



ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL
Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción

“Estudio del Efecto de la Deshidratación Osmótica como Pre-
tratamiento para el Proceso de Secado por Aire en Piña (Ananas
Comosus) de la Variedad Milagreña o Perolera”

TESIS DE GRADO

Previo la obtención del Título de:

INGENIERA DE ALIMENTOS

Presentada por:

Wendy Paola Alvarado Gómez

GUAYAQUIL-ECUADOR

Año: 2006

AGRADECIMIENTO

A todas las personas que de uno u otro modo colaboraron en la realización de este trabajo, en especial a la Ing. Fabiola Cornejo Directora de Tesis, por su invaluable ayuda.

DEDICATORIA

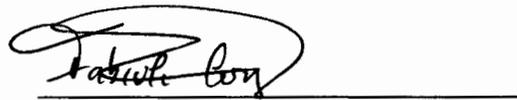
A DIOS

A MIS PADRES

TRIBUNAL DE GRADUACIÓN

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Luis Miranda", written over a horizontal line.

**Ing. Luis Miranda S.
DELEGADO DEL DECANO
DE LA FIMCP
PRESIDENTE**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Fabiola Cornejo", written over a horizontal line.

**Ing. Fabiola Cornejo Z.
DIRECTOR DE TESIS**

A handwritten signature in black ink, appearing to read "Jorge Duque", written over a horizontal line.

**Ing. Jorge Duque R.
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)

Wendy Alvarado Gómez

Wendy Paola Alvarado Gómez

RESUMEN

El ingreso de la variedad de piña híbrida MD-2 no solo convirtió al país en el segundo exportador de piña en América, sino que generó también, en consecuencia a su estricta selección, una sobreoferta local de piña para consumo e industrialización. Debido a que dicha variedad presenta mejores características de procesamiento, se considera la favorita a la hora de adquirir el fruto, logrando de esta manera que la Milagrefia o Perolera posea un rechazo anual de 1617 TM. Este hecho ha incentivado a la búsqueda de una nueva alternativa de consumo.

Una de las alternativas convencionales poco utilizada en nuestro país es el secado por aire. Esto ocurre, básicamente, porque presenta problemas tecnológicos en la calidad organoléptica del producto. Es decir, que presenta modificaciones de color, olor, sabor, y textura. Es entonces, que basándose en investigaciones realizadas en y para países en vías de desarrollo, se decidió realizar el estudio del efecto de una técnica sencilla y de bajo costo

llamada Deshidratación Osmótica como pre-tratamiento al secado, con el objetivo de obtener mejores resultados en la calidad del producto.

Para la realización del estudio, primeramente, se realizó la selección del grado de madurez de la piña adecuado para el proceso. A la vez, se seleccionó el agente hipertónico o solución ideal para realizar la deshidratación osmótica. A continuación, se evaluó la cinética del proceso de deshidratación osmótica con respecto a la ganancia de sólidos y pérdida de peso a distintas temperaturas y concentraciones del agente osmótico, considerando los análisis físicos y bromatológicos, para determinar el proceso más adecuado. Luego se efectuaron las respectivas pruebas de secado con el producto fresco y el deshidratado osmóticamente para finalmente realizar pruebas comparativas de los parámetros problemáticos de los procesos estudiados.

De los estudios anteriores se pudo comprobar si realmente la deshidratación osmótica afecta de manera positiva al proceso alternativo propuesto.

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	II
ÍNDICE GENERAL	III
ABREVIATURAS	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VII
INDICE DE GRÁFICOS	VIII
INTRODUCCIÓN	1
 CAPÍTULO 1	
1 GENERALIDADES	2
1.1 Materia Prima.....	2
1.2 Deshidratación Osmótica.....	8
1.3 Fundamentos de Secado.....	14
1.3.1. Secado en Bandeja.....	20
 CAPÍTULO 2	
2 MATERIALES Y MÉTODOS	23

2.1	Materiales.....	22
2.1.1.	Caracterización de Materia Prima.....	23
2.1.2.	Equipos.....	26
2.2	Metodología.....	32
2.2.1.	Isotermas de Desorción.....	32
2.2.2.	Deshidratación Osmótica como pre-tratamiento de secado.....	37
2.2.3.	Secado en Bandeja.....	41
2.2.4.	Análisis Bromatológicos.....	43
2.2.5.	Análisis Físicos.....	46
2.2.6.	Análisis Sensorial.....	48
2.3	Diagrama de Flujo.....	49

CAPÍTULO 3

3	ANÁLISIS DE RESULTADOS.....	50
3.1	Isotermas de desorción	50
3.2	Deshidratación Osmótica.....	56
3.3	Secado en Bandeja.....	69
3.4	Análisis Bromatológicos.....	79
3.5	Análisis Físicos.....	80
3.6	Análisis Sensorial.....	85

CAPÍTULO 4

4 CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....90

APÉNDICES

BIBLIOGRAFÍA

ABREVIATURAS

m	Metro
m²	Metro cuadrados
m³	Metro cúbico
TM	Toneladas métricas
hrs.	Horas
Ha.	Hectáreas
°C	Grados centígrados
Kg.	Kilogramos
min.	Minutos
P.T.	Producto Terminado
M.P.	Materia Prima
T	Temperatura
R	velocidad de secado
ST	Porcentaje Sólidos totales
Pi	Peso inicial muestra
Sti	Sólidos totales iniciales
Pf	Peso final muestra
X	humedad en base seca
m	pendiente
aw	actividad de agua del soluto
X	humedad base seca
Xm	humedad monocapa BET
a	intercepto
H	entalpía
ΔMwt	Pérdida de agua
Po	peso inicial
ho	fracción humedad inicial
ΔMst	Ganancia de sólidos
Ls	kg de sólido seco
A	Área superficial
%Cz	porcentaje de cenizas

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pag.
Figura 1.1	Piña Ananas Comusus.....2
Figura 1.2	Mecanismo de Deshidratación Osmótica.....12
Figura 1.3	Períodos de desecación.....18
Figura 3.1	Isoterma Obtenida en Piña fresca.....53
Figura 3.2	Isoterma Obtenida en Piña deshidratada osmóticamente.....54
Figura 3.3	Cuadro comparativo de color con relación al tiempo.....81
Figura 3.4	Microfotografías de tejidos de piña fresca secada durante 5 y 240 minutos.....84
Figura 3.5	Microfotografías de tejidos de piña deshidratada osmóticamente secada durante 5 y 240 minutos.....84
Figura 3.6	Prueba de Normalidad de la diferencia de datos.....86
Figura 3.7	Caja de decisiones u ojiva de aceptación de datos.....88

ÍNDICE DE TABLAS

	Pag.
Tabla 1	Valor Nutricional de la piña.....4
Tabla 2	Estimación de la superficie sembrada y cosechada de la variedad perolera en la provincia del Guayas.....6
Tabla 3	Estimación de la superficie sembrada y cosechada, producción, ventas y rechazo de piña de la variedad perolera.....6
Tabla 4	Estados de madurez de la piña a 28 °C.....24
Tabla 5	Resultados de Análisis de Ojiva.....89

ÍNDICE DE GRÁFICOS

	Pag.
Gráfico 3.1 Porcentaje pérdida de peso a 35 °C de fruta deshidratada osmóticamente.....	58
Gráfico 3.2 Porcentaje pérdida de peso a 55 °C de fruta deshidratada osmóticamente.....	59
Gráfico 3.3 Pérdida de Agua a 35 °C en fruta deshidratada osmóticamente.....	61
Gráfico 3.4 Pérdida de Agua a 55 °C en fruta deshidratada osmóticamente.....	62
Gráfico 3.5 Ganancia de sólidos a 35 °C en fruta deshidratada osmóticamente.....	64
Gráfico 3.6 Ganancia de sólidos a 55 °C en fruta deshidratada osmóticamente.....	65
Gráfico 3.7 Contenido en gramos de agua y sólidos a 35 °C.....	68
Gráfico 3.8 Contenido en gramos de agua y sólidos a 55 °C.....	69
Gráfico 3.9 Espesor con respecto al tiempo en piña fresca y deshidratada osmóticamente.....	70
Gráfico 3.10 Variación de Peso con respecto al tiempo en piña fresca y deshidratada osmóticamente.....	71
Gráfico 3.11 Humedad en base seca con respecto al tiempo en piña fresca en proceso de secado en bandeja.....	76
Gráfico 3.12 Humedad en base seca con respecto al tiempo en piña deshidratada osmóticamente en proceso de secado en bandeja.....	76
Gráfico 3.13 Velocidad de Secado en piña fresca y Piña deshidratada osmóticamente.....	78

INTRODUCCIÓN

La piña de la variedad Milagreña o Perolera, es una de las frutas que posee una alta sobreoferta en el Ecuador. En el año 1999 se reportaron 1617 TM de rechazo del total cosechado. Por este motivo se buscó bajo este estudio la forma adecuada de aprovechar esta fruta de manera que pueda ser consumida tan fresca y directa como sea posible.

El método más sencillo de procesamiento aplicable es el secado por aire. Lamentablemente, el secado produce alteraciones en las características organolépticas intrínsecas del producto, tales como: color, olor, sabor, textura, produce descomposición térmica, oxidación, y pardeamiento enzimático. Para mejorar los problemas tecnológicos comunes del secado, basándose en estudios realizados en países en vías de desarrollo, se aplicó una técnica muy sencilla y de muy bajo costo. Esta técnica es conocida como deshidratación osmótica.

La deshidratación osmótica ha sido objeto de muchas investigaciones de mejoras en procesos convencionales, como pre-tratamiento reduce el contenido de agua cuando incrementa el contenido de sólidos solubles, es decir es la interacción entre la fruta y una solución osmótica. El producto semifinal no es estable desde el punto de vista de conservación, pero combinado con secado disminuirá los efectos negativos del mismo sobre el producto final. El objetivo principal de esta tesis es estudiar el efecto de la temperatura y concentración de la solución osmótica sobre la transferencia de masa durante el proceso, y comprobar si este pre-tratamiento influirá de manera positiva en la calidad.

CAPITULO 1

1. GENERALIDADES

1.1. Materia Prima

La piña (Ananas Comosus) es originaria de Sudáfrica Tropical y Subtropical donde crece en forma salvaje. Este fruto es ampliamente reconocido por sus propiedades diuréticas y desintoxicantes. Posee forma oblonga o cónica; color verdoso amarillento, rojizo o amarillo anaranjado, según la variedad y el estado de madurez.

El fruto pertenece al grupo de los múltiples, pues está formado por la fusión de todos los carpelos de la inflorescencia. La planta no puede reproducirse sexualmente, porque el fruto es abortivo, es decir, que no llega a formar semillas.

La piña se desarrolla en regiones que poseen clima cálido y suelos francos arcillosos, ácidos (de pH óptimo entre 5.0 y 6.0) y bien drenados. Por lo general, no necesita riego cuando la lluvia anual alcanza de 1.000 a 1.500 milímetros, requiere mucha luz y calor, su crecimiento depende de la temperatura a la que se encuentre. El rango de temperatura óptimo es de 24-29 °C, por debajo del mismo se retarda o inhibe el crecimiento.

La época de cultivo de piña es de diciembre hasta abril cuando el clima y suelo se encuentran en las condiciones adecuadas de humedad.



FIGURA 1.1 Piña (Ananas Comusus-Perolera)

Ecuador posee condiciones geográficas favorables para el cultivo de la piña, pues posee un clima tropical seco y tropical húmedo, con una temperatura que oscila entre los 20-27 °C en las regiones litoral y oriental. La piña es uno de los productos no tradicionales más populares en el país y compite con el tradicional banano, con el

mango, la papaya, y la naranja por ser uno de los frutos favoritos de los ecuatorianos, no solo debido a sus propiedades físicas, sino, que además posee un alto valor nutricional como apreciamos en la Tabla 1.

TABLA 1

VALOR NUTRICIONAL	
Por cada 100 g de parte comestible de piña	
Calorías	38
Carbohidratos	9,8 gr
Proteínas	0,4 gr
Calcio	10,0 mg
Fósforo	5,0 mg
Hierro	0,4 mg
Tiamina	0,08 mg
Vitamina A	5,0 mg
Ac.Ascórbico	19,9 mg

Fuente: Análisis de Alimentos-ACRIBIA

Las variedades más comercializadas en Ecuador son: Cayenne (Smooth Cayenne), Golden Sweet o variedad super dulce, también conocida como la variedad MD2 por la multinacional DOLE.

Entre las principales zonas de cultivo en Ecuador, se encuentran las provincias de El Oro (Huaquillas, Pasaje, Arenillas), Guayas (Milagro, Yaguachi, Naranjito), Pichincha (Santo Domingo), Esmeraldas (Quinindé, San Lorenzo) y Manabí (Portoviejo, Chone).

Una de las razones de la expansión de este cultivo es su alto consumo como fruta fresca y en la industrialización de rodajas, en conservas, trozos y rodajas IQF, jugos y polvo deshidratado (1), entre otros.

Se estima que en Ecuador, hasta 1999 existían alrededor de siete mil hectáreas de cultivo de dicha fruta, las mismas que con un rendimiento promedio de 15-20 TM por hectárea como se muestra en la tabla 2. Este hectaraje dió lugar a una cosecha de 124 mil TM. En el año 2000 la producción alcanzó un nivel de 120 mil TM, en una superficie de siete mil hectáreas¹.

En la provincia del Guayas hasta 1999 se obtuvieron 3.470 Hectáreas cosechadas como se muestra en la tabla 2. Este hectaraje resultó de la siembra de 4.470 hectáreas de los principales cantones productores.

La productividad y tamaño del fruto de los cultivos en Ecuador depende del manejo de las fincas, es decir del hectaraje y de la tecnificación. La productividad media del país se ubica en veinte TM por hectárea.

En el mercado nacional, se consume la piña tipo “Perolera” o “Milagreña”, variedad originaria del Brasil. Su fruto está destinado al consumo local en fresco. Esta variedad tiene corazón grueso y pulpa blanca, característica que la hace poco utilizada para la industrialización, y que actualmente presenta más sobreoferta debido al ingreso al mercado del híbrido MD-2 que presenta mejores características para ser procesada y exportada.

TABLA 2
ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE SEMBRADA Y COSECHADA
DE LA VARIEDAD PEROLERA EN LA PROVINCIA DEL GUAYAS
EN 1999

CANTONES	SEMBRADA Ha	COSECHADA Ha
Empalme	2.800	1.800
Milagro	800	800
Naranjito	600	600
Chongon	150	150
Sta.Elena	80	80
Balzar	40	40
Salitre	0	0
Yaguachi	0	0
Daule	0	0
Naranjal	0	0
TOTAL	4.470	3.470

Fuente: Dirección Provincial Agropecuaria del Guayas
Elaborado por: CIC-CORPEI

¹ Ministerio de Agricultura y Ganadería

TABLA 3
ESTIMACIÓN DE LA SUPERFICIE SEMBRADA Y COSECHADA,
PRODUCCIÓN, VENTAS Y RECHAZO DE PIÑA DE LA
VARIEDAD PEROLERA

CULTIVOS	SUPERFICIE(Ha)		PRODUCCION	VTAS	RECHAZO
	PLANTADA	COSECHADA	TM	TM	TM
SOLO	4.532	2.862	47.862	46.304	1.558
ASOCIADO	1.218	806	645	586	59
TOTAL	5.750	3.668	48.507	46.890	1.617

Fuente: III Censo Nacional Agropecuario – CORPEI

Como podemos observar en la tabla 3 el rechazo estimado de piña de la variedad Perolera es de 1.617 TM/año cifra que simboliza una pérdida significativa de este fruto en fresco por el consumo competitivo de otras variedades sin industrializar. De manera que, es evidente que, por dicha razón, se investigue una nueva alternativa de producción que este al alcance de nuestra tecnología, que no encarezca al producto, y por supuesto sea del agrado del consumidor ajustándose a sus necesidades (2).

1.2. Deshidratación Osmótica

La Deshidratación Osmótica es un proceso que ha sido estudiado por más de 35 años y que en la actualidad está siendo estudiada y aplicada en países en desarrollo, basándose en los resultados obtenidos por varios autores (Raoult-Wack et al., 1989 (3); Pedro Fito et al., 1994 (4)) y debido a sus potenciales aplicaciones industriales.

La Deshidratación Osmótica es considerada como un pre-tratamiento o un complemento a las técnicas convencionales de procesamiento, que consiste en la remoción parcial del agua mediante la inmersión de un alimento en una solución hipertónica (ajustada a las propiedades físico- químicas del alimento), con el objetivo de producir dos efectos principales: flujo de agua desde el producto hacia la solución hipertónica y simultáneamente flujo de solutos hacia el interior del alimento. Solutos que pueden ser agentes reductores de la actividad de agua, así como también, ingredientes o aditivos, antioxidantes o sustancias que adicionen al alimento valor nutricional y sensorial (5).

Esta técnica, al ser aplicada en productos frutihortícolas, permite reducir su contenido de humedad hasta en un 50% en base húmeda, lo que nos muestra que no lograremos obtener un producto estable para su conservación, pero que permitirá obtener después del secado por aire o congelación, un producto final con buena calidad organoléptica y que cumple con los requerimientos de productos saludables y versátiles.

Los productos obtenidos con el proceso de deshidratación osmótica y posterior secado son del tipo snack, o ingrediente de panadería.

- **Mecanismo de Deshidratación**

Fito en 1994 (6) citó que la transferencia de masa en la deshidratación osmótica de las células de los alimentos como frutas y vegetales envuelve algunos fenómenos físicos. Los fenómenos o mecanismos de transporte son conocidos como ósmosis, difusión y mecanismo hidrodinámico de penetración de sólidos. Estos procesos ocurren simultáneamente.

El mecanismo hidrodinámico de penetración de sólidos se debe principalmente a los diferenciales de presión producidos en los

poros del producto (7). La ósmosis es el traspaso de la solución osmótica a través de la pared celular (8). Con este mecanismo se genera una diferencia de potencial químico efectuando una transferencia de agua a través de la membrana celular. El tercer proceso es la difusión de agua y sólido que siguen la segunda ley de Fick.

La pérdida de agua durante la deshidratación osmótica se divide en: período de alta velocidad constante de pérdida de agua que dura aproximadamente 2 horas seguido del período de velocidad decreciente que va de 2 a 6 horas en promedio (9).

Los principales factores que intervienen en los procesos de eliminación de agua- ganancia de soluto son:

- Tipo de solución
- Tipo de tejido celular (porosidad)
- Temperatura de la solución osmótica
- Concentración de la solución
- Proporción alimento-solución
- Tamaño del Alimento
- Forma del Alimento

- Tiempo de inmersión
- Agitación
- Presión a la que se encuentre la solución

En el mecanismo que se explicará a continuación (basado en la figura 1.2) se considera que la membrana celular es semipermeable, entonces se establece que la transferencia de agua, sales y azúcares naturales a través de ella hacia el espacio extracelular, es posible gracias al Transporte Transmembranario Plasmático, TTP; mientras que la transferencia hacia una célula adyacente ocurre gracias al Transporte Transmembranario Simplástico, TTS. Una vez que el agua y los constituyentes naturales alcanzan los espacios extracelulares, se transfieren hacia la solución osmótica. A su vez, los solutos de la solución osmótica se transfieren hacia el producto mediante un mecanismo semejante pero de dirección opuesta, dicho mecanismo es el Transporte Difusional-Conectivo, TDC (10).

Como la pared celular es permeable a la mayoría de los solutos utilizados en la deshidratación osmótica, el espacio comprendido entre la membrana celular y la pared celular también es

considerado como espacio intercelular en el modelado matemático de la deshidratación osmótica.

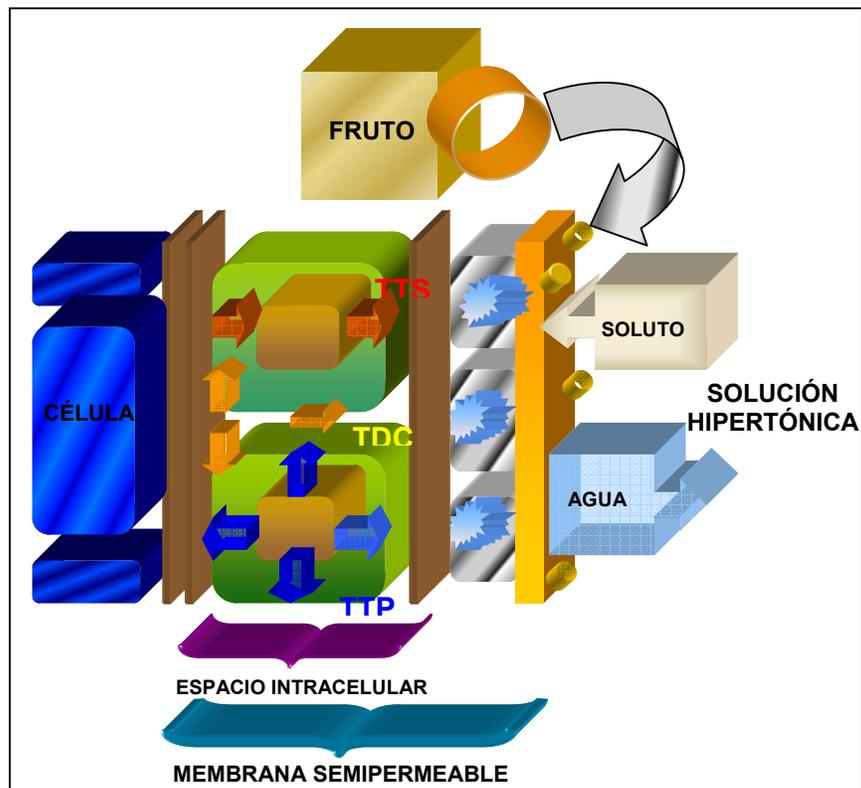


FIGURA 1.2 MECANISMO DE DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

- **Ventajas de la Deshidratación Osmótica como pre-tratamiento**

En los vastos estudios que se han realizado de Deshidratación Osmótica (11) se ha determinado que soluciona algunos de los

problemas tecnológicos que se presentan en las operaciones unitarias tradicionales.

Se ha comprobado que con la Deshidratación Osmótica se llega a una pérdida de peso de hasta el 50 %. La Deshidratación Osmótica además, tiene la ventaja de no usar altas temperaturas para llevarse a cabo evitando de esta manera el sabor a cocido que aportan otros tratamientos térmicos, incrementa la retención de sustancias volátiles, promueve la estabilización del color, y reduce las reacciones de pardeamiento enzimático oxidativo (12).

El proceso es atractivo desde el punto de vista económico, debido a que, como pre-tratamiento, disminuirá considerablemente el tiempo de los procesos unitarios ya conocidos (secado, congelación, refrigeración, liofilización, entre otros) para el desarrollo de un producto mínimamente procesado, reduciendo de esta manera la cantidad de energía requerida para su realización.

Orientándose un poco más al objetivo de la tesis las ventajas aplicando la deshidratación osmótica como tratamiento previo al secado convencional específicamente serán:

- Reducir la pérdida de sustancias volátiles, que son los principales compuestos del aroma.
- Mejorar la textura y estructura celular.
- Incrementar la estabilidad del color, inhibiendo reacciones capaces de producir pardeamiento.
- Reducir el endurecimiento superficial.
- Reducir el tiempo de tratamiento, ya que al estabilizar más rápidamente la a_w a un punto en que los microorganismos y reacciones responsables del deterioro no puedan desarrollarse. A su vez, esta ventaja hará que disminuyan los costos de producción en los que se incurren al reducir el consumo energético, horas de trabajo, entre otros, con una inversión mínima.

1.3. Fundamentos de Secado

El secado es un proceso simultáneo de transferencia de masa y calor que consiste en la separación de un líquido de un sólido por evaporación (13). Los alimentos secos son más concentrados que cualquier otra forma de producto alimenticio preservado (14).

Como proceso el secado posee múltiples ventajas frente a otras técnicas convencionales debido a la reducción considerable de peso y volumen. Entre ellas podemos nombrar por ejemplo el aumento de la vida útil en el almacenaje, la reducción en costos por almacenamiento, y la fácil manipulación por transporte y distribución. Y es debido a estas ventajas que se consideró este proceso el más adecuado para efectuársele a la piña, obteniendo un producto novedoso y bastante práctico en comparación a otras técnicas.

En el secado es importante establecer la estructura del sólido, ya que, es ella la que determinará el mecanismo por el cual ocurre la circulación interna del líquido, y que además, nos ayudará a estudiar la cinética del proceso para poder establecer la diferencia entre un producto seco a otro seco previamente deshidratado osmóticamente.

También es importante considerar la porosidad e higroscopía del sólido ya que no hay dos estructuras similares, y estas características determinarán el tiempo de exposición al calor, la temperatura a utilizar y el tratamiento previo en el caso de utilizarse.

Los procesos fundamentales y que ocurren simultáneamente en el secado son:

- Transmisión de calor para evaporar el líquido, transferencia que puede generarse por conducción, convección, radiación o combinación de estos.
- Transmisión de masa en forma líquida o vapor dentro del sólido y como vapor desde la superficie.

- **Mecanismo Interno de Secado**

Los mecanismos que pueden ocurrir en el secado son:

- * Difusión (sólidos homogéneos continuos)
- * Flujo Capilar (sólidos granulados y porosos)
- * Flujo provocado por gradiente de presión y concentración.
- * Flujo producido por gravedad
- * Flujo provocado por una consecuencia de vaporización y condensación.

- **Períodos de Secado**

Cuando graficamos los datos obtenidos experimentalmente expresados en velocidad de secado contra tiempo, observamos, tres períodos bien definidos que son como observamos en la figura 1.3:

- * Período de calentamiento del sólido (A-B)
- * Período de velocidad constante (B-C)
- * Período de velocidad decreciente (C-D)

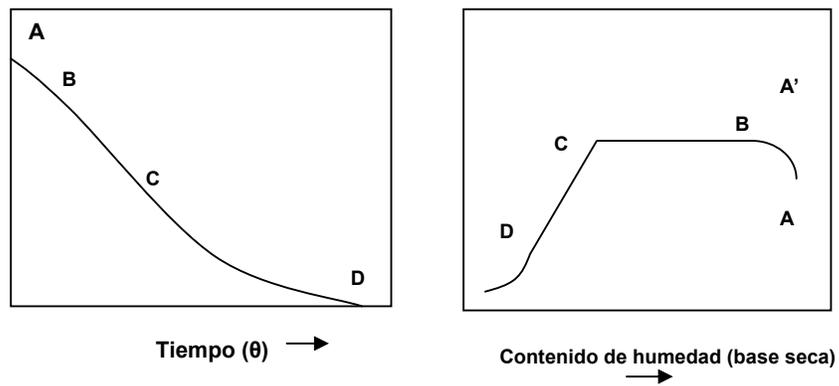
El período de velocidad constante o período (B – C) representado en la figura 1.3 entre, se produce en corto tiempo, y en este el agua se evapora libremente desde la superficie del sólido por mecanismos de difusión. Dicho período se caracteriza por el movimiento de la humedad dentro del sólido de forma acelerada con el fin de mantener una condición saturada en la superficie. El período de velocidad constante, es en el que se produce la mayor parte del secado.

El período de velocidad decreciente o período (C-D), es muy complejo ya que son varios los mecanismos que están

involucrados en el mismo, mecanismos que se enlistarán a continuación:

- Movimiento del líquido por fuerzas capilares
- Difusión del líquido
- Difusión superficial
- Y finalmente, difusión agua-vapor

a) Contenido de humedad en función del tiempo b) veloc. Deseccación en función del cont. humedad



a) veloc. desecación en función del tiempo

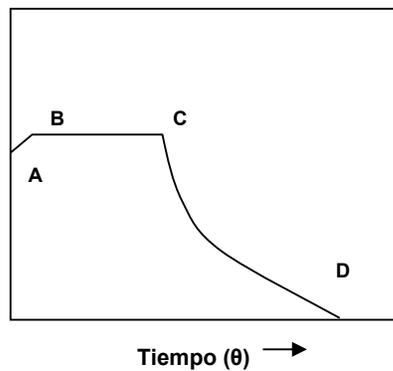


FIGURA 1.3 PERÍODOS DE DESECACIÓN

Fuente: Deshidratación de Alimentos, Barbosa G: Vega H.

La importancia del período de velocidad decreciente radica esencialmente en la eliminación de la humedad ligada o adherida al interior del sólido a tratar.

- **Tipos de Secadores**

Los secadores se dividen en dos grandes grupos; los directos y los indirectos (15). Ambos grupos se encuentran a su vez subdivididos en continuos y por lotes.

Dentro de los secadores continuos directos encontramos los de bandeja, de material dosificado en una capa, de transportador neumático, rotatorios, por aspersion, de circulación directa, de túnel y de lecho fluidizado.

Como secadores por lotes directos encontramos a los de circulación directa, de bandejas y compartimentos, y de lecho fluidizado.

En el grupo de los continuos indirectos existen secadores de cilindro, de tambor, de transportadores de tornillo, de tubo de vapor, de bandejas vibratoras, tipos especiales, y finalmente se

encuentra dentro de los secadores indirectos por lotes; secadores de aspas agitadas, secadores por congelación, secadores rotatorios al vacío y secadores de bandejas al vacío.

Para efectos de la investigación, se seleccionó para el proceso en estudio, el secador de bandeja por lote, puesto que a más de adaptarse perfectamente a las características físicas de la piña no es altamente especializado tecnológicamente, es decir, este es muy sencillo en cuanto a manufactura y manipulación se refiere.

1.3.1. Secado en Bandeja

El secado en bandeja es una técnica ampliamente utilizada única y exclusivamente para materiales granulares. Este proceso se caracteriza por la circulación de aire caliente en un sistema de circuito cerrado, donde el producto húmedo se encuentra en contacto directo con bandejas removibles de fondo perforado.

Este equipo consiste básicamente de una cámara o cabina aislada térmicamente que contiene el aire que se circula internamente por medio de un ventilador, dotado también de

un intercambiador de calor por el que pasa el aire y después a través de ventanas ajustables, se dirige el mismo horizontalmente entre las bandejas y la capa superficial del producto. La velocidad o flujo de aire, temperatura y tiempo es controlada por dispositivos que el equipo posee. Los calentadores de aire pueden trabajar directamente con gases de combustión de hornos, por vapor vivo en forma de radiadores o con resistencias eléctricas en los modelos más pequeños.

La temperatura del aire utilizada para los procesos de secado no deben sobrepasar los 100 ° C en alimentos, por tratarse de tejido biológico. Y específicamente refiriéndonos a frutas y verduras la temperatura no debe sobrepasar los 75 ° C.

La construcción y mantenimiento de estos equipos es relativamente barato, y su uso es bastante flexible. Sus principales desventajas son la baja capacidad de producción y la no uniformidad del contenido de humedad en el producto terminado que se obtiene en diversas partes del secador.

Muchas veces el producto sufre un fenómeno de contracción, formación de costra y deformación.

Otra desventaja muy destacada es también el alto costo de operación de este tipo de secadores, debido a las pérdidas en carga, descarga y mano de obra, lo cual se piensa reducir con el estudio de la eliminación y el mejoramiento de la técnica de secado con el tratamiento previo.

CAPITULO 2

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Para la realización de la fase experimental del estudio del efecto de la deshidratación osmótica en el secado en bandeja, primeramente, se seleccionó tanto la materia prima a utilizar como los equipos pertinentes para el proceso. A continuación se explica detalladamente como se evaluaron los materiales idóneos.

2.1. Materiales

2.1.1. Caracterización de la Materia Prima

La piña (Ananas Comosus) de la variedad Milagreña o Perolera, que fue adquirida en los mercados locales, debió ser primeramente evaluada con una prueba de manipulación para determinar en que día desde su cosecha esta posee las

características requeridas para ser procesada. Entre las características más importantes se consideraron la firmeza al corte y los ° Brix o contenido de azúcar.

Es así como se obtuvo la tabla 4 que se muestra a continuación y que nos provee de la siguiente información:

TABLA 4
ESTADOS DE MADUREZ DE LA PIÑA A 28 °C

DÍA 1	DÍA 2	DÍA 3	DÍA 4
			
Fruta completamente verde	Trazas amarillas dentro de los ojos del fruto	Color amarillo más claro dentro de los ojos	La mayoría de los ojos muestran color amarillo
			Día 1: 11 ± 0.1 ° Brix - muy firme al corte Día 2: 11.2 ± 0.1 ° Brix - Firme al corte Día 3: 11.4 ± 0.1 ° Brix - Medianamente firme al corte Día 4: 11.6 ± 0.1 ° Brix - ligeramente firme Día 5: 11.8 ± 0.1 ° Brix - Ligeramente suave Día 6: 12.0 ± 0.1 ° Brix - Suave al corte Día 7: 12.2 ± 0.1 ° Brix - Muy suave al corte
Trazas de verde rodeando los ojos	Trazas de verde en todo el fruto	Fruto completamente amarillo	

A partir de este estudio y considerando que la piña es una fruta no climatérica, se determinó que la piña si puede ganar después de su cosecha hasta 1 °Brix durante 7 días para luego ingresar en un período de fermentación de los azúcares y además de perder hasta un 4% de humedad en este lapso, lo que ejerce un cambio en su textura.

Es así, que en base al esquema presentado se seleccionó como apta a la piña del día uno por tener firmeza en el corte y por poseer menor cantidad de azúcar de tal manera que no se modifique drásticamente el sabor y dulzor original de esta con la inmersión en la solución de agente osmótico durante la deshidratación osmótica.

Para la deshidratación osmótica se caracterizó el agente osmótico a utilizar, este debía ajustarse a las propiedades organolépticas del fruto a tratar, es por esto que aplicando dicho requerimiento se eligió al azúcar común para la preparación de la solución, pues esta es un excelente reductor de agua. Además es muy comercializada en el país a un costo muy bajo en relación a los otros agentes que se ajustan como la glucosa.

2.1.2. Equipos

Los equipos, instrumentos, materiales y reactivos utilizados durante la experimentación fueron los siguientes:

Para la elaboración de Isotermas de Desorción

- Balanza Analítica Modelo AB-104 METLER TOLEDO.
- Recipientes plásticos pequeños con tapa.
- Estufa Mermmet Modelo UM-500.

Dentro de los materiales utilizados tenemos:

- Agua destilada.
- Sales

SALES	Aw 25-30 ° C
K_2SO_4	0.97
KNO_3	0,94
KCl	0.843
NaCl	0.75
K_2CO_3	0.44
$KC_2H_3O_2$	0.23
Na(OH)	0.0758

Materiales utilizados:

- Cestilla de Aluminio.
- Papel filtro Wathman No. 10.

Para el proceso de Deshidratación Osmótica se requirió de:

Materiales como:

- Cortadores de Acero Inoxidable para corazón y troceado en cubos de 1.5 cm x 1.5 cm
- Recipientes plásticos con malla
- Agitador de vidrio.
- Jarra Plástica Capacidad 4 Litros
- Mortero.
- Pipetas Pasteur.

Equipos:

- Estufa Mermmet Modelo UM-500
- Termómetro con rango de temperatura entre 0 y 100 °C.

- Refractómetros modelo RHB 32ATC para medición de 0 a 32 ° Brix, de 28 a 62 ° Brix y de 45 a 82 ° Brix.
- Baño María Fanem Modelo BM 100 Serie MU4124 Ajuste de T (°C) 28/37/56, Temperatura Máxima 60 °C.
- Cronómetro para Laboratorio.
- Balanza digital KERN kb Peso máximo 610 g, d=0.01 g.

(Ver equipos en Apéndice A)

Los equipos y materiales utilizados en el Secado en Bandeja

- Malla para secado
- Secador Modelo 645 Blower Motor 1/6 hp, T=15-325 °C, velocidad de aire= 1-9 m/s, vatios=230, total watts=4800, Amperios= 21.3, Frecuencia=60, fase=1.
- Balanza gramera OHAUS, capacidad= 1250 g
- Selladora al Vacío Food Saver
- Medidor de flujo marca ALNOR (ft/min)

(Ver equipos Apéndice B)

Los materiales y equipos necesarios para la realización de los Análisis Bromatológicos fueron:

- **Para prueba de Humedad**

- Balanza Analítica Modelo AB-104 METLER TOLEDO.
- Estufa Mermmet Modelo UM-500.

Materiales:

- Crisoles de Aluminio claramente identificados.
- Equipo desecador con Silica gel.
- Pinzas de Laboratorio.

- **Para prueba de Ceniza**

- Balanza Analítica Modelo AB-104 METLER TOLEDO.
- Mufla 1500 FURNACE 600 °C

- Crisoles de Porcelana debidamente identificados.
- Pinzas de Laboratorio.
- Desecador con Silica Gel.

(Ver equipos Apéndice C)

Los materiales y equipos utilizados para la determinación de los análisis Físicos fueron:

- **Para Color**

- Cartilla de Color-PANTONE (Referencia de color interno Piña)

(Ver cartilla Apéndice D)

- **Para Rehidratación**

Reactivos:

- Agua Destilada.

Materiales

- Pinzas de Laboratorio.

- Cronómetro de Laboratorio.

Equipos:

- Balanza digital KERN kb Peso máximo 610 g,
d=0.01 g.

- **Observación Microscópica de tejidos**

- Porta objeto y cubre objeto de vidrio
- Televisor 29 pulgadas, color negro, sonido estéreo, pantalla plana, Marca Sony.
- Estéreo microscopio Objetivo: 2x/4x MOTIC Series ST-39C-N960 02/02.
- Video Flex, Ken-a-vision, Series 7000.

Reactivo:

- Azul de Metileno para tinción del tejido.

- **Análisis Sensorial**

Materiales:

- Muestras del producto.

- Recipientes para Muestra.
- Biombo separador para la mesa análisis.
- Vasos con Agua.
- Hojas de calificación y de respuesta.

Jueces/Consumidores:

- Jueces no calificados, consumidores potenciales de piña.

(Ver hoja de calificación Apéndice E)

2.2. Metodología

2.2.1. Isotermas de Desorción

Las Isotermas de Desorción se realizaron por el método gravimétrico o isopiéstico que se basa específicamente en la determinación del contenido de humedad de la muestra después de alcanzar el equilibrio.

La humedad de equilibrio se obtiene mediante el siguiente procedimiento:

1. En los recipientes plásticos se elaboraron soluciones saturadas de cada sal enlistada en los materiales, manteniéndolas a una distancia prudencial de la cestilla que se ubicará sobre estas. Se cerró el recipiente herméticamente para evitar el ingreso de la humedad del ambiente.
2. Se equilibró la saturación de las soluciones durante aproximadamente 3 días.
3. Se tomó el peso de la cestilla y se revisó periódicamente durante aproximadamente 3 días hasta alcanzar el equilibrio del sistema.
4. Se introdujeron 2 gramos de muestra para cada sistema debidamente equilibrado y se pesó diariamente hasta alcanzar el equilibrio en el sistema nuevamente.
5. Finalmente se realizaron los cálculos pertinentes con las fórmulas que se muestran a continuación:

$$\%ST = \frac{P_i * St_i}{P_f} * 100 \quad (2.1)$$

Donde:

$\%ST$ = Porcentaje Sólidos totales

P_i = Peso inicial muestra

St_i = Sólidos totales iniciales

P_f = peso final muestra

$$\%H_2O = 100 - \%ST \quad (2.2)$$

Donde:

$\%H_2O$ = porcentaje de agua final

$\%ST$ = porcentaje de sólidos totales

Para hallar la humedad en base seca a utilizar para la representación gráfica vs a_w utilizamos la sgt. Ecuación:

$$X = \frac{\% H_2O}{100 - \% H_2O} \quad (2.3)$$

Donde:

X = humedad en base seca (kg de agua/ kg sólido seco)

$\%H_2O$ = % humedad

Dicha ecuación finalmente nos ayudará a realizar la curva BET que básicamente sirve para encontrar la humedad en la cual el producto es más estable a los procesos

enzimáticos, microbiológicos y oxidativos que ocurren en el producto a través del tiempo. Esta curva se obtiene a partir de las sgts. fórmulas:

$$m = \frac{a_w}{(1 - a_w) * X} \quad (2.4)$$

Donde:

m = valor de la pendiente

a_w =actividad de agua del soluto

X = humedad base seca

$$X_m = \frac{1}{a + m} \quad (2.5)$$

Donde:

X_m = humedad monocapa BET

a = intercepto

m = pendiente

De igual manera se obtendrá el valor de humedad en la que se encuentre el producto más estable a los procesos deteriorativos por medio de la ecuación GAB (Modelo de Guggenheim-Anderson-de Boer), misma que es una extensión de la ecuación de BET. Este valor mucho más exacto se obtendrá a partir del programa Origin 6.0 que trabaja con ésta ecuación.

El modelo GAB se expresa como:

$$\frac{X_e}{X_m} = \frac{CKa_w}{(1 - Ka_w)(1 - Ka_w + CKa_w)} \quad (2.6)$$

$$C = c \exp\left(\frac{H_m - H_n}{RT}\right) \quad (2.7)$$

$$K = k \exp\left(\frac{H_p - H_n}{RT}\right) \quad (2.8)$$

Donde:

c y k = factores de acomodación entrópica

X_e = humedad de equilibrio

X_m = humedad de monocapa

H_m = entalpía molar de adsorción de la monocapa

H_n =entalpía molar de adsorción de la multicapa

H_p = entalpía molar de evaporación del agua líquida.

T = temperatura

R = constante universal de los gases

C y K = constantes entrópicas

2.2.2. Deshidratación Osmótica como pre-tratamiento de secado

Primeramente se realizaron las soluciones del agente osmótico seleccionado que fue el azúcar común o sacarosa. Las soluciones se elaboraron en concentraciones de 40, 50 y 60 °Brix y cada una de ellas fue sometida a una temperatura de solución de 35 y 55 ° C en recipientes con malla (debidamente rotulados), mantenidos en equilibrio con el uso de una estufa regulada a una temperatura de 65-70 °C.

Cabe recalcar que estas concentraciones y temperaturas fueron seleccionadas a partir de estudios realizados en piña en otros países.

Luego se troceó la piña con el cortador de acero inoxidable en cubos de 1.5 cm x 1.5 cm para efectos de uniformidad en el estudio de pérdida de agua y ganancia de sólidos. Estos trozos obtenidos fueron inmediatamente sumergidos en las soluciones estabilizadas en una relación 1:4 fruta:solución.

Este proceso se realizó durante 6 horas, en las cuales se tomaron datos de peso y ° Brix de muestra por duplicado, cada 10 minutos durante las primeras dos horas, en donde la velocidad de transferencia es mayor y cada 30 minutos en las cuatro horas restantes.

Finalmente con los datos obtenidos se realizaron los cálculos pertinentes de pérdida de peso, pérdida de agua, ganancia de sólidos, y contenido en gramos de agua y sólidos, para de esta manera determinar el tiempo en que la deshidratación osmótica debe realizarse para luego proceder al secado.

Para determinar la pérdida de agua se utilizó la siguiente ecuación:

$$\Delta M_{wt} = \frac{(P_o * h_o) - (P_t * h_f)}{P_o} * 100 \quad (2.9)$$

Donde:

ΔM_{wt} = Pérdida de agua

P_o = peso inicial de la muestra

h_o = fracción humedad inicial

P_t = peso en un tiempo t

h_f = fracción de humedad en tiempo t

Para el cálculo de la ganancia de sólidos se utilizó la fórmula que a continuación se muestra:

$$\Delta M_{st} = \frac{(P_t * S_t) - (P_o * S_o)}{P_o} * 100 \quad (2.10)$$

Donde:

ΔM_{st} = Ganancia de sólidos

P_t = Peso muestra en tiempo t

S_t = fracción de sólidos totales en el tiempo t

P_o = Peso muestra inicial

S_o = fracción de sólidos totales inicial

Para determinar el contenido de agua y sólidos presente en las muestras se utilizó la sgt. fórmula:

$$(g) Agua = P_t * h \quad (2.11)$$

Donde:

P_t = peso de muestra en el tiempo t

h = fracción de humedad en el tiempo t

$$(g) sólido = P_t * S_t \quad (2.12)$$

Donde:

P_t = peso muestra en el tiempo t

S_t = fracción sólidos totales en el tiempo t

2.2.3. Secado en Bandeja

Para este procedimiento se debieron establecer los parámetros a controlar durante el secado. La temperatura de aire elegida fue de 60 °C, temperatura tomada como referencia al trabajo realizado en frutas con similares características.

Otro de los parámetros controlados durante el experimento fue la velocidad de flujo de aire, que fue programada en 3.2 m/s, cabe recalcar que este parámetro fue regulado con el medidor de velocidad de aire marca ALNOR.

Se tomaron muestras por duplicado claramente identificadas, tanto de piña fresca (sin tratamiento previo), así como de piña deshidratada osmóticamente.

Dichas muestras a continuación fueron sometidas al proceso de secado por un tiempo de 8 horas. Pasado este tiempo se procedió a un tiempo de enfriamiento seguido de sellado al vacío para finalmente someterlas a estudios o análisis bromatológicos, físicos y sensoriales.

Los datos obtenidos en el estudio fueron utilizados para hallar la velocidad de secado en cada período, y las fórmulas utilizadas para el mismo fueron:

Se obtienen primero la humedad de equilibrio, y la humedad libre.

$$X = X_t - X^* \quad (2.13)$$

Donde:

X = contenido de humedad libre (kg de humedad libre/ kg de sólido seco)

X^* = contenido de humedad de equilibrio (kg de humedad en equilibrio/kg de sólido seco)

X_t = humedad en función del tiempo.

Se sustituyen estos datos en la fórmula de velocidad de secado:

$$R = -\frac{L_s}{A} \frac{dX}{dt} \quad (2.14)$$

Donde:

R = velocidad de secado kg de Agua/h m²

L_s = kg de sólido seco usado

A = Área superficial expuesta (m²)

2.2.4. Análisis Bromatológicos

Los métodos bromatológicos utilizados se basaron en los procedimientos de la AOAC que se detallan seguidamente.

Prueba de Humedad

Basada en el método AOAC (1980) 22.013 para determinación de la humedad en frutas secas. Este es ampliamente utilizado para control en frutas frescas, frutas secas, pulpa, jaleas y mermeladas.

1. Se homogeniza la muestra
2. Se pesan muestras de aproximadamente 2 g en platos de metálicos.

3. Se someten a una temperatura de 70 °C por 2 horas.
4. Se enfrían las muestras y se pesa nuevamente, se aplican las fórmulas y cálculos respectivos.

$$H = \frac{HCM - HF}{HCM - HC} * 100 \quad (2.15)$$

Donde:

H = % de humedad

HF = Peso final del recipiente

HCM = Peso del Crisol más muestra

HC = Peso del recipiente vacío

Prueba de Cenizas

Basada en el Procedimiento AOAC 22.018 para determinación de la materia insoluble.

1. Se pesa en crisoles de porcelana 20 g de muestra de fruta fresca que puede poseer menor igual a 3-4 g de material seco.
2. Se seca a 70 ° C a presiones por debajo de los 100 mm Hg con toma de pesos cada 2 horas o se utiliza una estufa a 120 ° C por dos horas, seguidamente se lo envía a una mufla calibrada a 600 °C.
3. Finalmente se enfría, se pesa y se realizan los cálculos pertinentes.

$$\% C_z = \frac{CF - CC}{CCM - CC} * 100 \quad (2.16)$$

Donde:

$\%C_z$ = porcentaje de cenizas

CF = Peso muestra calcinada

CC = Peso Crisol

CCM = Peso del Crisol con muestra

Prueba para Obtención de Sólidos Solubles

Basada en el método AOAC 22.024 para determinación de sólidos solubles y se realiza leyendo con refractómetro, donde cada cifra será igual a un porcentaje de sólidos solubles presentes en la fruta.

2.2.5. Análisis Físicos

▪ Color

Se tomó como referencia de la tabla de colores se tomó la cartilla No. 11 de colores derivados del amarillo con códigos del 824 al 676. con dichos colores se obtuvo una secuencia de comportamiento en el proceso de secado.

▪ Rehidratación

Se tomaron muestras representativas del proceso de secado con y sin tratamiento previo.

1. Cada una de ellas fue pesada e identificada.

2. El poder de rehidratación fue determinado realizando inmersiones por un minuto en 200 ml de agua destilada.
3. Se procedió al drenaje del exceso de líquido y al pesado de las muestras.

La rehidratación se evaluó por el porcentaje de ganancia de agua.

- **Observación Microscópica de tejidos**

A las muestras tomadas en los diferentes tiempos en el secado se les realizó una tinción con Azul de Metileno para identificar el cambio estructural a nivel de tejidos.

Para documentarlo se fotografiaron los resultados, de manera que se pudiese determinar diferencias.

2.2.6. Análisis Sensorial

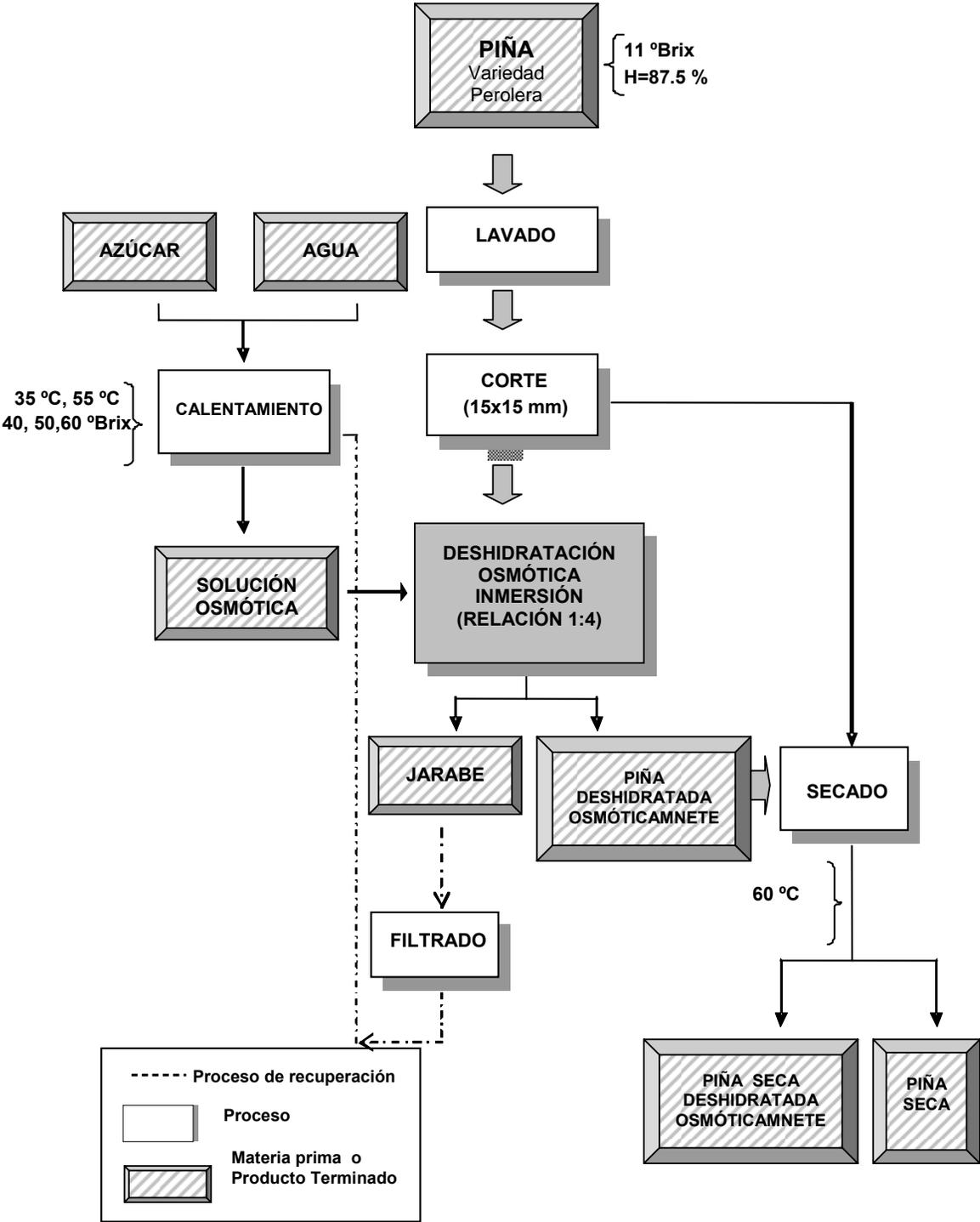
Se realizó una prueba de nivel de agrado para cada uno de los productos en análisis, es decir el que fue sometido a la deshidratación osmótica como tratamiento previo y al que no.

Para esto se presentó una muestra de cada tipo, que fueron evaluadas en hojas de respuesta separadas, y cuya escala de referencia escogida fue la no estructurada para facilitar la comprensión del mecanismo a seguir.

Los jueces escogidos fueron consumidores potenciales de la piña y no conocieron la problemática de análisis en estudio. Como Apéndice se presenta tanto la hoja de respuesta como un ejemplo de llenado de la misma.

Los datos recogidos del análisis fueron posteriormente evaluados estadísticamente por medio de el método Pareado y por la t de Student con probabilidad 0.05 y con grados de libertad $n-1$. Fueron 25 los jueces participantes de la evaluación, por lo tanto los grados de libertad obtenidos fueron de 24.

2.3. Diagrama de flujo



CAPITULO 3

3. ANÁLISIS DE RESULTADOS

Seguidamente de la etapa experimental los datos obtenidos fueron evaluados y exhaustivamente analizados, a fin de obtener los resultados que aprobarán o desaprobarán la hipótesis de que el producto mejorará en calidad organoléptica sin perder su estabilidad en percha mediante el pre-tratamiento. Los respectivos resultados serán mostrados a continuación.

3.1. Isotermas de Desorción

Para obtener el valor de a_w en el que el producto se encuentre más estable a procesos de deterioro, se tuvo que recurrir a la utilización de las ecuaciones y gráficas de la monocapa BET presentadas en el capítulo dos. Para determinar en que rango de a_w se encontraba la monocapa BET, se tomaron los datos obtenidos hasta alcanzar el

equilibrio, de los mismos se obtuvo el valor de %Sólidos Totales, y el valor de Humedad en base seca con las ecuaciones 2.1, 2.2 y 2.3 respectivamente.

Con el uso de Origin 6.0, programa ajustado a la ecuación de GAB, se obtuvieron las curvas que representan los datos antes obtenidos tanto para la piña en fresco como para la piña deshidratada osmóticamente. El objetivo primordial de dicha gráfica es obtener el contenido en humedad que representa teóricamente la adsorción en la primera capa de moléculas de agua (punto **a** de la Isoterma), teniendo en cuenta las propiedades modificadas del agua adsorbida en la región multicapa. Esta se denomina valor monocapa y está generalmente alrededor de una a_w de 0.2-0.4 y por debajo de un contenido de humedad de 0.1 g de H₂O/ g de sólido.

Como se observa en la figura 3.1 la isoterma posee forma curva, que es el tipo de isoterma de la mayoría de los alimentos que poseen un alto porcentaje de azúcar en relación con los sólidos totales. La isoterma se comporta entonces de tal forma igual a una del tipo 1, que es aquella que representa a los sólidos cristalinos presentes en el producto, que al encontrarse en alto porcentaje hacen que el producto se manifieste de igual manera. Este producto no se comporta como

granos y cereales pues son otros los componentes mayoritarios de estos, y se comportan más de forma sigmoideal.

Las figuras 3.1. y 3.2 nos ayudan a obtener la a_w en la que el producto será menos vulnerable al deterioro interceptando el valor de humedad de la monocapa con la curva y descendiendo al eje de las ordenadas.

Es entonces que a partir de dichas curvas en Piña Fresca obtenemos que el valor de la humedad en la monocapa representada por "a" será de 0.0944 g H₂O / g ss, e interceptando este valor de humedad con la curva se obtendrá una a_w de 0.2, lo que significa que es en este punto el agua está menos disponible para participar en las reacciones físicas, químicas y microbiológicas (16).

De igual manera se evaluó la curva obtenida a partir de la piña deshidratada osmóticamente, la forma de esta gráfica como se observa en la figura 3.2 es más curva aún que la que representa a la piña fresca, esto se debe a que esta isoterma también es del tipo 1, que representa como se enunció a los productos cristalinos o con alto contenido de azúcar.

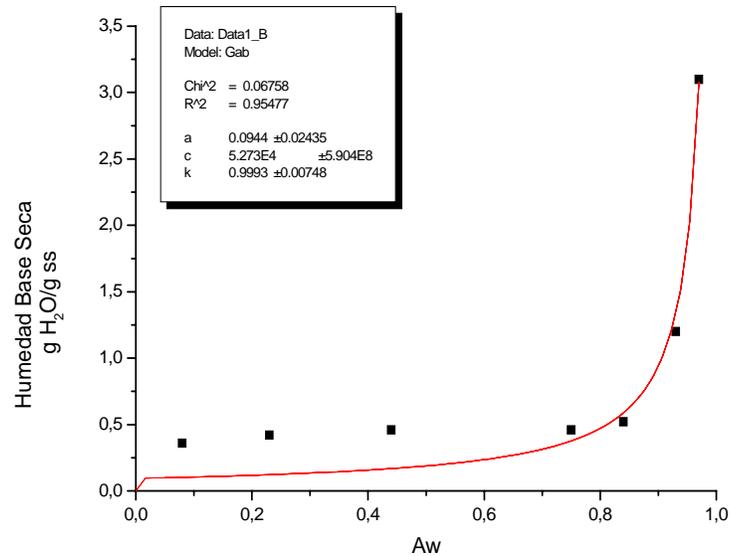


FIGURA 3.1. ISOTERMA OBTENIDA EN PIÑA FRESCA

Así mismo, la figura 3.2 representa a productos deshidratados osmóticamente, como se ha comprobado en estudios anteriormente realizados por otros autores (17). La forma de esta gráfica nos indica que la desorción no fue necesario abastecerse de mucha energía para alcanzar valores de 0 g H₂O / g ss.

En este tipo de curvas ocurre que entre más se van acercando a valores de a_w por debajo de 0.3 los capilares pueden vaciarse, y mientras va finalizando la transferencia, la superficie de los poros

atrapan y mantienen agua internamente por debajo de la a_w en la cual puede ser liberada.

El valor de la humedad en la monocapa en piña deshidratada osmóticamente, es de de 0.2195 g H₂O /g ss. Interceptando este valor con la curva y bajando hacia las ordenadas se obtuvo que la a_w que proveerá de estabilidad al producto será de 0.4. Es decir, en pocas palabras que a pesar de las curvas mostrar el mismo comportamiento, es mucho más estable el producto de la deshidratación Osmótica que el fresco.

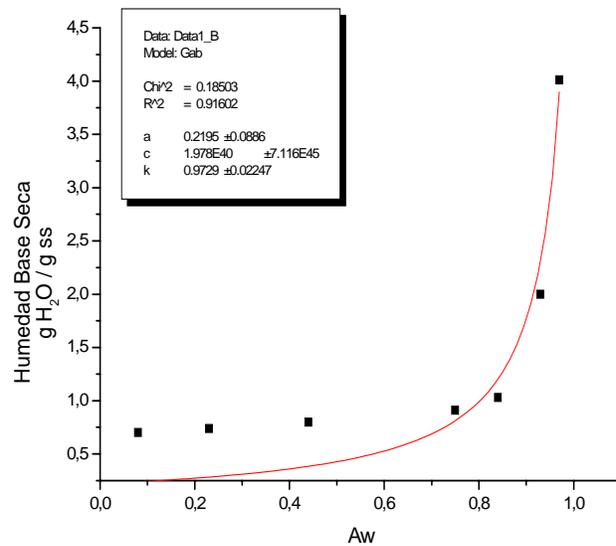


FIGURA 3.2. ISOTERMA OBTENIDA EN PIÑA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE

Observando el valor de a_w obtenido en Piña fresca, se identificó que se encuentra en el intervalo de $0 < a_w < 0.2$, que es en el cual actúan fuerzas de Van der Waals muy intensas debido a la poca cantidad de agua existente en el producto. Las moléculas de agua presentes están muy ligadas a los puntos activos, como los grupos polares de las moléculas o como los puentes de hidrógeno (18). Para llegar a este valor de a_w se debe someter al producto a un proceso muy extenuante y prolongado para reducir al mínimo el agua presente, lo que de hecho generará un cambio definitivo en sus propiedades organolépticas, es decir que se deberá alargar específicamente el tiempo de secado que es el objeto en estudio, lo que destruirá la apariencia y aroma natural del fruto.

Por otro lado, y comparando el valor de la humedad en la monocapa de Piña Fresca con el de la Piña Deshidratada Osmóticamente, se puede analizar que “a” se encuentra en el intervalo de $0.2 < a_w < 0.6$ (que corresponde a la parte central de la curva) el producto será mucho más estable que en el caso de la piña fresca que se encontrará estable en una a_w menor a 0.2. La fruta deshidratada se encuentra más estable debido a que el agua se encuentra bajo forma de multicapas que recubren parcialmente la superficie del sustrato

seco, estas moléculas de agua están ligadas más débilmente que las de la monocapa, pero de igual forma estará exenta de deterioro(19).

Por tanto, las isotermas nos confirman que realizando el pre-tratamiento en cuestión no se necesitará reducir abruptamente el agua contenida para alcanzar la estabilidad del producto.

3.2. Deshidratación Osmótica

Para seleccionar el proceso de deshidratación osmótica más apropiado para el posterior secado en bandeja se consideró que el proceso de deshidratación ideal es aquel en que el ingreso de solutos es mínimo, y en que la reducción de peso y remoción de agua es mayor en un período de hasta 2 horas (9,12). Es decir, que el proceso de deshidratación que se busca obtener es aquel con el cual se reduce considerablemente la cantidad de agua existente en el producto sin alterar las características organolépticas propias del fruto.

Como se enunció en el capítulo 2, se realizaron estudios con soluciones de concentraciones 40, 50 y 60 °Brix sometidas a temperaturas de 35 y 55 °C cada una, de los cuales se obtuvieron resultados (mostrados en los Apéndices F y G) que posteriormente

fueron representados gráficamente y que se presentarán a continuación para el análisis de pérdida de peso, agua y ganancia de sólidos.

- **Análisis de Pérdida de Peso**

Las gráficas 3.1 y 3.2 obtenidas a partir de la ecuación 2.9 muestran claramente la influencia de la temperatura y la concentración en la pérdida de peso de los cubos de piña durante la deshidratación osmótica.

Realizando una comparación de comportamientos entre concentraciones y temperaturas podemos observar primeramente que a 35°C aun con concentraciones de 60 °Brix (la más alta en estudio) no se logra alcanzar una reducción del 50% del peso de agua en gramos en un tiempo de 6 horas, que en términos de deshidratación osmótica no es idóneo pues produciría un excesivo incremento de sólidos dentro del producto y no cumpliría con los principios del proceso.

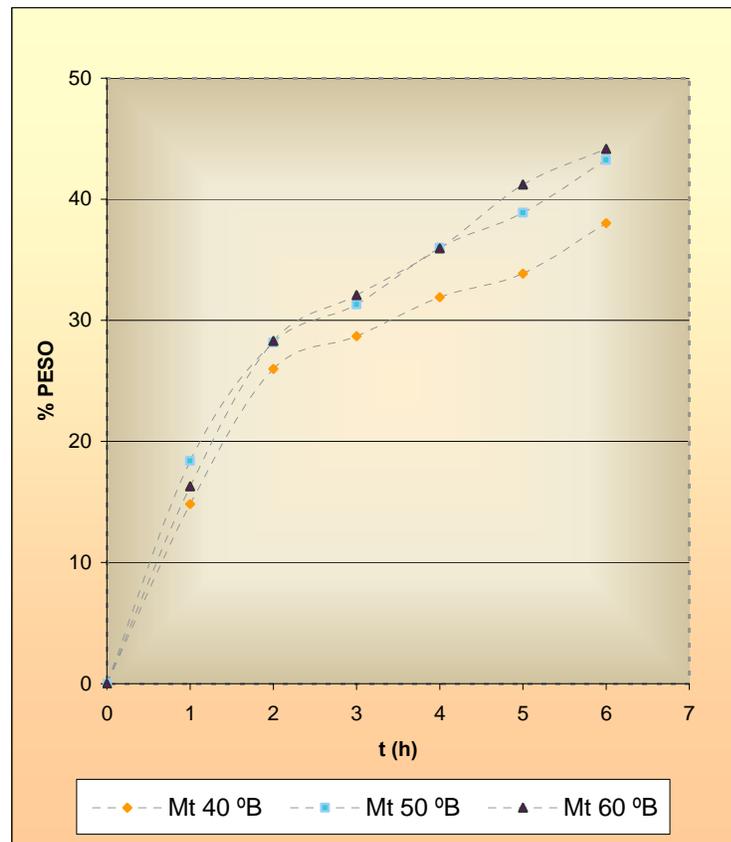


GRÁFICO 3.1. PORCENTAJE PÉRDIDA DE PESO A 35 °C DE FRUTA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE

Por otro lado, analizando la pérdida de peso a 55 °C, se obtiene que aun a una concentración de 40 °Brix (la más baja en estudio) se alcanza una reducción de peso muy cercano al 50% en las dos primeras horas.

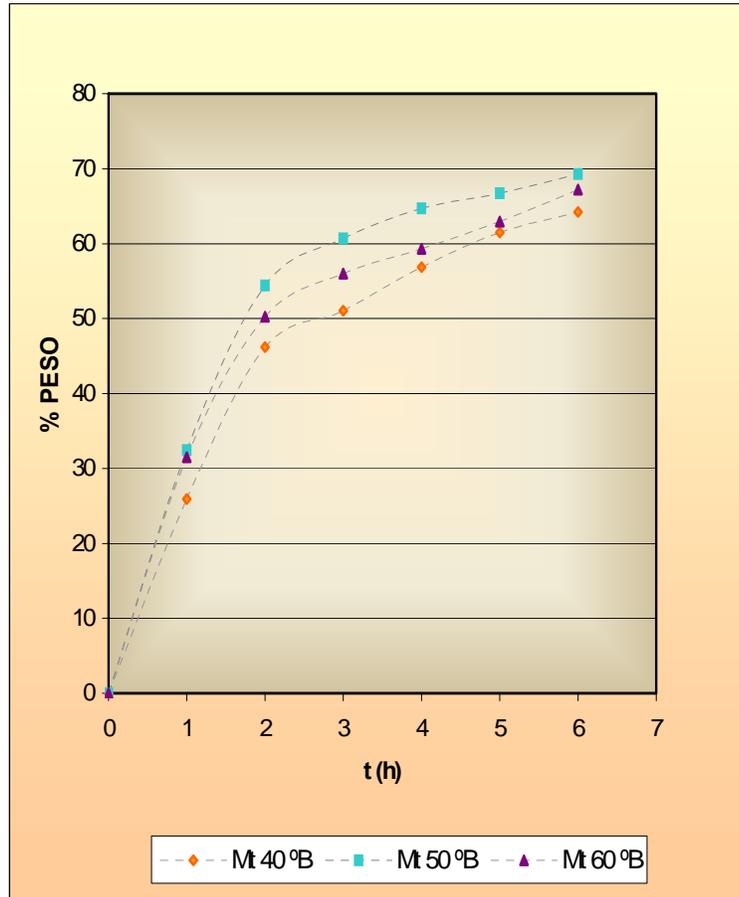


GRÁFICO 3.2. PORCENTAJE PÉRDIDA DE PESO A 55 °C EN FRUTA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE.

Con este análisis se determinó que la temperatura más influyente es 55 °C, pero con este estudio no se pudo aseverar que concentración era la más adecuada, para esto se debió plantear la manera en que afecta la concentración a la pérdida de agua e ingreso de solutos.

- **Análisis de velocidad Pérdida de Agua**

La pérdida de agua durante la deshidratación osmótica es calculada por la diferencia de la pérdida de peso y la ganancia de solutos durante el pretratamiento (20).

Esta es una importante variable debido a que refleja la proporción de agua libre que va desprendiendo el producto con respecto al tiempo, y además refleja la condición más favorable de proceso refiriéndonos en términos de deshidratación osmótica.

Mediante las gráficas que se presentan a continuación se determinó cual de las diferentes combinaciones de concentración y temperatura es la que lograba eliminar la mayor cantidad de agua disponible como libre en el menor tiempo posible.

Analizando los cambios producidos a 35 °C , se evidenció que mientras mayor es la concentración de la solución, el porcentaje de pérdida de agua a través del tiempo será mayor. Sin embargo también se observa que este incremento es

gradual, y que para alcanzar cantidades mayores a los 50 g en base seca se debe realizar un proceso con una duración mayor a dos horas, que como se indicó anteriormente no es recomendable.

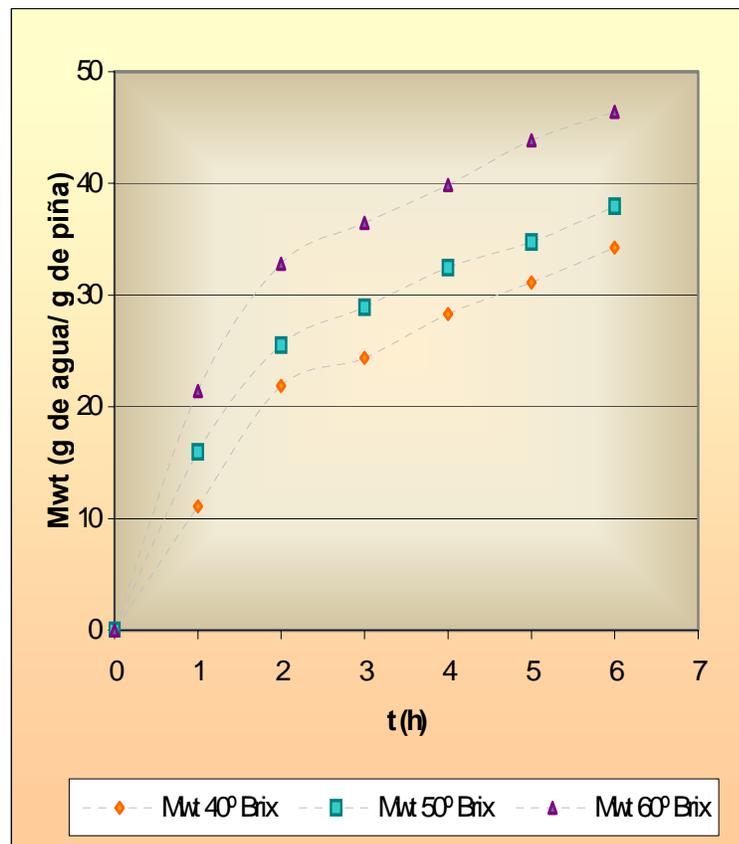


GRÁFICO 3.3 PÉRDIDA DE AGUA A 35 °C EN FRUTA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE.

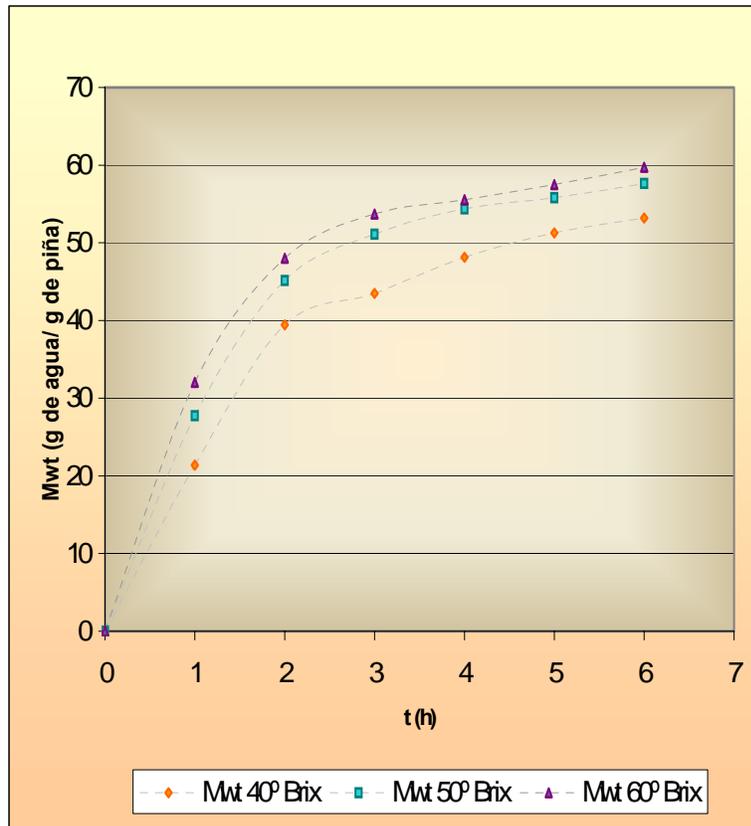


GRÁFICO 3.4. PÉRDIDA DE AGUA A 55 °C EN FRUTA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE.

Al contrario, el proceso con temperatura de 55°C para las diferentes concentraciones logra reducir el tiempo de contacto de la solución con el fruto, pues como se observa en el gráfico aún con una concentración de 40 °Brix se eliminan cerca de 50 g de agua de la piña. Esto se debe específicamente a que la

temperatura eleva la presión ejercida en la superficie del producto. La presión genera que sus poros se dilaten logrando así volverla más permeable y por ende, más vulnerable a la transferencia de masa.

El aumento de la temperatura produce una mayor velocidad de deshidratación, debido a la mayor movilidad de las moléculas y a la pérdida de selectividad de la membrana.

Es entonces que en base a este análisis se considera más idóneo utilizar una temperatura de 55 °C. Luego de esta etapa lo único que falta evaluar para homologar temperatura y concentración es obtener los resultados del uso de dichas variables con respecto a la ganancia de sólidos, que será tratada a continuación.

- **Análisis de velocidad Ganancia de sólidos**

Como se enunció en el anteriormente, es muy importante conocer la temperatura más adecuada para el proceso, pero se necesita además conocer el ingreso de sólidos al producto en un tiempo determinado puesto que como se

explicó antes el tratamiento debe ser eficiente y corto. A continuación se muestran los gráficos a partir de datos obtenidos del estudio resultante de la ecuación 2.10.

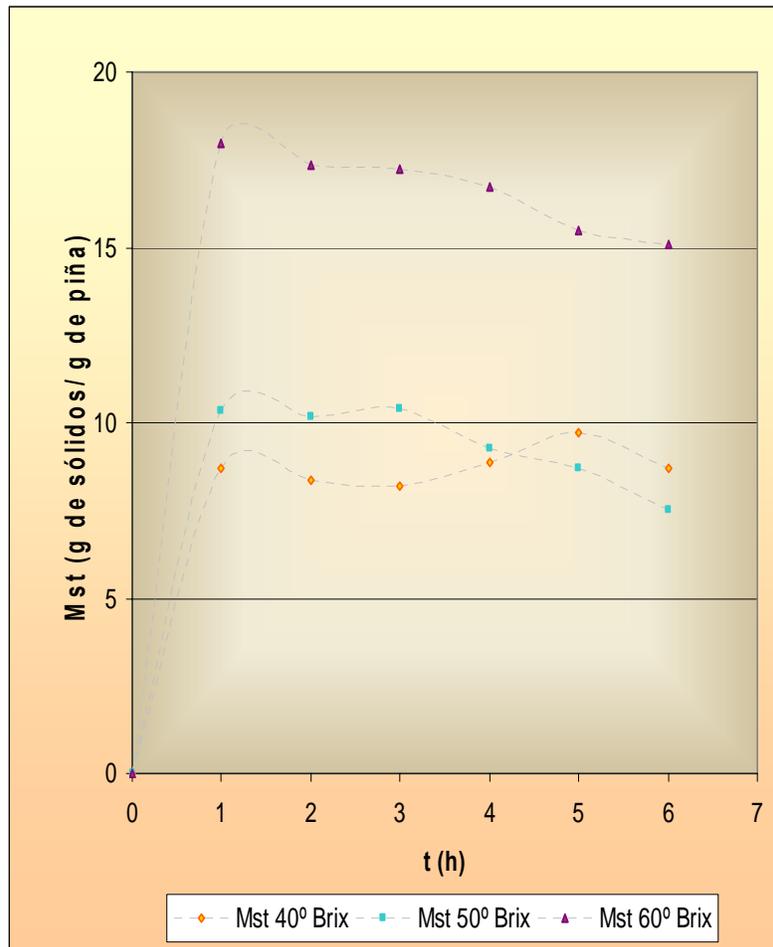


GRÁFICO 3.5. GANANCIA DE SÓLIDOS A 35 °C EN FRUTA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE.

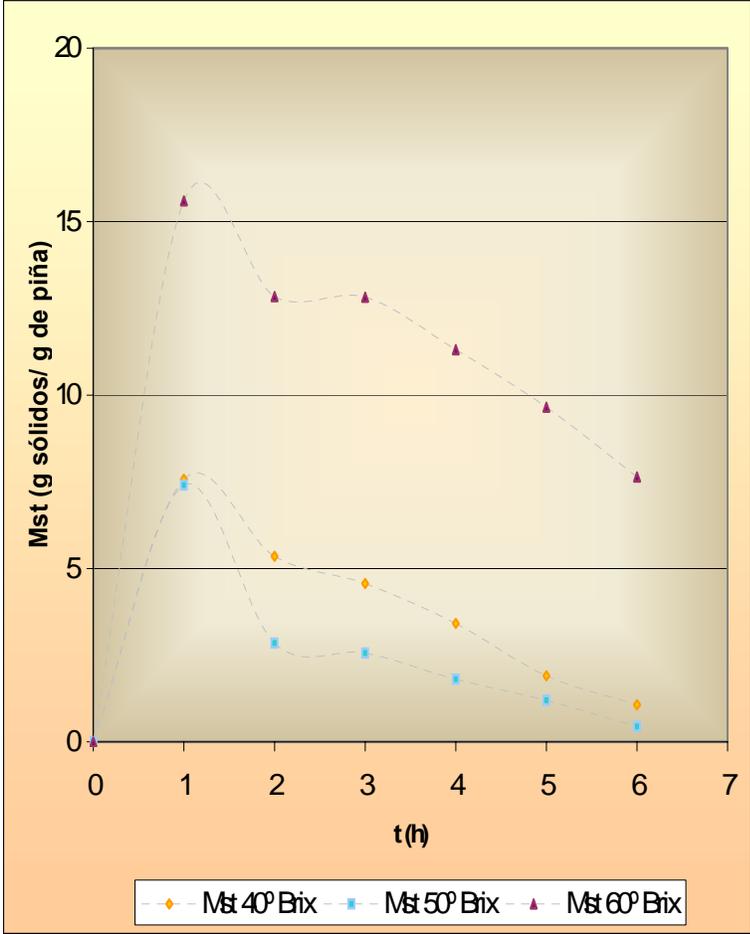


GRÁFICO 3.6 GANANCIA DE SÓLIDOS A 55 °C EN FRUTA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE.

Cómo se había planteado hipotéticamente, el porcentaje de solutos ingresando a la piña se incrementará con el tiempo, y aun más necesitando 6 horas para la reducción del 50% de su peso en agua. Con esa aseveración se puede

descartar la utilización de 35 °C para la deshidratación Osmótica.

A 55 °C se observa que en dos horas de proceso, en cualquiera de las concentraciones estudiadas comienza a disminuir el porcentaje de sólidos ingresando a la fruta.

Entre las concentraciones, 40 ,50 y 60 °Brix, la más conveniente para cumplir con los principios de deshidratación osmótica fue sin duda 40 °Brix, porque el ingreso de soluto es menor.

- **Contenido de agua y sólidos durante la Deshidratación Osmótica**

Para concretar y validar definitivamente el proceso seleccionado se verificó el tiempo en el cual se debía proceder a detener el proceso. El tiempo óptimo de proceso de Deshidratación Osmótica es aquel en que no ingresa una cantidad excesiva de soluto, puesto que en casi todos los casos después de dos horas de la inmersión en la solución

hipertónica, la deshidratación osmótica concluye para dar paso a un proceso de confitado.

Se obtuvieron los gráficos 3.7 y 3.8 a partir de las ecuaciones 2.11 y 2.12, las cuales muestran que en caso de aplicar 35 °C las curvas de las concentraciones 40, 50 y 60 °Brix muestran una particularidad, y es que en los tres procesos a partir de la segunda hora el incremento de solutos se vuelve constante.

La diferencia entre las tres soluciones es que a 50 °Brix el ingreso de solutos será menor que para 40 y 60 °Brix, y que a 60 °Brix el ingreso será mayor.

En cambio, al evaluar las curvas obtenidas a partir de la utilización de una temperatura de 55 °C y concentraciones de 40, 50 y 60 °Brix, se obtuvo que después de la primera hora de deshidratación osmótica el ingreso de solutos más bien comienza a reducirse, y a 40 °Brix el ingreso es mínimo, este fenómeno se presenta debido a que la porosidad de la piña contribuye a que la transferencia sea más acelerada y en el momento en que los tejidos se

saturan de soluto y la solución hipertónica se diluye se produzca una osmosis inversa o reducción de solutos dentro del deshidratado. Entonces es así que, tomando como referencia lo obtenido y evaluado se seleccionó una temperatura de 55 °C y 40 °Brix para realizar el proceso.

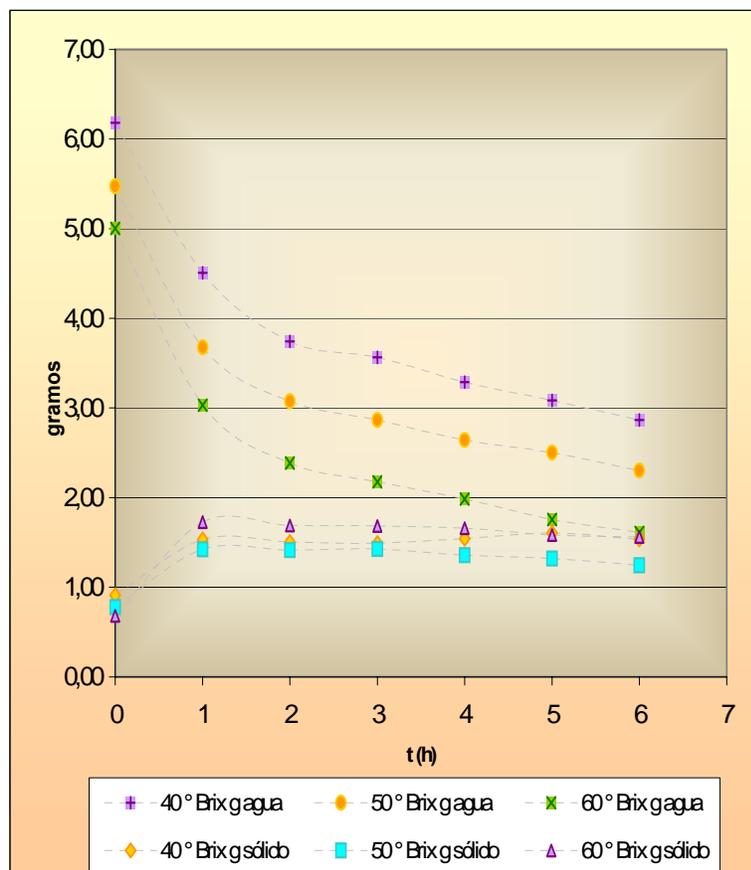


GRÁFICO 3.7. CONTENIDO EN GRAMOS DE AGUA Y SÓLIDOS POR GRAMO DE PIÑA A 35 °C

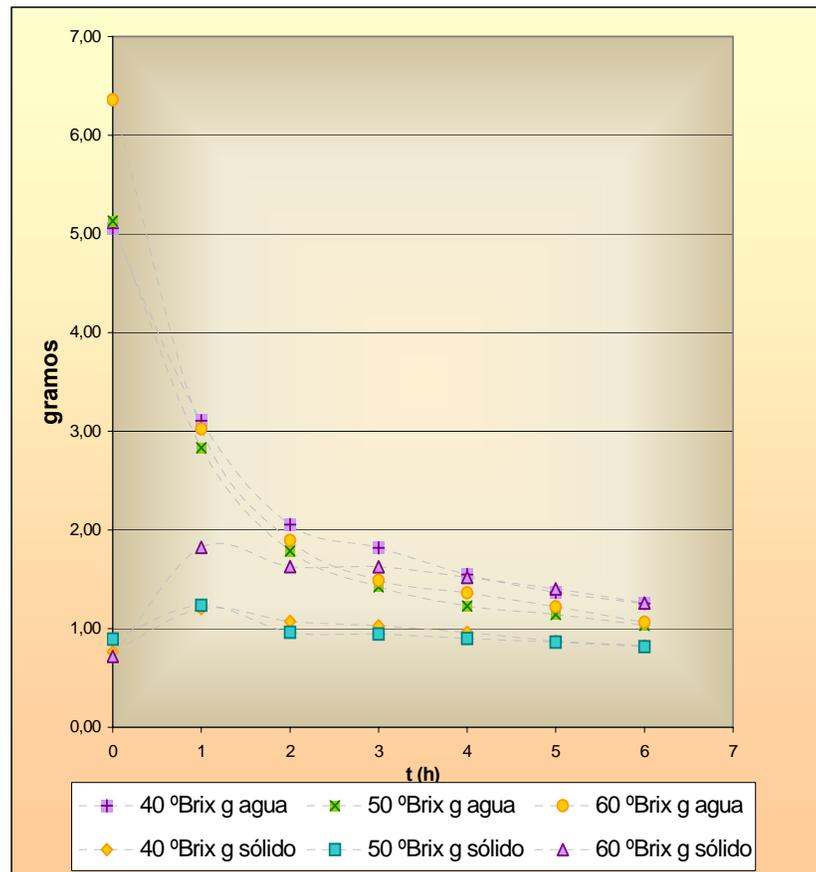


GRÁFICO 3.8. CONTENIDO EN GRAMOS DE AGUA Y SÓLIDOS POR GRAMO DE PIÑA A 55 °C

3.3. Secado en Bandeja

Mejorar los resultados siempre obtenidos en el secado en bandeja fue el objetivo principal de esta tesis, para poder efectuarlo fue necesario

aplicar un pre-tratamiento que fue la deshidratación osmótica ya analizada en los capítulos e ítems anteriores. Para corroborar que esta técnica fue efectiva al momento de realizar el proceso se estableció un seguimiento cabal a las muestras con y sin el pre-tratamiento. De este monitoreo se obtuvieron dos tipos de curvas, una en la que se muestra la variación de peso y espesor, y otra en la que se muestra la variación de la humedad en base seca ambas con respecto al tiempo.

Examinando las curvas de espesor y peso promedio de las muestras con respecto al tiempo se advierte que uno de los primeros cambios entre la piña sin tratamiento previo y aquella con tratamiento fue como se muestra en la gráfico 3.9 y 3.10.

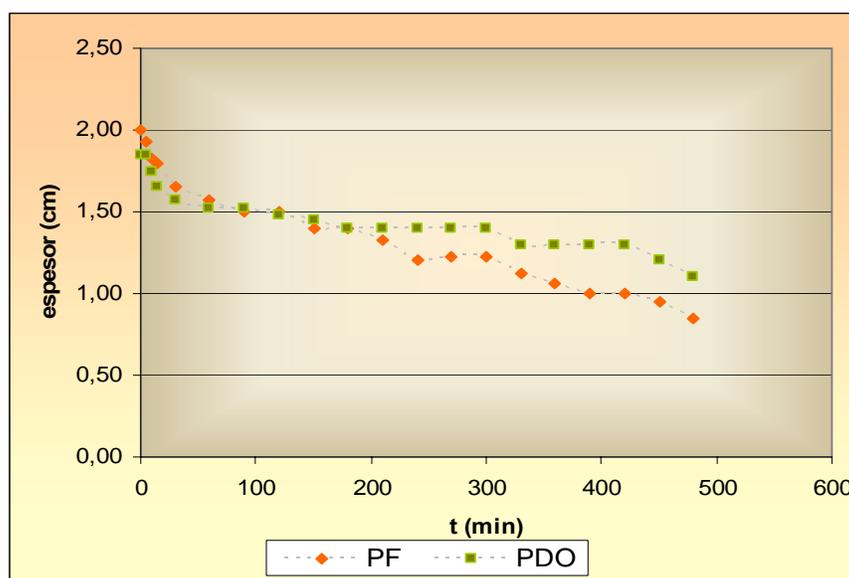


GRÁFICO 3.9. ESPESOR CON RESPECTO AL TIEMPO EN PIÑA FRESCA Y DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE.

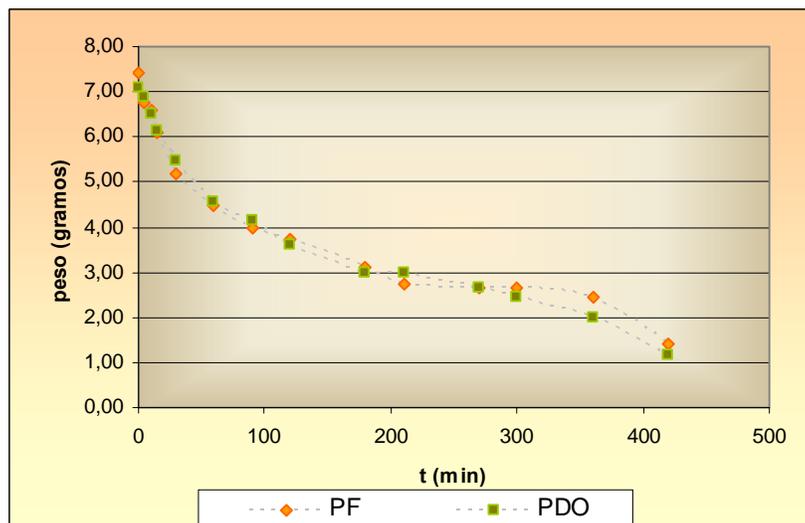


GRÁFICO 3.10 VARIACIÓN DE PESO CON RESPECTO AL TIEMPO EN PIÑA FRESCA Y DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE.

En estas curvas se aprecia que la diferencia en la variación de espesor entre la piña fresca y la piña deshidratada osmóticamente es mínima en 2 horas de proceso de secado, pasadas las 2 horas 30 minutos se comienza a evidenciar que la piña fresca no mantiene su espesor mientras que la piña deshidratada osmóticamente comienza a mantenerlo constante.

Se observó de igual manera que pasadas las 3 horas de proceso comenzará el espesor a disminuir en ambos casos, más sin embargo, la piña deshidratada osmóticamente variará menos que la piña fresca en el procesamiento.

En cuanto a la gráfica de variación de peso (gráfico 3.10), se evidencia que la diferencia en la variación de peso entre la piña fresca y la deshidratada osmóticamente no es significativa. Por tanto no se manifiesta una diferencia entre los procesos comparados en cuanto peso se refiere.

Considerando las gráficas que relacionan la humedad en base seca con el tiempo, y además los valores de estabilidad de a_w obtenidos en isotermas de desorción se consiguieron los resultados más interesantes de este estudio. Primeramente se analizarán individualmente las curvas de secado, para luego compararlas entre ambas y finalmente con las isotermas.

En los gráficos 3.11 y 3.12 se muestran claramente los tres períodos de secado que como sabemos son: periodo de precalentamiento seguido de otra de velocidad de secado constante y una o más decrecientes.

En el caso del secado sin pre-tratamiento el tramo de color verde muestra el período de precalentamiento que es mínimo no dura más de 45 minutos que se caracteriza por calentar el agua contenida dentro del producto hasta alcanzar la temperatura de bulbo húmedo

característica del ambiente secante (21), luego le sigue el tramo naranja que muestra el período de secado constante donde la humedad varía lentamente con respecto al tiempo, sin embargo es este durante el cual se produce una reducción importante del contenido de agua de manera constante, esto se debe básicamente por tratarse de un período prolongado (Comienza a los 45 minutos y termina a los 330 minutos) de 285 minutos.

Debemos considerar que en la evaporación se efectúa en la superficie del producto, a temperatura constante, siendo esta la de bulbo húmedo del aire. Durante este período el flujo de calor intercambiado entre el aire y el producto se utiliza finalizará cuando el contenido medio de humedad del producto alcance el valor de la humedad crítica, por lo tanto, en la curva de secado este período se ajusta a una recta.

Finalmente el tramo marcado en rojo muestra el período de velocidad decreciente, que comienza cuando la superficie del producto en contacto con el aire de secado alcanza el umbral de higroscopicidad.

La zona de evaporación que se encontraba en la superficie, se desplaza hacia el interior del producto. La brusca reducción de la

superficie efectiva de transferencia, debida a una alimentación insuficiente de agua libre, es la causa de la disminución de la velocidad del secado. Los depósitos de solutos obstruyen los poros, el agua ligada migra bajo forma de vapor y la distancia a recorrer por el vapor es cada vez mayor.

Este período se efectúa durante 210 minutos (Inicia a los 360 minutos y termina a los 570 minutos).

De igual manera que en la gráfica obtenida con los datos de la experimentación sin pre-tratamiento, en la gráfica con la utilización de la deshidratación osmótica previa, se muestran los tres períodos marcados en tramos diferenciados por colores.

La diferencia radica básicamente en el tiempo en que cada período inicia y termina, así tenemos que el período de precalentamiento dura 30 minutos, el período de secado constante ocurre entre los 30 y 270 minutos, es decir que este tramo representan 240 minutos de secado.

Por último, el tramo rojo o tramo de velocidad decreciente para este caso inicia a los 270 minutos y termina a los 480 minutos, es decir que transcurrieron 210 minutos para finalizar el proceso.

Comparando ambos gráficos, se visualiza en primera instancia que el tiempo para alcanzar la mínima humedad en base seca varía abismalmente. Puesto a que utilizando únicamente el secado, sin deshidratación osmótica, se necesitaron 570 minutos para alcanzar la humedad más baja, en cambio, con deshidratación osmótica se necesitaron 480 minutos.

De igual forma, se analizaron los tres períodos. Con secado sin tratamiento previo el tiempo de precalentamiento fue de 45 minutos y tan solo 30 minutos para en el producto tratado previamente.

El período de velocidad constante se extendió a 285 minutos sin tratamiento, mientras que realizando el pre-tratamiento se redujo el tiempo a 240 minutos, es decir 45 minutos menos. El período que no varió para ambos casos fue el de velocidad decreciente pues, tanto sin deshidratación osmótica previa, como con ella se efectuó en 210 minutos.

Previamente, se había establecido que para determinar el tiempo exacto en que el proceso de secado en bandeja debía ser interrumpido se debía obtener el valor de la humedad en monocapa.

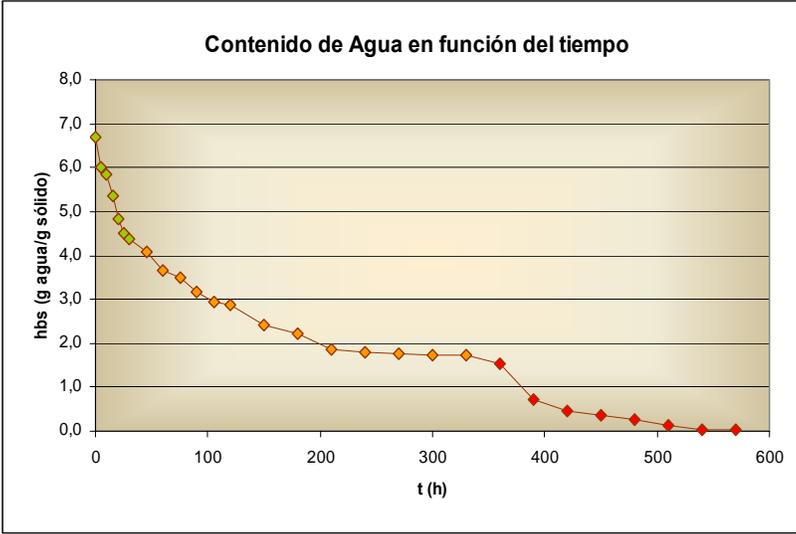


GRÁFICO 3.11. HUMEDAD EN BASE SECA CON RESPECTO AL TIEMPO EN PIÑA FRESCA EN PROCESO DE SECADO EN BANDEJA.

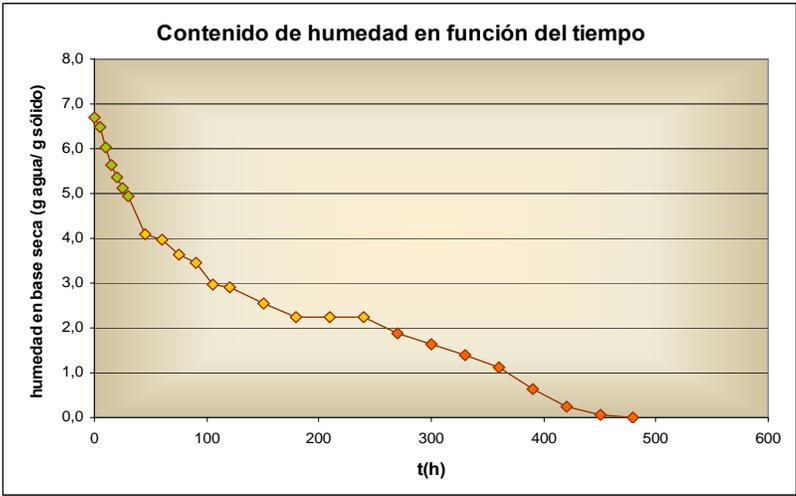


GRÁFICO 3.12 HUMEDAD EN BASE SECA CON RESPECTO AL TIEMPO EN PIÑA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE EN PROCESO DE SECADO EN BANDEJA.

Cuando se tomó este valor se obtuvo que en el caso del secado sin exposición a la solución hipertónica, se necesitó alcanzar una humedad en base seca de 0.0944 g Agua/g ss, humedad que se consiguió con un tiempo de 520 minutos.

La humedad a alcanzar para un producto previamente deshidratado osmóticamente fue estimado en 0.2195 g Agua/ g ss, que se logró en un tiempo de 355 minutos.

Como es fácil deducir, se redujeron 165 minutos de proceso de secado con la simple inmersión en una solución hipertónica debidamente seleccionada. Este tiempo no solo representó un cambio estructural y sensorialmente como se explicará en los ítems a continuación, sino que también, en cuestión costos.

Adicionalmente se realizó un estudio de la influencia de la deshidratación osmótica en la velocidad de secado (ecuación 2.14). En el gráfico 3.13 podemos observar no existe una influencia significativa de la deshidratación osmótica en la velocidad de secado, puesto que se mantienen valores muy parecidos durante el procesamiento. Sin embargo, podemos apreciar que aplicando deshidratación osmótica como pre-tratamiento la velocidad de

precalentamiento va a ser mucho menor. Esto se debe básicamente por que el producto deshidratado ingresa al proceso con menos agua libre que el fresco, y teniendo más ligada el agua contenida entonces es mucho más lenta su velocidad de extracción.

Finalizando, entonces se puede concluir que aunque la velocidad de secado no va a verse influenciada por la deshidratación osmótica, si existirá influencia en la pérdida de humedad libre en el proceso de secado y que tendremos que exponer menos tiempo el producto al procesamiento para alcanzar la estabilidad.

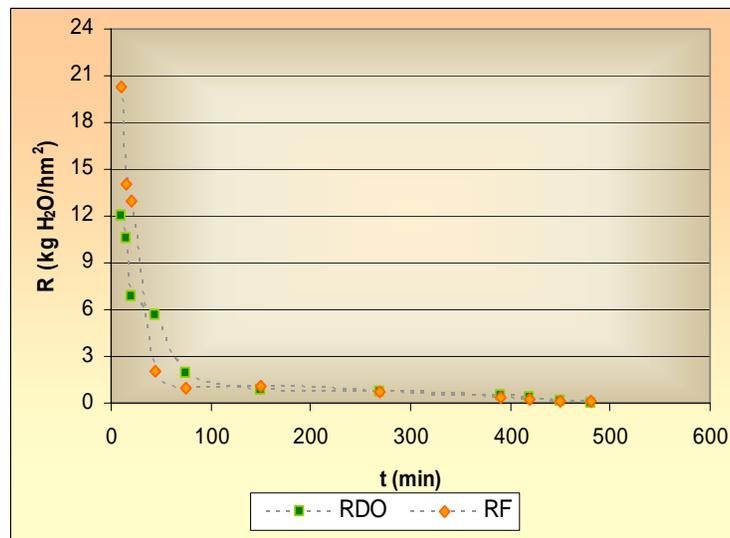


GRAFICO 3.13 VELOCIDAD DE SECADO EN PIÑA FRESCA Y PIÑA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE

3.4. Análisis Bromatológicos

Para realizar los estudios se debieron determinar los parámetros iniciales de la materia prima a ser procesada. Los datos más importantes a controlar fueron la humedad, y el porcentaje de sólidos totales presentes en la fruta.

Para la obtención de la humedad o porcentaje de agua contenida en la fruta se debió realizar la técnica ampliamente explicada en el capítulo dos.

Con los datos obtenidos se evaluó la humedad con la ecuación 2.15 y se determinó que la humedad inicial de la piña es de 87.19 %, un valor que nos indica que el fruto esta compuesto casi en su totalidad de agua.

De igual forma, se procedió a realizar la técnica de obtención de cenizas o porcentaje de sólidos insolubles, donde se determinó que la el porcentaje inicial de cenizas fue de 0.52. Este valor adicionado al valor de sólidos solubles (11 ± 3.0) dio como resultado el porcentaje de sólidos totales iniciales, y durante toda la corrida experimental.

3.5. Análisis Físicos

- **Color**

Como se enunció en la metodología del capítulo dos, para obtener las diferencias de color a través del tiempo transcurrido de secado, se utilizó la comparación visual del color del fruto y una cartilla de color.

Los resultados obtenidos fueron plasmados en un cuadro comparativo en el que se muestran los tonos del producto seco y del producto seco previamente deshidratado osmóticamente con relación al tiempo.

El cuadro comparativo se muestra en la figura 3.3. En esta figura se observó claramente que un producto seco alcanza una tonalidad menos intenso de amarillo (Tonalidad No. 786) a partir de los 120 minutos, mientras que el producto seco previamente deshidratado osmóticamente alcanza la misma tonalidad a los 75 minutos, lo que quiere decir que el color del producto deshidratado es más intenso debido a su contenido de azúcar logra caramelizarse ligeramente.

La diferencia en ambos casos no solo en el color, sino que se presentaron manchas pardas en diferentes grados. Este fenómeno no enzimático ocurrió únicamente en el caso del producto seco a partir de los 120 minutos, a partir de los cuales fue incrementando cada vez más la presencia de manchas oscuras.

Es decir, que a pesar de que con la deshidratación como tratamiento previo se realza la tonalidad de la piña, se inhibe las reacciones oxidativas producidas en el producto seco.

t (min)	# de color referencial PANTONE SECADO	# de color referencial PANTONE SECADO + DO
5	824	823
10	824	823
15	824	823
20	823	822
25	823	822
30	823	822
45	822	814
60	822	814
75	814	786
90	814	786
105	814	786
120	786 (1°)	786
150	786 (1°)	765
180	786 (1°)	765
210	765 (2°)	765
240	765 (3°)	678
1°	ligeras manchas pardas	
2°	medianamente pardo	
3°	pardeado en más de 3 lados	

*Tomando como referencia que el color de la piña fresca es de 824

FIGURA 3.3 CUADRO COMPARATIVO DE COLOR CON RELACIÓN AL TIEMPO

- **Rehidratación**

Luego de realizar la técnica explicada de rehidratación en el capítulo dos, se obtuvo que en 1 minuto un producto seco ganó 0.145 g de agua, mientras que un producto seco previamente deshidratado ganó 0.230 g de agua. Es decir, en otras palabras el producto seco es menos higroscópico que el producto deshidratado osmóticamente.

La explicación de este fenómeno es compleja, pero que la diferencia radica en el hecho de que tienen diferente a_w al iniciar la rehidratación, y que además sus tejidos han sido alterados durante los diferentes procesos.

El producto seco tuvo sus tejidos más compactos (como se demostrará en el análisis microfotográfico), y en el caso del producto de la deshidratación osmótica más secado sus tejidos se encuentran casi intactos y esto permitirá que el producto no solo sea estable por la a_w alcanzada, sino que también sea elástico por su poder de captación de agua. Ósea que, la deshidratación osmótica previa al proceso de secado nos dará la ventaja de tener un producto con una consistencia muy parecida a la natural.

- **Microfotografía**

A nivel microscópico se pudo observar uno de los últimos resultados que se requirieron para comprobar los beneficios del uso de la técnica de deshidratación osmótica. Si se revisa la figura 3.4, se puede analizar como se afecta el tejido con el uso del secado en bandeja sin un pre-tratamiento.

Al inicio del proceso los tejidos de la piña se encontraron fibrosos y a su vez esparcidos (Figura 3.4 a). Luego de 240 minutos de tener sometido al fruto al proceso, las fibras se compactan o encogen, pues sus paredes celulares se van deformando a causa de la pérdida de agua (Figura 3.4 b). De esta manera se producirá la conocida deformación del producto y la formación de la costra superficial.

Los cambios producidos después de realizar deshidratación osmótica previa al secado con aire fueron evidentes, como se muestra en la figura 3.5 a, Después de 5 minutos de proceso (c) de secado su estructura es fibrosa, pasando los 240 minutos (Figura 3.5 b) de proceso su estructura no solo mantiene una parte fibrosa como luce la fruta fresca, sino que también presenta células

esféricas formadas debido a su alta permeabilidad membranaria y a la fluctuación de la mayor densidad y la porosidad (22).

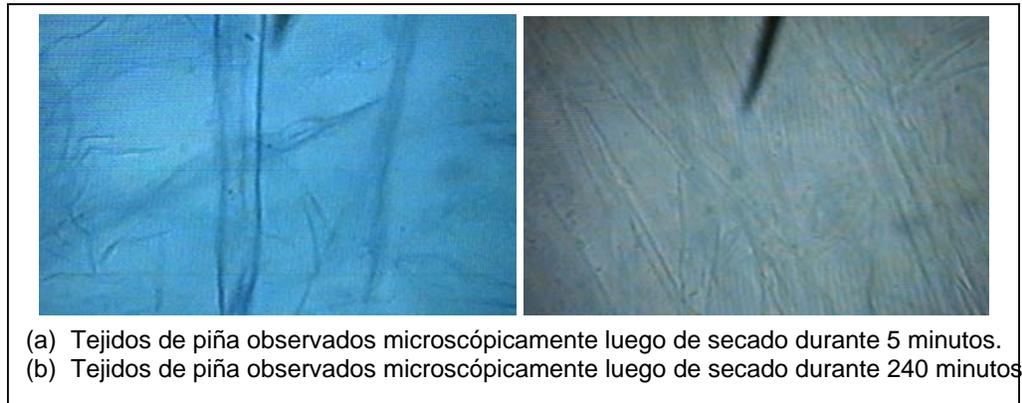


FIGURA 3.4 MICROFOTOGRAFÍAS DE TEJIDOS DE PIÑA FRESCA SECADA DURANTE 5 Y 240 MINUTOS

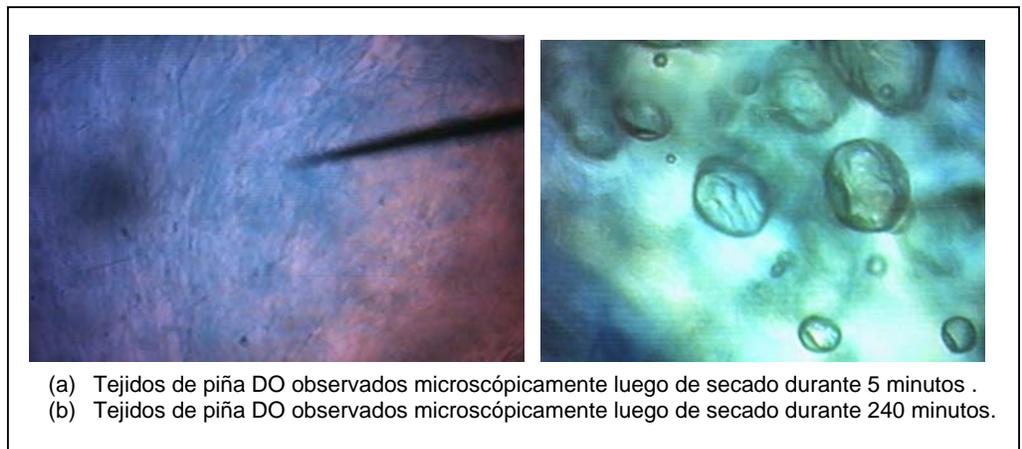


FIGURA 3.5 MICROFOTOGRAFÍAS DE TEJIDOS DE PIÑA DESHIDRATADA OSMÓTICAMENTE Y SECADA DURANTE 5 Y 240 MINUTOS

Las células se muestran redondeadas además, porque mientras el proceso de deshidratación avanza ocurre una relajación de las paredes celulares haciendo que la célula se vuelva esférica.

Entonces, queda de esta forma comprobado que mantendrá su textura, y que además se redondearán sus células, dándole al producto final la elasticidad propia de un fruto fresco.

3.6. Análisis Sensorial

Realizando el procedimiento enunciado en el capítulo 2, se obtuvieron datos de las pruebas de degustación a 25 personas diferentes para el producto seco y el producto seco previamente deshidratado osmóticamente. El método de análisis utilizado como se mencionó con anterioridad fue el “paired t” o método de pareado, en el cual se buscó obtener el tipo de procesado más aceptado para el consumo.

Es necesario en métodos estadísticos la evaluación de la Normalidad como se comprobó en la figura 3.6.

Como valor de p es 0.152 que es mayor a 0.05, entonces quiere decir que la diferencia se comporta normalmente. Si no se hubiera obtenido este resultado se debe hacer una prueba paramétrica.

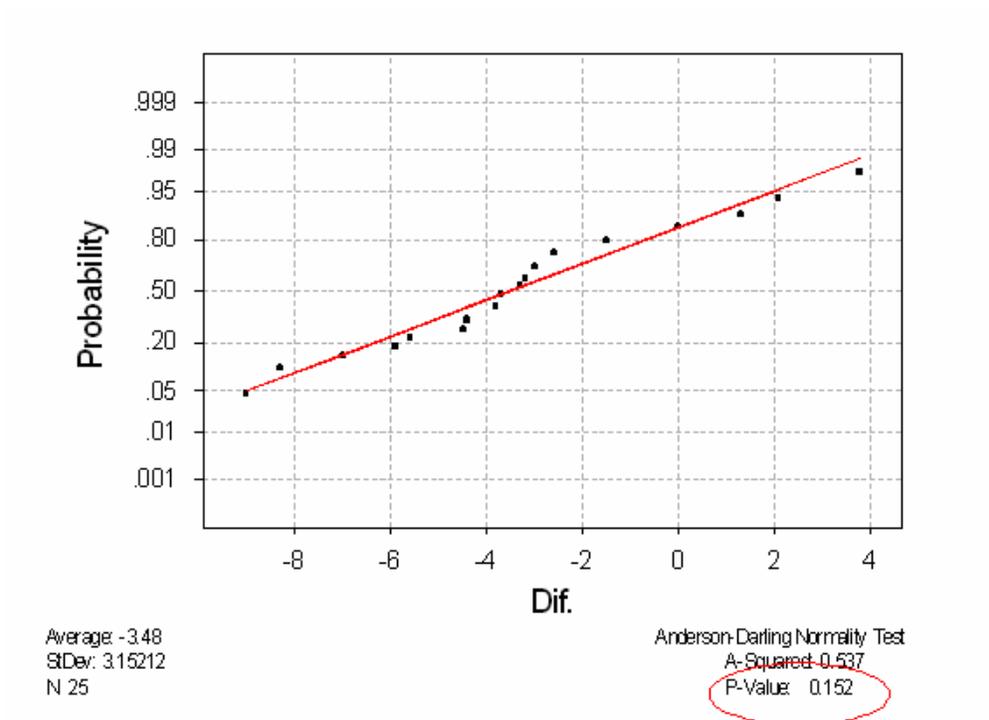


FIGURA 3.6 PRUEBA DE NORMALIDAD DE LA DIFERENCIA DE DATOS

Una vez comprobada la normalidad se procedió a realizar la prueba paired t o pareada.

Para determinar si las medias de preferencias de consumo con las muestras 1 y 2 son las mismas, o si se comportaron idénticamente se planteó la hipótesis.

La hipótesis nula H_0 planteada simuló que la diferencia de aceptación de la piña seca con la aceptación de piña seca previamente deshidratada osmóticamente sería igual a 0.

La hipótesis alterna H_a indicó que la diferencia de aceptación entre la piña seca con la aceptación de la piña seca previamente deshidratada sería diferente a 0.

Luego de planteada la hipótesis se recurre a la aplicación de la ojiva o caja de decisiones mostrada en la figura 3.7 obtenida mediante el programa estadístico MINITAB. En este gráfico estadístico se muestran: la media, el rango \times barra que es el intervalo de confianza sobre el cual se están moviendo las diferencias de ambas muestras de aceptación.

Como el objetivo de la aplicación del mismo es determinar si H_0 es aceptada o rechazada, se verifica si esta se encuentra dentro del

intervalo de confianza. Al observar el gráfico se analiza brevemente que se encuentra fuera del intervalo y por tanto se rechaza.

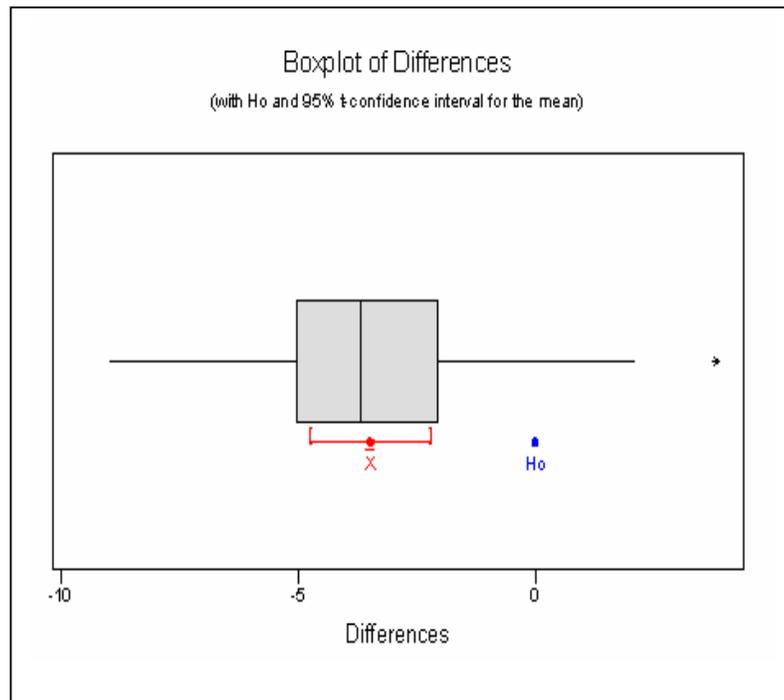


FIGURA 3.7 CAJA DE DECISIONES U OJIVA DE ACEPTACIÓN DE HIPÓTESIS NULA.

Es decir que la diferencia entre ambas muestras no es igual a 0.

De igual manera revisando los resultados brindados por el programa se resumieron en la siguiente tabla:

TABLA 5
RESULTADOS DEL ANÁLISIS DE OJIVA

Muestra Piña	N	Promedio	Desviación estándar
Seca	25	4.316	2.355
Deshidratada+seca	25	7.796	1.954
Diferencia	25	-3.480	3.152

Por medio de esta tabla, podemos concluir que el intervalo de confianza es (-4.781, -2.179) con un 95% de Nivel de confianza, que con un valor de $p=0$, se rechazará la hipótesis nula debido a que este valor es menor a 0.05.

Además, se puede apreciar que la muestra 2 (Piña deshidratada+seca) tendrá un mayor nivel de aceptación debido a que como se muestra en la tabla 5 presenta un promedio de 7.796 que es mucho mayor al promedio de la muestra 1 (seca) con un valor de 4.316. La muestra 2 también presentó una menor desviación estándar de los datos, lo que la convierte en la favorita de los consumidores o jueces evaluados.

CAPITULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

1. La deshidratación osmótica es un proceso idóneo para obtener un producto de humedad intermedia, debido a que reduce la a_w sin reducir abruptamente el agua contenida para alcanzar la estabilidad del producto manteniendo así sus características organolépticas, pudiendo combinarse con otros métodos para obtener un producto mínimamente procesado. El agua presente en el producto deshidratado osmóticamente estará menos disponible para participar en las reacciones físicas, químicas y microbiológicas que pueden afectar de manera negativa a la apariencia y aroma natural del fruto. Se encuentra más estable debido a que el agua se encuentra bajo forma de multicapas que

recubren parcialmente la superficie del sustrato seco, las moléculas de agua están ligadas más débilmente que las de la monocapa, pero de igual forma estará exenta de deterioro.

2. La pérdida de agua, ganancia de sólidos y la reducción del volumen depende de la combinación de condiciones de operación como temperatura, relación másica solución-producto, concentración de la solución osmótica y el tiempo que se someta la fruta al proceso. Por ejemplo, un aumento de la concentración de la solución osmótica y la temperatura resulta en mayor pérdida de agua. También se debe recalcar que con dos horas de proceso de deshidratación osmótica se obtiene la mayor velocidad de pérdida de agua y ganancia de sólidos. Cuando la temperatura se eleva la presión ejercida en la superficie del producto lo hace también, la presión genera que sus poros se dilaten logrando así volverla más permeable y por ende, más vulnerable a la transferencia de masa.

3. La velocidad de secado no va a verse influenciada por el uso de la deshidratación como tratamiento previo, más sin embargo, el tiempo de secado va a ser mucho menor en una piña deshidratada osmóticamente debido a que alcanzará más rápidamente la

humedad en la cual se obtendrá un producto más estable al deterioro. Por lo tanto, una Deshidratación Osmótica seguida de secado por aire ofrece una nueva alternativa de producto con preferenciales características sensoriales. Secar el producto de una deshidratación osmótica resultará en uno de mejor calidad en términos de color, sabor, rehidratación y estabilidad en comparación con secar piña sin pre-tratamiento.

Recomendaciones

1. Se recomienda realizar un estudio de retención de nutrientes y de compuestos volátiles con respecto al tiempo de secado aplicando deshidratación osmótica como pre-tratamiento, para tener constancia de que con este proceso no se pierden micro componentes esenciales de la piña.
2. Realizar un estudio del impacto medio ambiental que ejerce el uso de la deshidratación osmótica combinado con el secado y analizar la frecuencia de reutilización del jarabe. Con este estudio se deberá determinar el efecto del desecho de sólidos directo a las aguas servidas.

APÉNDICE A

EQUIPOS PARA DESHIDRATACIÓN OSMÓTICA

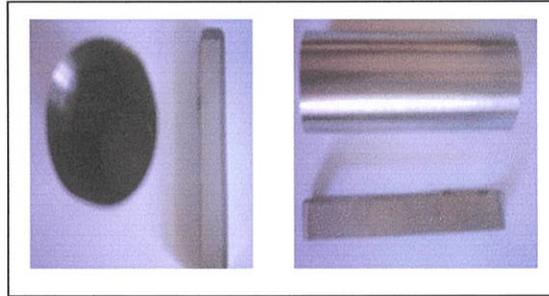


FIGURA 2.1 Cortadores de Acero Inoxidable

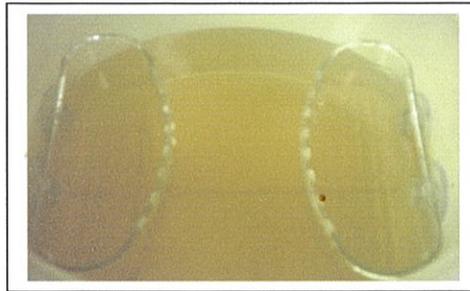


FIGURA 2.2 Recipiente para Deshidratación Osmótica



FIGURA 2.2 Estufa Mermmet

APÉNDICE B

EQUIPOS PARA SECADO EN BANDEJAS



FIGURA 2.3 Secador de Bandeja



FIGURA 2.4 Balanza gramera



FIGURA 2.5 Selladora al vacío

APÉNDICE C

EQUIPOS PARA ANÁLISIS BROMATOLÓGICOS



FIGURA 2.6 Balanza Analítica

EQUIPOS PARA ANÁLISIS FÍSICOS

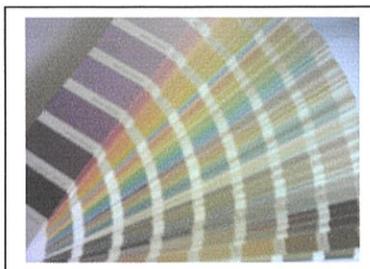


FIGURA 2.7 Pantone

APENDICE D

HOJA DE RESULTADOS ANÁLISIS SENSORIAL

HOJA DE RESULTADOS

PROYECTO PIÑA DO					
# JUEZ	NOMBRE	CALIFICACIÓN		DIFERENCIAS	
		MUESTRA # 698	MUESTRA # 292	D	D ²
1	LUCY SABANDO	5,20	9,00	3,80	14,44
	MANUEL				
2	BOHORQUEZ	5,10	8,80	3,70	13,69
3	MARIANA LAZZO	0,30	5,90	5,60	31,36
4	BYRON GARCÍA	4,60	9,00	4,40	19,36
5	ADRIÁN VALENCIA	5,70	8,70	3,00	9,00
6	ALINA DE CHIQUITO	0,00	9,00	9,00	81,00
7	LENIN CASTILLO	0,70	9,00	8,30	68,89
8	BLANCA ASENCIO	9,00	6,90	-2,10	4,41
9	JENNY SUÁREZ	2,60	8,50	5,90	34,81
10	CHRISTIAN REYES	4,60	9,00	4,40	19,36
11	MARIOLA GUZMÁN	7,50	9,00	1,50	2,25
12	GRACIELA VÉLIZ	5,20	8,20	3,00	9,00
13	MA. BELÉN LAYANA	0,00	9,00	9,00	81,00
14	ROCÍO LOANO	1,00	8,00	7,00	49,00
	DARWIN				
15	CAMPOVERDE	5,10	8,30	3,20	10,24
16	STEFANÍA CHALÉN	4,30	4,30	0,00	0,00
17	JOVITA ASCENCIO	4,50	8,20	3,70	13,69
18	ROSEMARY CANTOS	4,50	8,30	3,80	14,44
19	PEDRO QUIMÍ	4,30	0,50	-3,80	14,44
20	XAVIER MARÍN	5,50	8,50	3,00	9,00
	CHRISTIAN				
21	SANDOVAL	4,50	9,00	4,50	20,25
22	RAÚL GUATO	6,80	5,50	-1,30	1,69
23	HILDA MONTALVÁN	7,00	8,50	1,50	2,25
24	SUHEY CHALÉN	5,20	8,50	3,30	10,89
25	ALEJANDRO LÓPEZ	4,70	7,30	2,60	6,76
n=25	TOTAL	107,90	194,90	87,00	541,22
	MEDIA	4,32	7,80		

t= 5,52



CIB-ESPOL

BIBLIOGRAFÍA

1. CORPEI-CBI, "Expansión de la oferta exportable del Ecuador",2003.
2. SICA, Ministerio de Agricultura y Ganadería, www.sica.gov.ec.
3. TORREGGIANI DANILA, "Influence of cultivar and osmotic dehydration time on aroma profiles of muskmelon (Cucumis melo, cv reticulatus), 2000.
4. MUHICA, VALDÉZ, MALO, PALOU, WELTI, "Impregnation and osmotic dehydration of some fruits: effect of the vacuum pressure and syrup concentration", 2002.
5. BOLIN H.R., HUXSOLL, JACKSON, "Effect of osmotic agents and concentration on fruit quality", 1983.
6. RASTOGI NK, RAGHAVARAO K.S.M.S, "Mass transfer during osmotic dehydration of pineapple: considering Fickian diffusion in cubical configuration" ,2003.

7. TORREAGGIANNI DANILA, "Osmotic Dehydration in fruits and vegetable processing", 1993.

8. BARBOSA-CANOVAS, VEGA MERCADO, Deshidratación de Alimentos. Zaragoza Editorial Acribia S.A. 1996.



9. TORREAGGIANI D., BERTOLO G., "Osmotic pre-treatments in fruit processing: chemical, physical and structural effects". 2000.

10. SPIAZZI, MASCHERONI, "Modelo de deshidratación osmótica de alimentos vegetales", 2001.

11. TORREGIANI D., "Technological Aspects of Osmotic Dehydration in Foods". 2000.

12. 13. 14. 15. PERRY R., GREEN, MALONEY. Manual del Ingeniero Químico. Sexta Edición. Tomo V. Mc. Graw Hill. 1992.

16. LABUZA, Practical Aspects of Isotherm Measurement and use, 1984.

17. 18. 19. 21 CAST Y J. ABRIL, Proceso de conservación de alimentos, 1999 Madrid ,España.

20. MOURA M.L, MASSON, YAMAMOTO, "Effect of osmotic dehydration in the apple varieties gala, gold, and fuji", 1999.

22. NIETO, SALVATORI, CASTRO, ALZAMORA. "Structural Changes in apple tissue during glucise and sucrose osmotic dehydration: shrinkage, porosity, density and microscopic features". 2000.

