURVA DE HUMEDAD LIBRE EN FUNCIÓN DEL TIEMPO PARA PRODUCTO FINAL.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Los valores correspondientes a las gráficas 3.8 y 3.9 de humedad versus tiempo libre se exponen el apéndice G. Luego, utilizando la ecuación 2.10, se obtienen las velocidades de secado en función de la humedad libre para los 2 procesos en análisis, las mismas que se muestran en las figuras 3.10 y 3.11, mientras que los valores de las velocidades se muestran en el apéndice H.

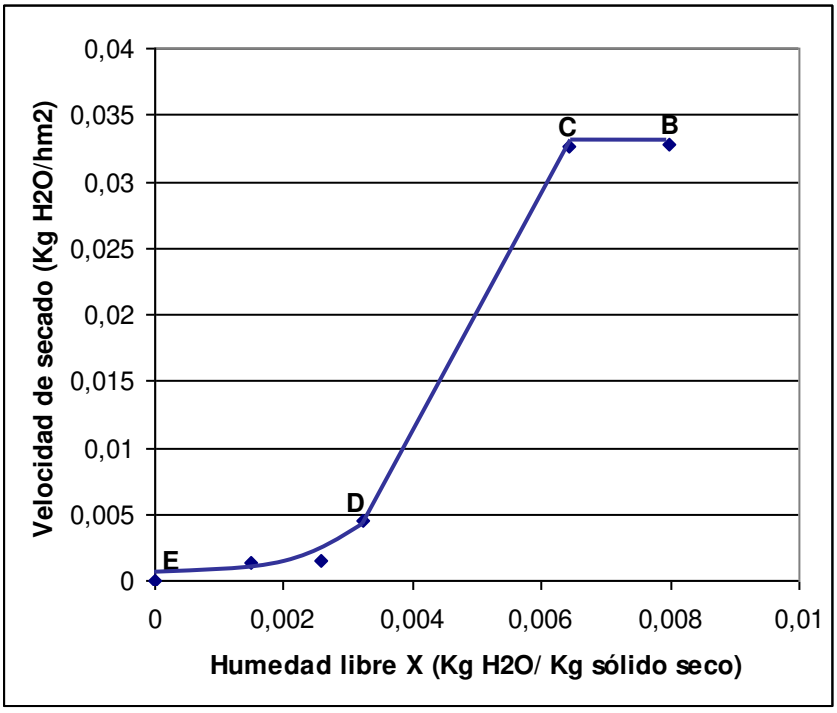


FIGURA 3.10 CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO PARA SECADO CONVENCIONAL DE TROZOS DE CARAMBOLA.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

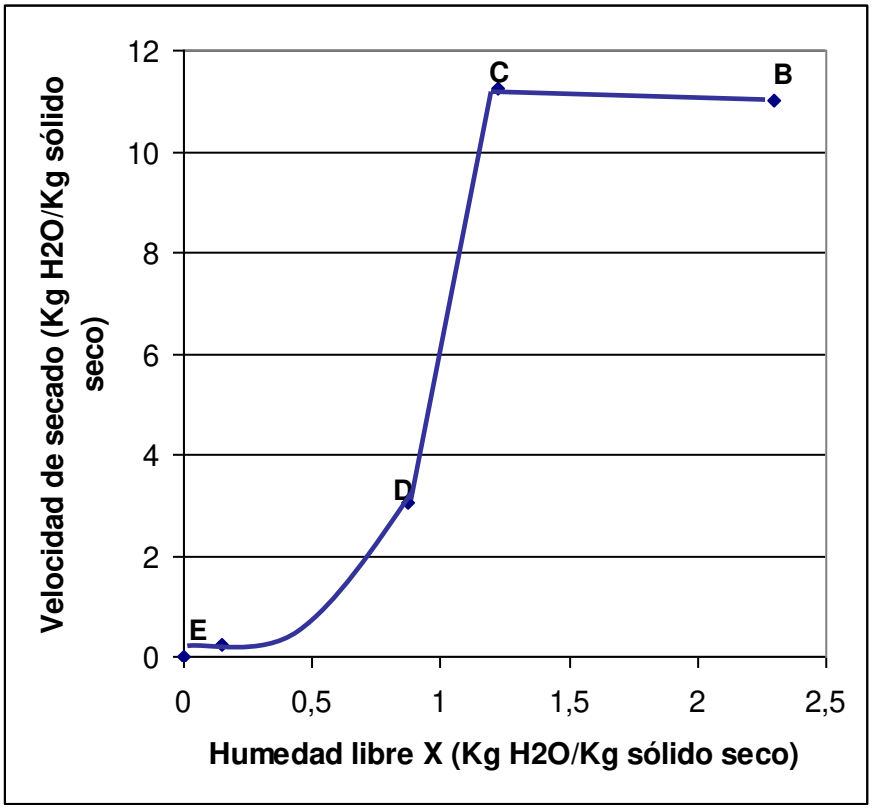


FIGURA 3.11 CURVA DE VELOCIDAD DE SECADO PARA PRODUCTO FINAL.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Sabiendo que, el contenido de humedad libre es el que se puede eliminar por secado ya que es el que se encuentra disponible para migrar del alimento, se observa en las gráficas 3.8 y 3.9 que, al realizar un secado convencional existirá mayor agua por eliminar, mientras que al realizar el secado a muestras que han recibido un tratamiento preliminar que ayude a la eliminación parcial del contenido de agua del alimento, como lo es la deshidratación osmótica , en el secado habrá

que retirar menos cantidad de agua. Por lo tanto, se necesitará menos tiempo de secado hasta llegar al peso constante.

Refiriéndonos a las gráficas de velocidad de secado expuestas en las figuras 3.10 y 3.11 respectivamente, se deduce que para el secado convencional de las muestras de carambola el periodo de velocidad constante (**BC**) es menor en comparación con el de las muestras tratadas osmóticamente, esto se debe a que el agua se encuentra más ligada debido a la presencia del azúcar. Mientras que, para el período decreciente (**CD**) la pendiente para el proceso de secado con las muestras tratadas osmóticamente es mayor en comparación con la del secado convencional, por ende las muestras tratadas osmóticamente tendrán mayor velocidad de secado en este período de la curva.

Esto se debe a las diferentes formas de ligar el agua; en las que existen uniones fuertes y débiles; éstas últimas son más fáciles de romper facilitando la salida del agua libre de la superficie de la fruta. Lo cual se demuestra a través de la determinación del coeficiente de difusión del agua a partir de las pendientes de los gráficos expuestos en el apéndice I. En la tabla 8 se observan los coeficientes de difusión del agua para los dos procesos; en donde se observa que el secado de las muestras con tratamiento osmótico tiene mayor (***Kw***), es decir, que posee menos resistencia a la difusión del agua que el secado convencional.

En el periodo (**D**) analizado en las dos gráficas, se observa la disminución de la velocidad de secado con mayor rapidez hasta llegar al punto **E**; donde el contenido de humedad de equilibrio es cercano a 0.

TABLA 8

COEFICIENTES DE DIFUSIÓN DE AGUA PARA SECADO CONVENCIONAL Y PRODUCTO FINAL.

Procesos de Secado	**K_W**	**R^2**
Secado Convencional de trozos de carambola	0.0565	0.8665
Secado de trozos de carambola tratados osmóticamente	0.0613	0.7827

Ela borado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

3.4. Análisis Físico – Químico.

Sólidos Solubles.

Se determinó el valor de sólidos solubles (ºBrix) para los trozos secos obtenidos del secado convencional y para los obtenidos con la aplicación de deshidratación osmótica previo al secado. Los valores obtenidos se exponen en la tabla 8, junto con los demás parámetros analizados.

Humedad, pH y Acidez.

Con la intención de mostrar las características físico- químicas que presentaron los trozos secos de carambola tratados osmóticamente obtenidos, se determinó la humedad, pH y acidez a través de los métodos y procedimientos expuestos en el capítulo 2.

En la tabla 9 se exponen los parámetros anteriormente descritos, de los cuales se destaca el pH obtenido de 3.9. Ya que a estos niveles se inhibe la producción de la letal toxina del botulismo por parte del *Clostridium botulinum* (25). Los demás parámetros obtenidos son característicos de productos obtenidos a través del secado.

TABLA 9

CARACTERISTICAS FISICO-QUÍMICAS DE LOS PRODUCTOS OBTENIDOS.

Parámetros Físico-Químicos	Carambolas con secado convencional	Carambolas secas tratadas osmóticamente
Sólidos Solubles (ºBrix)	67	82
Humedad (%)	21	8.4
pH	4.20	3.96
Acidez (% ac. cítrico)	0.22	0.12

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

3.5. Análisis Sensorial.

Descrita la importancia del análisis sensorial en la obtención de información para un determinado producto, y la influencia de este en los consumidores, se realizaron pruebas sensoriales de nivel de agrado para medir el grado de satisfacción al degustar los trozos secos de carambola tratados osmóticamente, para lo cual se hace uso de las escalas hedónicas, de mucha utilidad para este tipo de análisis.

Se realizo un panel sensorial de degustación de 50 jueces no entrenados (consumidores habituales), quienes luego de probar la muestra presentada llenaron el formulario expuesto en el apéndice A. En el cual se utiliza la escala hedónica para calificar el grado de satisfacción global de la muestra, y se incluye una sección para que los jueces expresen sus comentarios, tal como lo propuso Larmond, 1977. Las muestras fueron presentadas a los degustadores tal como se muestra en la figura 3.12.

FIGURA 3.12 PRESENTACIÓN DE MUESTRAS A JUECES PARA EL PANEL DE DEGUSTACIÓN.

Es necesario acotar que el producto obtenido, al que se le realizó el panel sensorial no posee similitudes en el mercado, por tal motivo la evaluación fue expresamente para el producto en cuestión.

En la figura 3.13 se muestra el diagrama de pareto, el mismo que permite visualizar los resultados obtenidos de la evaluación realizada a los panelistas. Acotando que, la escala hedónica utilizada se encuentra ilustrada en el apéndice A.

Analizando la figura 3.13, se puede indicar que la mayor parte de la población enmarcó el producto presentado con la puntuación verbal << *me gusta mucho* >> correspondiente en la escala hedónica a un puntaje de 8. Con lo cual se puede inferir que el producto tendrá aceptación en el mercado, ya que se encuentra dentro del rango del agrado. Adicionalmente los comentarios que expusieron los panelistas son de mucha ayuda en el momento de decidir lanzar el producto al mercado, ya que se recomienda que el producto mantenga la forma de estrella y que el sabor sea uniforme.

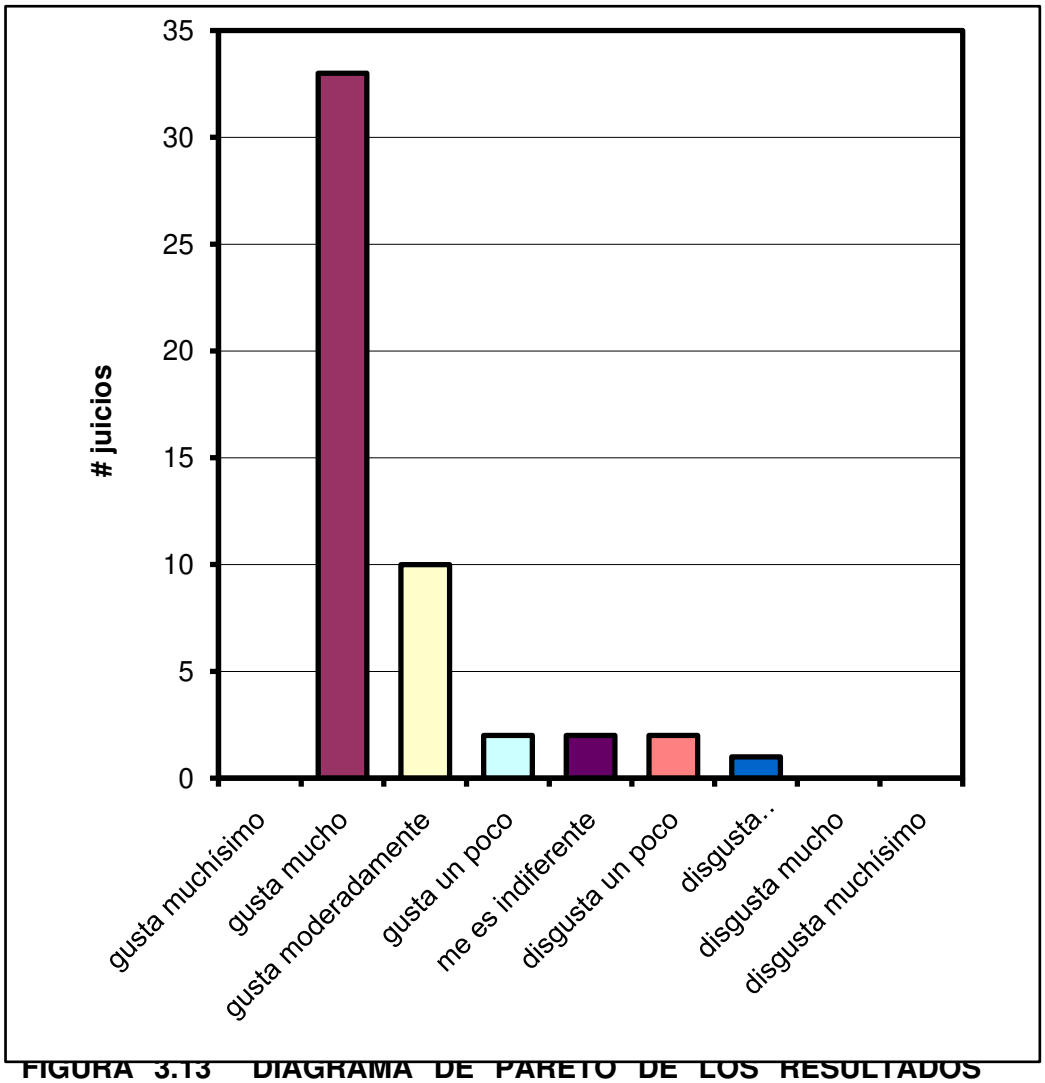


FIGURA 3.13 DIAGRAMA DE PARETO DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

3.6. Determinación del tiempo de vida útil.

Como ya se indico en el capitulo 2, se realizó la predicción del tiempo de vida útil de los trozos secos de carambola tratados osmóticamente bajo condiciones establecidas de temperatura y humedad relativa.

Establecida la isoterma de adsorción (fig. 3.2) y determinada la humedad crítica del producto final (tabla 6), se calculó el tiempo de vida útil del mismo. El cual se ilustra en la tabla 10, para las condiciones del empaque trilaminado (poliéster -polipropileno – polietileno) empleado, el cual presentaba un valor de $\frac{k}{x}$ = 6.25 x 10^{-3} g/m^2/día/mmHg.

TABLA 10

TIEMPO DE VIDA ÚTIL PARA EL PRODUCTO BAJO CONDICIONES DE EMPAQUE ESTABLECIDAS.

$\frac{k}{x}$ **(g / m^2/día/mmHg)** **32ºC y 100 % HR**	**Tiempo de vida útil**
6.25 x 10^{-3}	16 meses

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Analizando lo obtenido de la tabla 10, se puede inducir que el empaque trilaminado que se utilizó en este trabajo, para el estudio de estabilidad

del producto y determinación del tiempo de vida útil, ofrece muy buenas condiciones para que el producto mantenga sus características óptimas durante 16 meses en condiciones de 32 ºC de temperatura y 100 % de humedad relativa.

La determinación del empaque adecuado para los productos alimentos juega un papel importante para su conservación, ya que, no solo se empaca con el objetivo de cubrir al alimento del ambiente o del contacto directo con el consumidor, sino que como se lo demuestra en este trabajo, éstos sirven para preservar sus características por un mayor tiempo que sin empaque alguno no lo tendrían.

Es conveniente indicar que este es el procedimiento que se debe seguir para la selección del empaque en el desarrollo de determinado producto, ya que, se estudian las características del producto a través de la isoterma de adsorción, se establece la humedad crítica del producto y luego de esto se determina el requerimiento de permeabilidad al vapor de agua, para que de esta manera se diseño un empaque que mantenga las condiciones óptimas del producto durante un periodo de tiempo determinado. En la tabla 11 se muestra las características del producto con las condiciones de empaque determinadas.

TABLA 11

CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO Y CONDICIONES DE EMPAQUE.

TROZOS SECOS DE CARAMBOLA TRATADOS OSMÓTICAMENTE	
CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO	
Humedad (%)	8.4
pH	3.96
CARACTERÍSTICAS DEL EMPAQUE	
$\frac{k}{x}$ **(g / m^2/día/mmHg)**	6.25 x 10^{-3}
Tiempo de Vida Útil (meses)	16

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

CAPÍTULO 4

4. DISEÑO DE LA LÍNEA DE PRODUCCIÓN DE TROZOS SECOS DE CARAMBOLA TRATADOS OSMÓTICAMENTE.

4.1. Capacidad de producción.

Tal como se indico en el primer capítulo, en nuestro país se cuenta con proyectos de estudio de producción y adecuación al suelo de cultivo de la carambola. Los mismos que presentan una producción de fruta considerable que puede ser utilizada en este tipo de procesos.

Es así que, recurriendo a los datos proporcionados por la Misión Técnica Agrícola de Taiwán en Ecuador y el Ministerio de Agricultura y Ganadería, de los cuales, se ocuparía la producción de 614.4 Kg al mes proporcionados por la Misión Técnica Agrícola de Taiwán en Ecuador y el 85% de lo establecido en las fincas del proyecto CEDEGE. Con lo cual se utilizaría para la producción mensual 184 Ton. de carambola.

Con la finalidad de aprovechar los equipos instalados para la elaboración de trozos secos de carambola tratados osmóticamente, se utilizarán los equipos para la elaboración de productos similares con frutas tropicales de nuestra región tales como: piña, papaya, banano, entre otros, ya que el principio de elaboración es el mismo.

4.2. Diagrama de Flujo.

Con la finalidad de esquematizar el proceso de elaboración de trozos secos de carambola tratados osmóticamente, se construye el diagrama de flujo del proceso ilustrado en la figura 4.1.

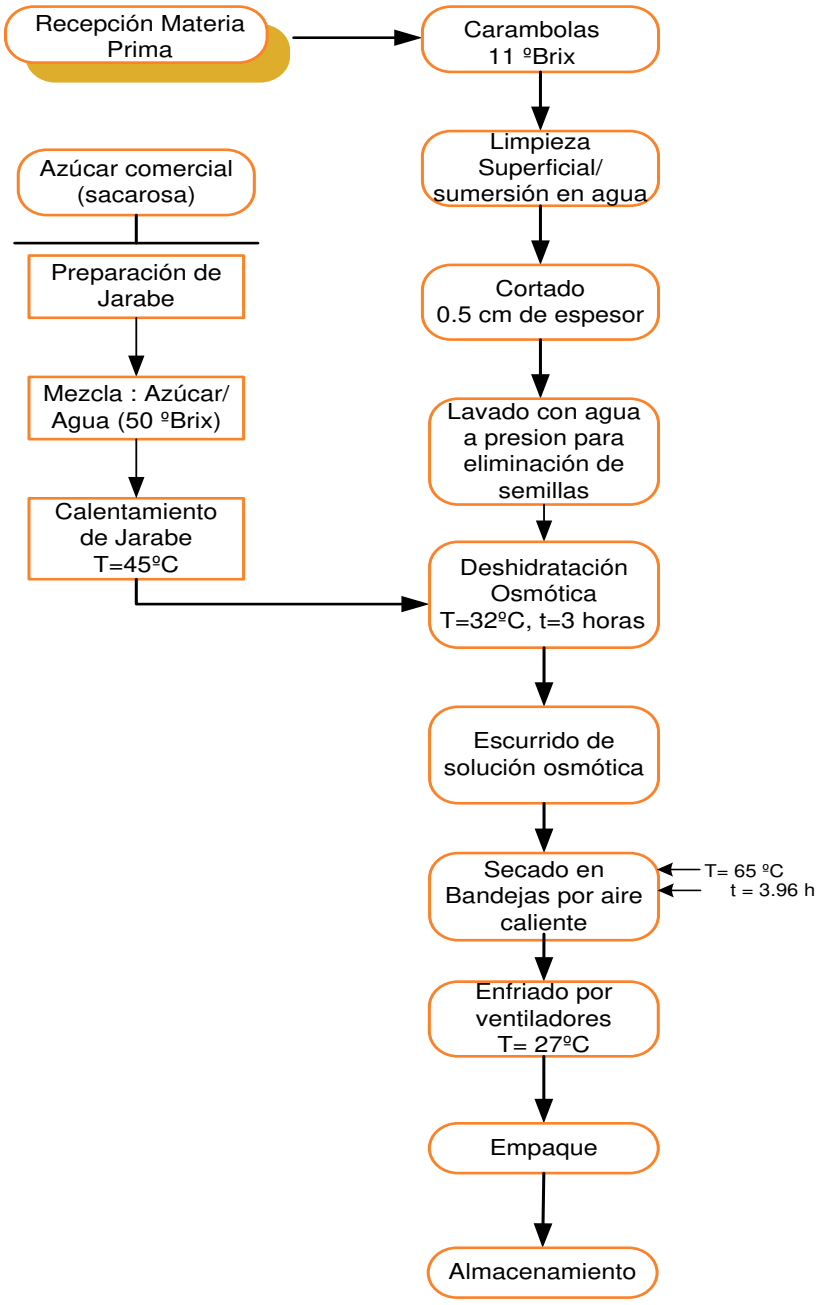

Recepción Materia Prima
Carambolas 11 ºBrix
Limpieza Superficial/ sumersión en agua
Cortado 0.5 cm de espesor
Lavado con agua a presion para eliminación de semillas
Azúcar comercial (sacarosa)
Preparación de Jarabe
Mezcla : Azúcar/ Agua (50 ºBrix)
Calentamiento de Jarabe T=45ºC
Deshidratación Osmótica T=32ºC, t=3 horas
Escurrido de solución osmótica
Secado en Bandejas por aire caliente
T= 65 ºC
t = 3.96 h
Enfriado por ventiladores T= 27ºC
Empaque
Almacenamiento

FIGURA 4.1 DIAGRAMA DE FLUJO PARA OBTENCIÓN DE TROZOS SECOS DE CARAMBOLA TRATADOS OSMÓTICAMENTE.

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

4.3. Equipos y Capacidades.

Una vez definida la capacidad de producción de trozos de carambola, se procede a determinar los equipos necesarios para una línea de producción.

Los equipos básicos utilizados en las diferentes etapas de producción de trozos secos de carambola tratados osmóticamente, se muestran en la tabla 12.

TABLA 12

EQUIPOS BÁSICOS PARA LÍNEA DE PRODUCCIÓN.

Etapa	Equipo Utilizado
Cortado	**Cortadora**
Preparación de jarabe	**Tanque de preparación de jarabe**
Deshidratación a Presión Atmosférica	**Tanque de Deshidratación Osmótica**
Secado	**Secador de Bandejas**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Especificaciones de los equipos.

De los equipos mencionados en la tabla 12, tanto el tanque de preparación de jarabe, deshidratación osmótica y el secador de bandejas tienen que ser diseñados acorde con la capacidad de producción establecida de 768 kg por hora, lo cual se mostrará posteriormente. Los demás equipos son generales y sus especificaciones pueden ser obtenidas a partir de proveedores de equipos industriales.

Cortadora.

Se considera la utilización de este equipo para minimizar las posibles pérdidas de alrededor de 70 % por fruta mal cortada al realizarlo manualmente con cuchillos por el operario, para lo cual se consultó con SIPASA S.A. (Sistemas del Pacifico) representante exclusiva de URSCHEL LABORATORIES INC, USA en el Ecuador (19), recomienda una cortadora cuyas especificaciones se muestran en la tabla 13.

TABLA 13

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE LA CORTADORA

Modelo del equipo	**Translicer 2000 Microslicewheel**
Material	**Acero Inoxidable**
Largo (m)	**3.2**
Ancho (m)	**0.85**
Altura	**1.42**
Peso Neto (Kg.)	**530**
Motor de ruedas cortadoras	**3 hp (2.2 kW)***
Motor de la correa de alimentación (hp)	**1 hp (0.75 kW)***

* Enfriado por ventilador

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Equipo de preparación de jarabe

Este equipo es básicamente un tanque el cual debe constar de un agitador y de un serpentín de calentamiento, las especificaciones comerciales y los cálculos para determinar el serpentín de calentamiento se detallan a continuación:

Cálculo de capacidad del tanque

Una vez especificada la capacidad de producción, se procedió a determinar la cantidad de jarabe necesaria para el proceso, para el efecto se utilizó la siguiente expresión:

$$\boxed{\textbf{\textit{Relación: Fruta} – \textit{Jarabe} = 1 : 4}} \qquad \text{(Ec. 4.1)}$$

De la cual conociendo que la cantidad de carambola a procesar por hora de trabajo es de 768 kg y utilizando la expresión descrita en la ecuación 4.1, se obtiene que se necesita preparar 3.26 m^3 de jarabe.

Conociendo la cantidad de jarabe necesario, se procede a calcular las dimensiones del tanque, a través de la siguiente expresión:

$$\boxed{h = \frac{4V_c}{\pi D^2}} \qquad \text{(Ec. 4.2)}$$

Donde:

V_c = Volumen del tanque cilíndrico (m^3) + sobredimensionado.

D^2 = Diámetro del tanque cilíndrico (m)

h = Altura del tanque cilíndrico (m)

De la cual, asumiendo que el diámetro del tanque es de 1.56 m, y estableciendo el 25 % de sobredimensionado (15 % para el borde superior del tanque y 10% para la válvula de salida del jarabe de la parte inferior) sobre la capacidad volumétrica del tanque, se obtuvo

las características de dimensión del tanque de preparación de jarabe, las cuales se muestran en la tabla 14

TABLA 14

CARACTERÍSTICAS DEL TANQUE DE PREPARACIÓN DE JARABE.

Características	Descripción
Material	**Acero inoxidable AISI 316 L**
Capacidad volumétrica (m^3)	**3.26**
Sobredimensionado (m^3)	**0.815**
Diámetro (m)	**1.56**
Altura (m)	**2.1**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Agitador para tanque de mezcla

En este caso se empleará un agitador de paletas, ya que es el más apropiado para homogenizar la mezcla de jarabe. Las características del agitador se detallan en la tabla 15.

TABLA 15

CARACTERÍSTICAS DEL AGITADOR PARA TANQUE DE PREPARACIÓN DE JARABE.

Características	Descripción
Material	**Acero inoxidable AISI 316 L**
Tipo de agitador	**Paletas**

Motor eléctrico (V)	**110**
Potencia (hp)	**0.1**
Velocidad (rpm)	**100**
Longitud de paleta (m)	**0.86**
Altura (m)	**1.13**

Fuente: Talleres A & H

Determinación del serpentín de calentamiento.

Para calcular las dimensiones del serpentín de calentamiento se necesita establecer las propiedades físicas del medio de calentamiento y del jarabe como medio a calentar.

Propiedades del medio de calentamiento.

Se utilizará agua como medio de calentamiento que circulará por el serpentín a una temperatura de 60 ºC, la misma que va a ser suministrada a través de un calefactor de agua. Las propiedades del agua se muestran en la tabla 16 (22).

TABLA 16

PROPIEDADES FÍSICAS DEL AGUA A PRESIÓN DE SATURACIÓN.

Propiedades Físicas	
Temperatura (ºC)	**60**
Densidad (kg/m^3)	**983.2**
Calor específico (kJ/ kg ºC)	**4.181**

Conductividad térmica (kJ/ mºCs)	**0.000658**
Viscosidad (kg/ m s)	**0.00047165**

Fuente: Adaptado de Raznievie (1978).

Propiedades del medio a calentar.

El medio a calentar es el jarabe de sacarosa que se va a utilizar en el proceso de deshidratación osmótica. En la tabla 17 se describen las propiedades físicas del jarabe de sacarosa a 50 ºBrix.

TABLA 17

PROPIEDADES FÍSICAS DEL JARABE DE SACAROSA (15)

Propiedades Físicas	
Sólidos solubles (ºBrix)	**50**
Densidad (kg/m^3)	**854.68**
Calor específico (kJ/kg ºC)	**1.5545**
Conductividad térmica (kJ/s m ºC)	**0.2027 X 10^{-3}**
Viscosidad (kg/ m s)	**0.017136**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Calculo del serpentín de calentamiento.

Para determinar las características del serpentín de calentamiento, se aplica la siguiente ecuación de transferencia de calor:

$$\boxed{Q = U_d A \Delta T} \qquad \text{(Ec. 4.3)}$$

Donde:

Q = Calor necesario para calentar el jarabe (Kj/h).

U_d = Coeficiente global de transferencia de calor sucio (kJ/m^2 ºC h).

A = Área de transferencia de calor (m^2).

ΔT = Variación de temperatura (ºC).

De la ecuación 4.2 se deriva el cálculo del coeficiente global de transferencia de calor sucio (U_d), para lo cual se hace uso de las siguientes ecuaciones:

$$\boxed{U_c = \frac{h_o h_i}{h_o + h_i}} \qquad \text{(Ec. 4.4)}$$

$$\boxed{\frac{1}{U_d} = \frac{1}{U_c} + R_f} \qquad \text{(Ec. 4.5)}$$

Donde:

U_d = Coeficiente global de transferencia de calor sucio (kJ/m^2 ºC s)

U_c = Coeficiente global de transferencia de calor limpio (kJ/m^2 ºC s)

h_i = Coeficiente individual de transferencia de calor del agua en el serpentín (kJ/ m^2 ºC s)

ho = Coeficiente individual de transferencia de calor del jarabe en el tanque (kJ/ m^2 ºC s)

R_f = Factor de ensuciamiento (W/ m^2 ºC s)

En la tabla 18 se exponen los datos del jarabe de sacarosa que son utilizados para los cálculos del área de transferencia de calor.

TABLA 18

DATOS DEL JARABE DE SACAROSA PARA CÁLCULO DE AREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Temperatura inicial del jarabe frío t_1 (º C)	**25**
Temperatura final del jarabe caliente t_2 (º C)	**45**
Masa del jarabe *m* (kg)	**3072**
Tiempo de calentamiento θ (min)	**10**
Velocidad de masa (kg/ m^2 s)	**1842.2**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Cálculo de los coeficientes individuales de transferencia de calor.

Para calcular los valores de coeficientes de transferencia de calor limpio y sucio expuestos en las ecuaciones 4.4 y 4.5 respectivamente, se necesita determinar el coeficiente individual del alimento (jarabe) contenido en el tanque (h_o) y del agua en el serpentín (h_i). Los cuales

se determinaron mediante la aplicación de las ecuaciones 4.6 y 4.7, de las cuales la ecuación 4.6 se aplica para coeficientes exteriores para fluidos con agitación mecánica, el cual es nuestro caso del jarabe en el tanque agitado.

$$\frac{h_0 D_i}{k_f} = 0.87\left(\frac{L_p^{\,2} N\rho}{\mu}\right)\left(\frac{C_p\mu}{k_f}\right)\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \qquad \text{(Ec. 4.6)}$$

Donde:

D_i = Diámetro interior del tanque agitado (m)

k_f = Conductividad térmica del jarabe (kJ/ s m ºC)

L_p = Diámetro o longitud característica del agitador (m)

N = Velocidad de giro del agitador (rps)

ρ = densidad del jarabe (kg/m^3)

μ = viscosidad del jarabe (kg/ m s)

μ_w = viscosidad en las paredes del tanque (kg/ m s)

El cálculo de la longitud característica del agitador (L_p) está dado por la aplicación de la siguiente fórmula:

$$L_p = \frac{\textit{Longitud de la paleta del agitador}}{\textit{altura del agitador}} \qquad \text{(Ec. 4.7)}$$

En la tabla 19 se muestran los datos que también fueron utilizados para el calculo del coeficiente de transferencia de calor para el jarabe de sacarosa contenido en el tanque, con su respectivo resultado obtenido.

TABLA 19

DATOS PARA EL COEFICICENTE INDIVIDUAL DE TRANSFERENCIA DE CALOR DEL JARABE EN EL TANQUE Y EL h_0

Diámetro interno D_i (m)	**1.56**
Longitud característica del agitador L_p (m)	**7.8**
Coeficiente individual de transferencia de calor calculado (h_0) (kJ/ m^2 ºC s)	**30.732**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Mientras que, para determinar el coeficiente individual de transferencia de calor del agua (hi) en el serpentín, se utilizó la siguiente ecuación:

$$jH = \frac{h_i D_i}{k}\left(\frac{C_p \mu}{k}\right)^{1/3}\left(\frac{\mu}{\mu_w}\right)^{0.14} \qquad \text{(Ec. 4.8)}$$

Donde:

h_i = Coeficiente individual de transferencia de calor del agua en el serpentín (kJ/ m^2 ºC s)

D_i = Diámetro interno de la tubería del serpentín (m)

k = Conductividad térmica del agua (kJ/ s m ºC)

C_p = Calor específico del agua (kJ/ kg ºC)

μ = viscosidad del agua (kg/ m s)

μ_W = viscosidad del agua en las paredes del serpentín (kg/ m s)

jH = factor obtenido a partir de la grafica del apéndice J.

Para determinar el factor jH es necesario encontrar el número de Reynolds, que está dado por la siguiente ecuación:

$$R_e = \frac{D_i G}{\mu} \qquad \text{(Ec. 4.9)}$$

Donde:

D_i = Diámetro interno de la tubería del serpentín (m).

μ = Viscosidad del agua (kg/ m s).

G = velocidad de masa (kg/ h m^2).

Una vez hallado el valor h_i, es necesario corregir dicho valor con los diámetros internos y externos de la tubería del serpentín, aplicando la siguiente ecuación:

$$h_{io} = h_i \frac{D_i}{D_o} \qquad \text{(Ec. 4.10)}$$

Donde:

h_i = Coeficiente individual de transferencia de calor del agua en el serpentín calculado (kJ/ m^2 ºC s).

D_i = Diámetro interno de la tubería del serpentín (m).

D_o = Diámetro exterior de la tubería del serpentín (m).

Posteriormente, en la tabla 20 se muestran los resultados obtenidos para R_e, jH, h_i y h_{io} respectivamente.

TABLA 20

RESULTADOS OBTENIDOS PARA R_e, jH, h_i y h_{io}

Número de Reynolds (R_e)	**136705.2**
Factor jH	**280**
Coeficiente de transferencia de calor del agua en el serpentín h_i (kJ/ m^2 ºC s).	**10.536**
Coeficiente de transferencia de calor del agua en el serpentín h_i (kJ/ m^2 ºC s) corregido.	**8.746**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Una vez obtenidos los valores de las tablas 19 y 20, estos son reemplazados en la ecuación 4.4 obteniendo el valor de U_c. Luego el valor de U_c se reemplaza en la ecuación 4.5 obteniendo el valor de U_d, para la resolución de esta ecuación se utiliza el valor del factor de ensuciamiento R_f para agua potable que se lo obtiene de la tabla del apéndice K.

Así mismo, se procedió a calcular el calor necesario para calentar el jarabe por medio de la ecuación:

$$\boxed{Q = mC_p \Delta T} \qquad \text{(Ec. 4.11)}$$

Es así que, asumiendo que el equipo posee una eficiencia del 80 %, se obtiene la cantidad de calor necesario a suministrar. Reemplazando los valores obtenidos en la ecuación 4.3, se obtiene el área de transferencia de calor. En la tabla 21 se muestran los resultados obtenidos.

TABLA 21

RESULTADOS OBTENIDOS DE LOS CÁLCULOS DEL ÁREA DE TRANSFERENCIA DE CALOR.

Coeficiente global de transferencia de calor limpio ($kJ/m^2 ºC\ s$)	**6.8084**
Coeficiente global de transferencia de calor sucio ($kJ/m^2 ºC\ s$)	**6.7624**
Calor necesario para calentar el jarabe (kJ/h)	**189112.32**

Área de transferencia de calor (pie^2)	3.543

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Cálculo del número de vueltas del serpentín.

Con el objetivo de calcular el número de vueltas necesarias del serpentín, se calcula el área de transferencia de calor de las longitudes de entrada y salida del serpentín a través de la siguiente ecuación:

$$A_L = \pi D_0 L_{i0} \qquad \text{(Ec. 4.12)}$$

Donde:

A_L = Área de transferencia de calor de las longitudes de salida y entrada del serpentín (pie^2).

D_0 = Diámetro exterior del serpentín (pie).

L_{i0} = Longitud de entrada mas longitud de salida del serpentín (pie).

Es necesario acotar que el valor de L_{i0} se asumió como 2.64 pies, para la determinación del área de transferencia de calor. Mientras que para hallar el número de vueltas del serpentín (N_k) se utilizó la siguiente ecuación:

$$N_k = \frac{A - A_L}{\pi D_0 L_c} \qquad \text{(Ec. 4.13)}$$

Donde:

N_k = Número de vueltas del serpentín.

A = Área de transferencia de calor (pie^2).

A_L = Área de transferencia de calor de la longitud de entrada y salida del serpentín (pie^2).

D_0 = Diámetro interior del exterior del tubo del serpentín (pie).

L_c = Longitud de una vuelta del serpentín (pie).

Para hallar la longitud de una vuelta del serpentín (L_c), se hace uso de la siguiente ecuación:

$$\boxed{L_c = \pi D_c} \qquad \text{(Ec. 4.14)}$$

Donde:

D_c = Diámetro del espiral del serpentín (pie).

El diámetro del espiral del serpentín se estableció de 0.94 pies, con lo cual se procedió a determinar la longitud de una vuelta del serpentín.

Luego, en la tabla 22 se muestran las características determinadas para el serpentín.

TABLA 22

CARACTERÍSTICAS DETERMINADAS PARA EL SERPENTÍN.

Área de T.C. de las longitudes de entrada y salida(m^2)	**0.106**
Número de vueltas del serpentín	**3**
Diámetro interno (m)	**0.035**
Diámetro del espiral (D_c) (m)	**0.286**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Tanque de deshidratación osmótica a presión atmosférica.

Este equipo se lo utilizará para realizar el proceso de deshidratación osmótica de los trozos de carambola, dado que, tal como se indico en el capítulo 3, esta fruta es sensible a la aplicación de altas temperaturas su funcionamiento será a una temperatura de 32 ºC.

Calculo de las dimensiones del tanque.

Para calcular las dimensiones del tanque, primero, se calculó el volumen con el que va a trabajar mediante la aplicación de la siguiente ecuación:

$$\boxed{V_T = V_F + V_J + S} \qquad \text{(Ec. 4.15)}$$

Donde:

V_T = Volumen total del tanque (m^3).

V_F = Volumen de la fruta contenida en el tanque (m^3).

V_J = Volumen del jarabe de sacarosa contenido en el tanque (m^3).

S = Sobredimensionado sobre la capacidad volumétrica del tanque.

De la resolución de la ecuación 4.15 se obtiene que el volumen de trabajo del tanque de deshidratación osmótica sea de 5.13 m^3. Con lo cual se procedió a calcular la altura del tanque mediante la aplicación de la ecuación 4.2 y asumiendo que el diámetro del tanque cilíndrico es de 1.56 m. En la tabla 23 se muestran las características del tanque de deshidratación osmótica.

TABLA 23

CARÁCTERÍSTICAS DEL TANQUE DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA.

Características	Descripción
Material	**Acero inoxidable AISI 316 L**
Capacidad volumétrica (m^3)	**5.13**
Sobredimensionado (m^3)	**0.41**
Diámetro (m)	**1.56**
Altura (m)	**2.88**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo Ortíz., 2007

Dentro de las características del tanque de deshidratación osmótica, se considera dentro del diseño, una canasta de acero inoxidable en la cual se colocarán los trozos de carambola para el proceso de deshidratación osmótica. Esta canasta tendrá un diámetro interno de 1.06 m y constará de 16 divisiones de 8 cm de altura, estas divisiones estarán diseñadas en su base con mallas perforadas de acero inoxidable.

Diseño del Secador de Bandejas.

Para establecer el diseño del equipo es primordial conocer el tiempo total de secado calculado a partir de los datos obtenidos de los experimentos realizados, los cuales se ajustan a las expresiones utilizadas para dicho propósito.

Determinación del Tiempo de Secado.

Con el propósito de establecer el tiempo de secado, es necesario conocer las características de las bandejas del secador, las condiciones del aire de secado, y las características del producto a procesar. Para lo cual, en la tabla 24 se detallan las características de las bandejas en donde se ha considerado el diseño de las mismas con perforaciones incluidas para mejorar la circulación del aire en toda la superficie del producto a secar.

TABLA 24

CARACTERÍSTICAS DE LAS BANDEJAS DEL SECADOR

Longitud L_t, m	**0.6**
Ancho, m	**0.53**
Espacio entre bandejas b, m	**0.05**
Profundidad x_1, mm	**4**
Diámetro de perforaciones en bandejas (cm)	**3**
Número de perforaciones por bandeja	**9**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Mientras que, en la figura 4.2, se muestran una vista aérea de la distribución de los trozos de carambola en las bandejas del secador con las características especificadas en la tabla 24.

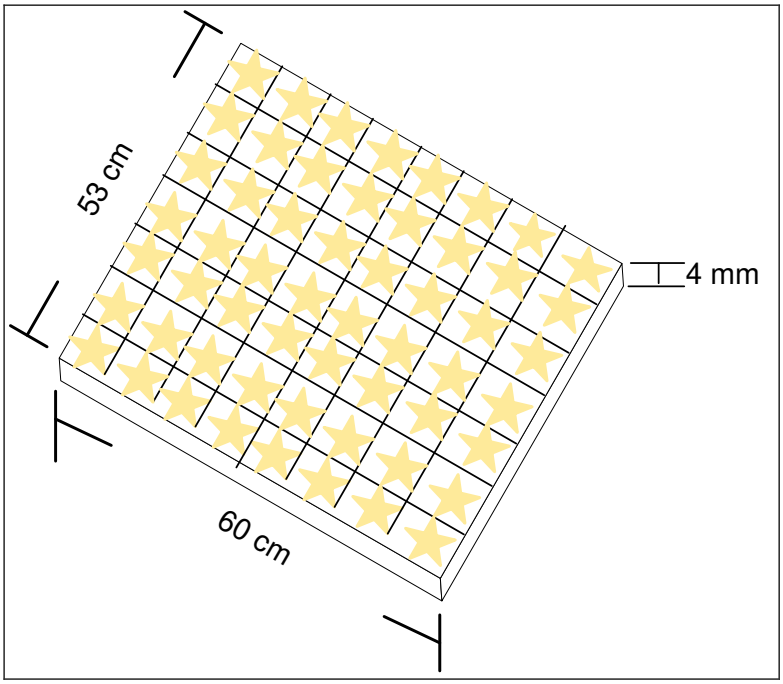


FIGURA 4.2 DISTRIBUCIÓN DE LOS TROZOS DE CARAMBOLA EN LAS BANDEJAS (VISTA AEREA).

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Así también es necesario especificar las condiciones del aire en las que se realizará el proceso de secado, lo cual se muestra en la tabla 25. Posteriormente, en la tabla 26 se observan los datos obtenidos a través de la tabla psicrométrica (6).

TABLA 25

CARACTERÍSTICAS DEL AIRE DE SECADO

Temperatura de trabajo (*Ts*), ºC	**65**
Temperatura del aire, ºC	**26**

Velocidad del aire (*v*), m/s	**4.19**
Volumen húmedo (*Vh*), m^3/kg aire seco	**1.0047**
Densidad (ρ), kg/m^3	**1.0264**
Flujo de aire seco (*G*), kg/h m^2	**15013.36**
Coeficiente de transferência de calor (*h*), W/m^2 K.	**44.7520**
Calor húmedo promedio (*Cs*), kJ/ kg aire seco* k	**1.1006**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

TABLA 26

DATOS OBTENIDOS A PARTIR DE LA TABLA PSICROMÉTRICA.

Temperatura de bulbo húmedo (T_w), ºC	**34**
Humedad (H_w), kg H_2O/ kg aire seco	**0,0425**
Humedad real (H_s), kg H_2O/ kg aire seco	**0,03125**
Humedad promedio (H_p), kg H_2O/ kg aire seco	**0,03**
Calor latente de vapor (λ_W), Kj/ kg.	**2418,62**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Cabe mencionar que también se determinó las características de las carambolas deshidratadas osmóticamente para el proceso de secado. Las mismas que se exponen en la tabla 27.

TABLA 27

CARACTERÍSTICAS DE CARAMBOLAS DESHIDRATADAS OSMÓTICAMENTE PARA EL PROCESO DE SECADO.

Densidad (ρ), kg/m^3	**0.1191**
Humedad total inicial del sólido (X_{t1}), kg H2O/kg ss	**2.33**
Humedad de equilibrio (X*), kg H2O/kg ss	**0.037**
Contenido crítico de humedad total (X_{tc}), kg H2O/kg ss	**1.22**
Humedad libre (X_L), kg H2O/kg ss	**0.04**
Humedad inicial real (X_1), kg H2O/kg ss.	**2.293**
Humedad crítica real (X_c), kg H2O/kg ss.	**1.183**
Humedad real (X), kg H2O/kg ss.	**0.003**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Cálculo del tiempo de secado.

Una vez establecidas las características de las bandejas del secador, aire de secado y las características de las carambolas deshidratadas osmóticamente en las tablas 24, 25, 26 y 27 respectivamente, se procedió al cálculo del tiempo de secado, mediante el uso de las siguientes ecuaciones(6):

Tiempo de secado para el periodo de velocidad constante.

$$t_c = \frac{\rho_s \cdot L_t \cdot a_w \cdot (X_1 - X_c)}{G \cdot C_S \cdot h \cdot (T_1 - T_w)\left[1 - e^{\frac{-h \cdot L_t}{G \cdot C_s \cdot h}}\right]} \qquad \text{(Ec. 4.16)}$$

Tiempo de secado para el periodo de velocidad decreciente.

$$t_p = \frac{\rho_s \cdot L_t \cdot a_w \cdot X_c \cdot \ln(X_c / X)}{G \cdot C_S \cdot h \cdot (T_1 - T_w)\left[1 - e^{\frac{-h \cdot L_t}{G \cdot C_s \cdot h}}\right]}$$

(Ec. 4.17)

Tiempo total de secado.

$$T_T = t_c + t_p \qquad \text{(Ec. 4.18)}$$

De la resolución de las ecuaciones 4.16, 4.17 y 4.18 se obtuvo que el tiempo total de secado para procesar los trozos de carambola deshidratados osmóticamente es de 3.96 horas.

Características de los carritos para el secado.

Se requiere diseñar un secador con una capacidad de producción estimada de 768 kg/h, con lo cual se establecen las características de los carritos para el secador las mismas que se muestran en la tabla 28.

TABLA 28

CARACTERÍSTICAS DE LOS CARRITOS DEL SECADOR

Número de bandejas por carrito	**32**
Espacio entre bandejas,(m)	**0.05**
Espacio del piso a base del carrito,(m)	**0.05**
Altura de carrito,(m)	**1.60**
Largo de carrito,(m)	**0.70**
Ancho de carrito,(m)	**0.63**
Número de carritos	**54**

Distancia a recorrer en periodo constante,(m)	**7.16**
Distancia a recorrer en periodo decreciente,(m)	**20.84**
Velocidad de entrada de carritos ,(m/h)	**7.17**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Cálculos para el serpentín de calentamiento.

Con el objetivo de determinar la longitud del serpentín de calentamiento, se necesita establecer las condiciones del vapor de agua que circulará a través del serpentín como medio de calentamiento y las del aire como medio a calentar.

Es así que, en la tabla 29 se detallan las condiciones del vapor saturado, mientras que en la tabla 30 se muestran las condiciones del aire.

TABLA 29

CONDICIONES DEL VAPOR SATURADO COMO MEDIO DE CALENTAMIENTO.

Temperatura, (ºC)	**120**
Densidad, (kg/m^3)	**0,566**
Calor específico, (kJ/kg ºC)	**1,8953**
Conductividad térmica, (kJ/ m ºC s)	**0,2689**
Viscosidad, (kg/ m s)	**1374**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

TABLA 30
CONDICIONES DEL AIRE COMO MEDIO A CALENTAR.

Temperatura, (ºC)	**65**
Densidad, (kg/m^3)	**1.0428**
Calor específico, (kJ/kg ºC)	**1.0090**
Conductividad térmica, (kJ/ m ºC s)	**0.00002924**
Viscosidad, (kg/ m s)	**2.03* 10^{-5}**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Cálculos para el vapor de agua como medio de calentamiento.

Mientras que para determinar el coeficiente de transferencia de calor del vapor utilizado como medio de calentamiento, se necesitaron realizar los siguientes cálculos:

Cálculo del número de Reynolds.

$$R_e = \frac{Q_m D_e}{A_f \mu} \qquad \text{(Ec. 4.21)}$$

Donde:

R_e = Número de reynols (adimensional).

Q_m = Flujo másico de vapor de agua (kg/s).

D_e = Diámetro interior del tubo externo (m).

A_f = Área de flujo (m^2)

μ = viscosidad del vapor de agua (kg/m s).

Cálculo del número de Prandalt.

$$Pr = \frac{C_p \mu}{k} \qquad \text{(Ec. 4.22)}$$

Donde:

C_p = Calor específico del vapor de agua (kJ/kg ºC).

μ = Viscosidad del vapor de agua (kg/ m s).

k = Conductividad térmica del vapor de agua (kJ/ m ºC s).

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor.

Se aplica la ecuación 4.19, con la variación del cálculo para determinar el valor de Nusselt, el cual se lo determina a través de las siguientes ecuaciones dependiendo de las condiciones halladas para el número de reynolds.

Para Reynolds < 2100.

$$Nu = 1.86\left[Re \, Pr \left(\frac{d}{L_1} \right) \right]^{1/3} \qquad \text{(Ec. 4.23)}$$

Para Reynolds > 2100.

$$Nu = 0.023 Re^{0.8} Pr^{1/3} \left(\frac{\mu}{\mu_p} \right)^{0.14} \qquad \text{(Ec. 4.24)}$$

Cálculos para el aire como medio a calentar.

Los cálculos realizados para el aire como medio a calentar se ejecutaron mediante el uso de las siguientes expresiones:

Cálculo del número de Reynols.

$$R_e = \frac{(\nu)(D_e)(\rho)}{\mu} \qquad \text{(Ec. 4.19)}$$

Donde:

R_e = Número de reynols (adimensional).

ν = Velocidad del aire de calentamiento (m/s).

D_e = Diámetro externo del tubo (m).

ρ = Densidad del aire (kg/m^3)

μ = viscosidad del aire (kg/m s).

Cálculo del coeficiente de transferencia de calor.

$$h_o = \frac{(Nu)(k)}{D_e} \qquad \text{(Ec. 4.20)}$$

Donde:

Nu = Número de Nusselt; Nu = 0.49 $R_e^{0.5}$ para R_e < 1000 ó

Nu = 0.24 $R_e^{0.6}$ para R_e > 1000

k = Conductividad térmica del aire (kJ/ s m ºC)

D_e = Diámetro externo del tubo (m).

Para el cálculo de los coeficientes globales de transferencia de calor sucio y limpio se utilizan las ecuaciones 4.4 y 4.5 descritas anteriormente. Una vez obtenido estos valores, se procedió a calcular la longitud para el serpentín y el número de vueltas del mismo, mediante las siguientes ecuaciones:

Cálculo de la Longitud del serpentín.

$$L_T = \frac{A}{\pi D} \qquad \text{(Ec. 4.25)}$$

Donde:

L_T = Longitud total del serpentín (m).

A = Área de transferencia de calor (m^2).

D = Diámetro externo de la tubería (m).

Cálculo del número de vueltas del serpentín.

$$N_V = \frac{L_T}{L_1} \qquad \text{(Ec. 4.26)}$$

Donde:

N_v = Número de vueltas del serpentín.

L_T = Longitud total del serpentín de calentamiento (m).

L_1 = Longitud inicial (m).

Luego, en la tabla 31 se muestran los resultados obtenidos para el vapor de agua y el aire; mientras en la tabla 32 se muestran las características calculadas para el serpentín de calentamiento.

TABLA 31

RESULTADOS PARA EL VAPOR DE AGUA Y AIRE.

CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO DE CALENTAMIENTO	
Masa de vapor (m), kg	0.0215
Coeficiente de transferencia de calor (h_i), kJ/ m^2ºC s	184.44
CARACTERÍSTICAS DEL MEDIO A CALENTAR	
Masa del aire (m), kg	1.0477
Calor necesario para calentar el aire (Q), Kj/s	77.17
Área de transferencia de calor (A), m^2	4.62
Coeficiente de transferencia de calor (h_o), kJ/ m^2ºC s	0.047

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

TABLA 32

CARACTERÍSTICAS CALCULADAS PARA EL SERPENTÍN DE CALENTAMIENTO.

Diámetro externo, m	0.02667
Longitud del serpentín (L), m	55.14
Número de tubos	37
Distancia de cada tubo, m	1.5
Distancia desde el techo al serpentín, m	0.10
Distancia entre tubos, m	0.05
Distancia del serpentín, m	1.00

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Ventilador industrial.

Dado que en el diseño del secador se incluye el área de ventilación de los trozos de carambola secados para bajar la temperatura del producto y facilitar la manipulación del mismo para la etapa de empaque, en la tabla 33 se muestran las especificaciones del ventilador industrial, las mismas que se utilizaran luego para establecer el número de ventiladores necesarios en el proceso.

TABLA 33

ESPECIFICACIONES DEL VENTILADOR INDUSTRIAL.

Medida	**16”**
Número de hélices	**3**
Hélice de metal	**45x45**
Motor sellado	**120 V**
	1650 rpm
	200 W
	0.27 hp
Flujo de aire	**19000 ft^3/ min.**

Fuente: Importadora Montero S.A., 2007

Una vez establecidas las especificaciones comerciales del ventilador industrial se procede, a calcular el número de ventiladores mediante las

Características y dimensiones del Secador.

Con los valores hallados para el secador, se enuncian a continuación las características de diseño del mismo.

- ✓ Las estrellas de carambola deshidratadas osmóticamente listas para el proceso de secado serán colocadas en bandejas perforadas de acero inoxidable (ver especificaciones tabla 24).

- ✓ Las mismas que serán transportadas durante el proceso de secado por carritos al interior del secador (ver especificaciones tabla 28).

- ✓ El proceso de secado será por periodos. La primera etapa será a periodo constante y la segunda etapa a período decreciente, aprovechando así las características de secado (ver tabla 28).

- ✓ Estará provisto de serpentín de calentamiento que circula vapor como medio de calentamiento para el aire de secado (ver especificaciones tabla 32).

- ✓ El producto resultante del secado, será enfriado por medio de ventiladores dispuestos en una cabina a largo del final de secador (ver especificaciones tabla 35).

✓ El secador estará compuesto por un extractor central de aire con la finalidad de extraer el aire viciado proveniente del proceso de secado.

✓ La estructura del secador será de acero inoxidable con estructura rectangular.

Dimensiones del secador.

Las dimensiones calculadas para el secador se exponen en la tabla 34.

TABLA 34

DIMENSIONES DEL SECADOR

Altura del secador, (m)	**1.70**
Ancho del secador	**0.73**
Largo del secador, m	**28**
Área de Ventilación, m	**2.75**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Una vez establecidas las dimensiones del secador, se procedió a calcular el número de ventiladores. En la tabla 35 se exponen los datos necesarios para el cálculo y el resultado obtenido.

TABLA 35

CÁLCULO DEL NÚMERO DE VENTILADORES.

Velocidad del aire de secado, m/s	**4.19**
Área de flujo del secador, m^2	**1.24**
Flujo volumétrico de aire en el secador, m^3/s	**5.3456**
Flujo volumétrico de aire por ventilador, m^3/s	**0.90**
Número de ventiladores	**6**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Utilización de la Materia Prima.

Es necesario establecer el porcentaje de materia prima que se utilizará en el proceso, según las capacidades de producción establecidas y las dimensiones de los carritos y bandejas halladas. Para lo cual en la tabla 36 se especifican las condiciones de la materia prima y los datos necesarios para calcular el % de utilización de materia prima.

TABLA 36

DATOS PARA DETERMINAR EL % DE UTILIZACIÓN DE MATERIA PRIMA.

CARACTERÍSTICAS DE DISEÑO DEL SECADOR	
Número de carritos en el secador	**54**
Número de bandejas por carrito	**32**

Peso de producto total en carritos (Kg.)	**768**
Batch (horas)	**5**
CAPACIDAD DE MATERIA PRIMA	
Cantidad de materia prima por carga total (Kg./día)	**3840**
Cantidad de materia prima al día	**6133**

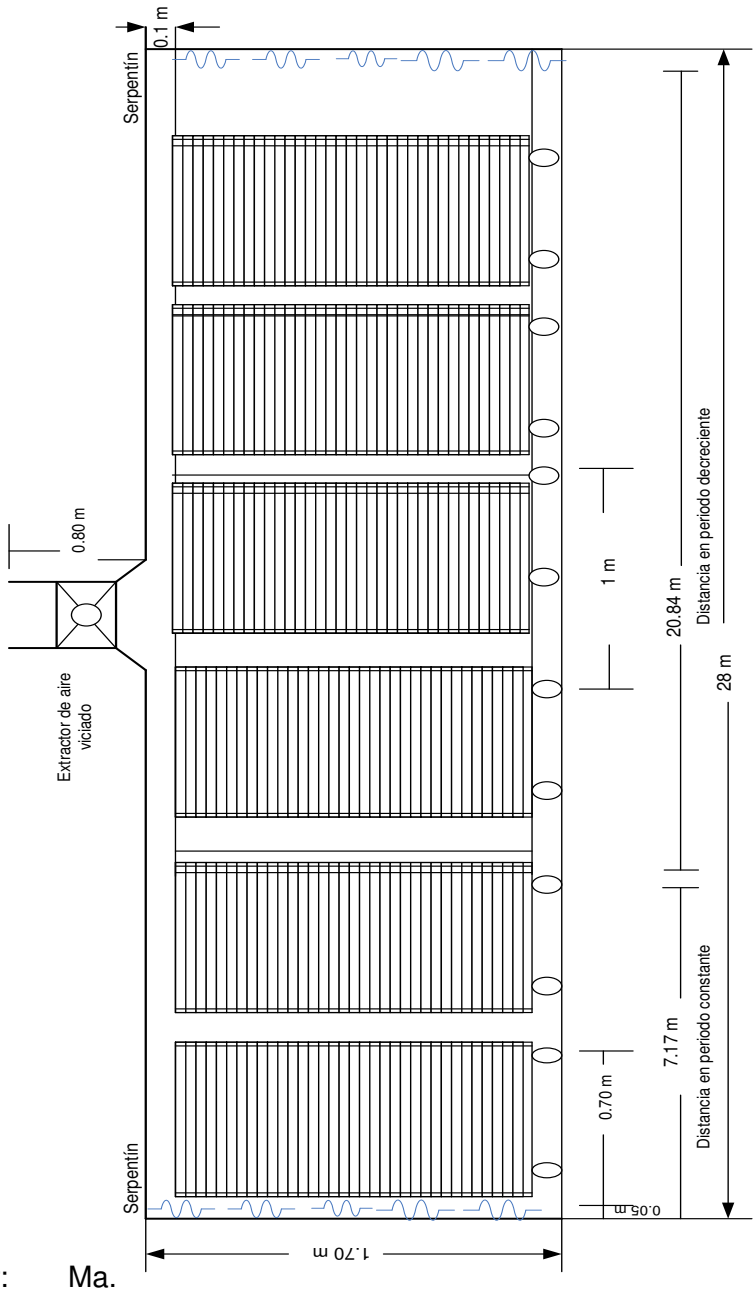
Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

De la cual, al relacionar la capacidad de producción por día (24 horas) con la cantidad de materia prima que se procesaría por día, se tiene que se utiliza aproximadamente el 63% de la materia prima disponible.

Luego, en la figura 4.3 se muestra la vista lateral del diseño del secador con sus respectivas dimensiones y partes.

FIGURA 4.3

VISTA LATERAL DEL DISEÑO DEL SECADOR DE BANDEJAS.



Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

4.5. Costos de inversión de la línea de producción.

A continuación, en la tabla 37 se expone una aproximación del costo de los equipos básicos que se necesitan para la implementación de la línea de proceso de obtención de trozos secos de carambola tratados osmóticamente.

TABLA 37

COSTOS ESTIMADOS DE LOS EQUIPOS BÁSICOS PARA EL PROCESO PRODUCTIVO.

Equipo	Costo ($)
Cortadora Translicer 2000 Microslicewheel	**65.000**
Tanque de preparación de jarabe de acero inoxidable con agitador	**26.000**
Tanque de acero inoxidable para deshidratación osmótica	**22.000**
Secador de Bandejas	**40.000**
Caldero	**22.700**
TOTAL	**175.700**

Elaborado por: Ma. Eugenia Castillo O., 2007

Con los costos estimados de inversión en los equipos principales para la instalación de la línea de producción con una capacidad de 184 Ton. al mes, tal como se muestra en la tabla 36, se necesita una inversión estimada de $ 175.700, para implementar la línea de proceso

CAPÍTULO 5

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.

CONCLUSIONES.

1. Al culminar con este trabajo, se concluye que la aplicación de deshidratación osmótica como pre-tratamiento antes del secado convencional ayuda a la conservación de las características organolépticas de la carambola y contribuye a la reducción del tiempo de secado. Luego de la experimentación realizada, se concluye que la fruta debe ser procesada en estado óptimo de madurez (10 $\pm$ 1 ºBrix), así como también la deshidratación osmótica debe ser a temperaturas $\leq$ a 35ºC, ya que el tejido de la fruta presenta sensibilidad al calor.

2. Así mismo se concluye que los trozos secos de carambola tratados osmóticamente obtenidos presentan buenas características de estabilidad, ya que según la experimentación realizada en empaque trilaminado (poliéster – polipropileno-polietileno) el producto se conserva en buen estado por 16 meses.

3. Concluyendo también que el producto obtenido presenta buenas condiciones para ser incursionado en el mercado, ya que según los resultados obtenidos de las pruebas sensoriales de grado de satisfacción realizada, el producto es del agrado del consumidor. En la cual se resalto la forma de estrella de la fruta y el sabor característico que posee el producto obtenido.

4. Este trabajo se lo realizó con el propósito de presentar la utilidad industrial que posee la carambola, con lo cual se podría exportar la fruta procesada con óptimas características organolépticas y buenas condiciones de estabilidad en percha, tal como se lo demostró en este trabajo.

5. Una vez diseñado el proceso se infiere que se trabajará por batch de 5 horas entre carga y descarga del producto, con lo su se determina que se ocupará aproximadamente el 63 % de la totalidad de materia prima disponible.

RECOMENDACIONES

1. Tal como es el caso de la carambola que no se le da uso industrial, existen muchas frutas de nuestro país que tampoco son aprovechadas industrialmente tales como pitahaya, pomarrosa, melón, borojó entre otras frutas tropicales que muy bien podrían desarrollarse productos similares al propuesto en este trabajo.

2. Se recomienda tener en cuenta el aporte de oxalato de calcio que provee la carambola como fruta fresca, la cual para su uso industrial debe ser en su estado de madurez óptimo, donde el componente en mención se ha convertido.

3. Esta propuesta puede ser llevada a efecto en las zonas del país donde se registran cultivos de la carambola, a fin de aprovechar dichas producciones.