

**UNIVERSIDAD DE COSTA RICA**  
**SISTEMA DE ESTUDIOS DE POSGRADO**

**OPTIMIZACIÓN DE LA FRITURA ACOPLADA A LA DESHIDRATACIÓN  
OSMÓTICA PARA LA OBTENCIÓN DE HOJUELAS A PARTIR DE UNA BASE  
NATURAL PECTOCELULÓSICA Y JUGOS DE FRUTAS**

**Tesis sometida a la consideración de la Comisión  
del Programa de Estudios de Posgrado en  
Ciencia de Alimentos para optar al grado de  
Magister Scientiae en Ciencia de Alimentos**

**LEA WEXLER GOERING**

**Ciudad Universitaria Rodrigo Facio, Costa Rica**

**2009**

## DEDICATORIA

*A mi hija Daniela, la luz en mi vida.*

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto se realizó dentro del marco del convenio de cooperación del Centro Nacional en Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), y el *Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement* (CIRAD-PERSYST) de Francia. El mismo ha sido financiado por el organismo francés AIRE *Développement* (Convenio 01-8-CR-27-2) y por el Ministerio de Ciencia y Tecnología (MICIT) de Costa Rica (Proyecto FI-146-02). A dichas entidades mi agradecimiento por hacer posible este trabajo de investigación.

A Ana Mercedes Pérez, directora del proyecto, le agradezco por haberme guiado con su sabiduría a lo largo de las varias etapas de la investigación. También por compartir conmigo conocimientos y bibliografía y por el apoyo incondicional que siempre me brindó.

A Elba Cubero por su valiosa asesoría durante el proyecto y por dirigir la evaluación sensorial y su análisis. Le agradezco por su buena disposición y por los consejos que me transmitió.

A Fabrice Vaillant por compartir conmigo sus conocimientos e ideas. Gracias por la enseñanza del funcionamiento del freidor hipobárico y del programa de gráficos de isorespuestas.

A Maria Lourdes Pineda le agradezco enormemente su aporte en la adaptación del sistema acústico al programa de medición instrumental de la textura. Aprecio mucho su buena disposición cuando le solicité ayuda.

A Yorleny Araya por su buena voluntad y ayuda en la indexación del documento.

A Jacqueline Aiello, directora del Programa de Posgrado en Ciencia de Alimentos, le agradezco su apoyo para alcanzar esta meta.

A todas las personas que de alguna forma colaboraron con el desarrollo de esta investigación: **mi sincero agradecimiento.**

“Esta tesis fue aceptada por la Comisión del Programa de Estudios de Posgrado en Ciencia de Alimentos de la Universidad de Costa Rica, como requisito parcial para optar al grado de Magister Scientiae en Ciencia de Alimentos.”

---

Carmela Velázquez Carrillo, M.Sc.  
Representante de Decana  
Sistema de Estudios de Posgrado

---

Ana Mercedes Pérez Carvajal, Ph.D.  
Directora de Tesis

---

Elba Cubero Castillo, Ph.D.  
Asesora

---

Fabrice Vaillant Barka, Ph.D.  
Asesor

---

Jacqueline Aiello Ramírez, M.Sc.  
Directora  
Programa de Posgrado en Ciencia de Alimentos

---

Lea Wexler Goering  
Candidata

## RESUMEN

Se optimizó la producción de "chips" u hojuelas a partir de una base natural pectocelulósica constituida por papaya verde. El proceso de fritura a presión hipobárica a 24 kPa, o a presión atmosférica, se acopló a una etapa previa de deshidratación osmótica. Se emplearon dos soluciones de deshidratación elaboradas a partir de jugos pulposos de mora y de maracuyá, para impregnar la papaya con los atributos sensoriales y nutricionales propios de estas frutas.

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta, en la que las variables independientes fueron la temperatura y el tiempo de fritura; las variables dependientes estudiadas fueron la actividad de agua ( $A_w$ ), la humedad, el contenido de grasa, el color, la dureza y la aceptación sensorial. Estas respuestas fueron modeladas utilizando una ecuación polinomial de segundo orden y se trazaron los gráficos de isorespuestas para determinar las zonas óptimas del proceso de fritura.

El análisis de componentes principales (PCA) indicó que las características sensoriales más importantes para el consumidor de chips de frutas fueron su color y su textura, determinando en gran medida la aceptación del producto.

Las condiciones óptimas de proceso para la elaboración de las hojuelas con sabor a mora a presión atmosférica fueron 137,0 °C durante 5 min, mientras que para la fritura hipobárica se obtuvo 118,2 °C por 6,1 min. En el caso de las hojuelas con sabor a maracuyá las condiciones más adecuadas fueron 138,7 °C, 5,3 min para la fritura a presión atmosférica y 118,5 °C durante 6,2 min para la fritura hipobárica. Los "chips" obtenidos a estas condiciones de tratamiento son bajos en grasa, con un contenido inferior a 13% (b.s).

La papaya verde resultó ser una buena base para la impregnación de ambos jugos de frutas, ya que permitió la incorporación a su matriz del color, el sabor y el aroma de éstos. Además, el corte transversal de la papaya ofrece una forma que resultó atractiva en las hojuelas producidas.

No se obtuvo correlación entre la dureza, medida como la fuerza de penetración de una sonda en el producto, y el sonido emitido al fracturarse las hojuelas. Sin embargo, se encontró una tendencia que indica que la intensidad del sonido puede incrementarse al aumentar la dureza de los "chips" de maracuyá.

## ÍNDICE

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	v
ÍNDICE.....	vi
INDICE DE CUADROS.....	ix
INDICE DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS.....	xiii
<b>CAPÍTULO 1. JUSTIFICACIÓN.....</b>	<b>1</b>
<b>CAPÍTULO 2. OBJETIVOS.....</b>	<b>4</b>
2.1 Objetivo general.....	4
2.2 Objetivos específicos.....	4
<b>CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO.....</b>	<b>5</b>
3.1 La fritura por inmersión.....	5
3.1.1 <i>Importancia de la fritura por inmersión</i> .....	5
3.1.2 <i>Mecanismo general de la fritura por inmersión</i> .....	6
3.1.3 <i>Aceite de palma</i> .....	9
3.1.4 <i>Cambios químicos y reacciones del aceite durante la fritura</i> .....	11
3.1.5 <i>La fritura hipobárica</i> .....	13
3.2 La textura y la crujencia en productos fritos.....	15
3.3 La deshidratación osmótica.....	18
3.3.1 <i>Deshidratación osmótica de frutas</i> .....	20
3.3.2 <i>Deshidratación osmótica de papaya</i> .....	22
3.4 El fruto de la papaya.....	23
3.4.1 <i>Descripción</i> .....	23
3.4.2 <i>Origen y distribución</i> .....	25
3.4.3 <i>Mercado y producción mundial</i> .....	25
3.4.4 <i>Cultivo en Costa Rica</i> .....	26
3.4.5 <i>Valor nutricional</i> .....	26
3.4.5 <i>Modificaciones en los constituyentes de la papaya verde durante su maduración</i> .....	27
3.5 La maracuyá y la mora como frutas con propiedades antioxidantes.....	28
3.6 La superficie de respuestas como metodología estadística de diseño de experimentos.....	29
<b>CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA.....</b>	<b>31</b>
4.1 Localización del proyecto.....	31
4.2 Características de la materia prima.....	31

4.3	Proceso de producción de las hojuelas .....	32
4.4	Metodología experimental .....	38
4.4.1	Pruebas preliminares .....	38
4.4.2	Diseño experimental para la optimización del proceso de fritura para la obtención de “chips” de papaya verde. ....	38
4.4.3	Análisis químicos del producto obtenido.....	42
4.4.4	Análisis de resultados.....	44
4.4.5	Correlación de dos metodologías de análisis de la crujencia: instrumental y acústica.....	45
<b>CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSION.....</b>		<b>46</b>
5.1	Pruebas preliminares.....	46
5.1.1	Selección de los tratamientos de la papaya verde previos al proceso de deshidratación osmótica. ....	46
5.1.2	Selección de los jugos de impregnación de la papaya verde durante la deshidratación osmótica. ....	47
5.2	Optimización de la fritura acoplada a la deshidratación osmótica para la obtención de hojuelas a partir de una base natural pectocelulósica y jugo pulposo de mora. ....	49
5.2.1	Resumen.....	49
5.2.2	Introducción .....	50
5.2.3	Materiales y métodos .....	52
5.2.4	Resultados y discusión.....	57
5.2.5	Conclusiones.....	77
5.2.6	Bibliografía Capítulo 5.2.....	78
5.3	Optimización de la fritura acoplada a la deshidratación osmótica para la obtención de hojuelas a partir de una base natural pectocelulósica y jugo pulposo de maracuyá.....	82
5.3.1	Resumen.....	82
5.3.2	Introducción .....	83
5.3.3	Materiales y métodos .....	85
5.3.4	Resultados y discusión.....	89
5.3.5	Conclusiones.....	108
5.3.6	Bibliografía Capítulo 5.3.....	109
<b>CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES GENERALES.....</b>		<b>113</b>
<b>CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES GENERALES .....</b>		<b>115</b>
<b>CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFIA GENERAL .....</b>		<b>116</b>
<b>ANEXOS .....</b>		<b>125</b>
	Anexo 1. Curva de velocidad de la banda del freidor hipobárico contra el tiempo de inmersión del producto. ....	126
	Anexo 2. Resultados obtenidos para el diseño experimental de hojuelas de mora, fritura a presión hipobárica. ....	127
	Anexo 3. Resultados obtenidos para el diseño experimental de hojuelas de mora, fritura a presión atmosférica. ....	128
	Anexo 4. Resultados obtenidos para el diseño experimental de hojuelas de maracuyá, fritura a presión hipobárica. ....	129

Anexo 5. Resultados obtenidos para el diseño experimental de hojuelas de maracuyá, fritura a presión atmosférica. ....	130
Anexo 6. Muestra de medición de dureza (N) y de sonido (dB) de la muestra #1 de hojuelas de mora con fritura hipobárica, T= 127 °C , t= 6 min .....	131
Anexo 7. Hoja de respuesta para el análisis sensorial de las hojuelas fritas y encuesta para los panelistas. ....	132
Anexo 8. Análisis de regresión textura- sonido para las muestras de hojuelas de mora con fritura a presión hipobárica. ....	134
Anexo 9. Análisis de regresión textura- sonido para las muestras de hojuelas de maracuyá con fritura a presión hipobárica. ....	137

## INDICE DE CUADROS

Cuadro 3.1. Resumen de investigaciones con fritura hipobárica en alimentos, según autor y año de producción. ....	14
Cuadro 3.2 Valor nutricional por 100 g de porción comestible de papaya madura. Fuente: Morton (1987). ....	27
Cuadro 4.1 Especificaciones técnicas del aceite D'Orofrit 5 ®.....	31
Cuadro 4.2 Valores de las variables del diseño experimental de la fritura hipobárica. ....	41
Cuadro 4.3 Valores de las variables del diseño experimental de la fritura a presión atmosférica.....	41
Cuadro 5.1.1 Efecto del grado de madurez de la papaya y de su pretratamiento sobre la crujencia del producto frito (presión atmosférica).....	46
Cuadro 5.2.1 Resultados de los atributos de calidad obtenidos para las hojuelas de papaya, sabor a mora, con fritura hipobárica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental. ....	60
Cuadro 5.2.2 Resultados de los atributos de calidad obtenidos para las hojuelas de papaya, sabor a mora, con fritura a presión atmosférica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental..	61
Cuadro 5.2.3 Efectos de las variables independientes temperatura (T) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a mora, con fritura hipobárica. ....	63
Cuadro 5.2.4 Efectos de las variables independientes temperatura (T) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a mora, con fritura a presión atmosférica.....	64
Cuadro 5.2.5 Comparación de puntos óptimos del diseño experimental.....	72
Cuadro 5.2.7 Resultados de dureza e intensidad del sonido (para dos bandas graficadas) al fracturarse las hojuelas de papaya sabor a mora, con fritura hipobárica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental (n= 57). ....	74
Cuadro 5.3.1 Resultados de los atributos de calidad obtenidos para las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá, con fritura hipobárica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental.....	91

Cuadro 5.3.2	Resultados de los atributos de calidad obtenidos para las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá, con fritura a presión atmosférica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental..	92
Cuadro 5.3.3	Efectos de las variables independientes temperatura ( $T^{\circ}$ ) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá, con fritura hipobárica.....	94
Cuadro 5.3.4	Efectos de las variables independientes: temperatura ( $T^{\circ}$ ) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá, con fritura a presión atmosférica. ....	95
Cuadro 5.3.5	Comparación de puntos óptimos del diseño experimental.....	104
Cuadro 5.3.6	Resultados de dureza e intensidad del sonido (para dos bandas graficadas) al fracturarse las hojuelas de papaya sabor a maracuyá, obtenidas por fritura hipobárica (n= 61). ....	106

## INDICE DE FIGURAS

Figura 3.1 Formación de compuestos volátiles y no volátiles en aceites de fritura. Fuente: White (1991).....	12
Figura 3.2 Esquema del proceso de transferencia de masa en la deshidratación osmótica. Fuente: Shi y Le Maguer (2002).....	19
Figura 4.1 Diagrama para la elaboración de rodajas crujientes de papaya verde. ....	33
Figura 4.2 Corte transversal de las rodajas de papaya.....	34
Figura 4.3 Deshidratación por inmersión e impregnación de la papaya verde, con una solución a base de jugos de frutas y sacarosa.....	35
Figura 4.4 Diagrama del freidor semi-continuo al vacío.....	37
Figura 4.5 Determinación del campo experimental del estudio.....	39
Figura 4.6 Escala de nivel de aceptación sensorial. ....	43
Figura 5.2.1 Flujo de proceso para la elaboración de rodajas crujientes de papaya verde .....	53
Figura 5.2.3 Gráfico de contorno para la isorespuesta de aceptación y humedad para hojuelas de mora, elaboradas a presión hipobárica. ....	66
Figura 5.2.4 Gráfico de contorno para la isorespuesta de $A_w$ y dureza (fuerza de penetración) para hojuelas de mora, elaboradas a presión atmosférica. ....	68
Figura 5.2.5 Análisis de componentes principales para las muestras (1-12) de hojuelas de mora producidas con fritura a presión hipobárica. Los valores de tiempo y temperatura de fritura asociados a cada número de muestra se encuentran en el cuadro 5.2.1. ....	69
Figura 5.2.6 Análisis de componentes principales para las muestras de hojuelas de mora producidas con presión atmosférica. Los valores de tiempo y temperatura de fritura asociados a cada número de muestra se encuentran en el cuadro 5.2.2. ....	71
Figura 5.2.7 Bandas de dureza y de sonido para una muestra de hojuela de mora producida con fritura hipobárica.....	76
Figura 5.3.1 Gráfico de contorno de isorespuestas para la luminosidad ( $L^*$ ) y la aceptación de las hojuelas de maracuyá, elaboradas a presión hipobárica. ....	97

Figura 5.3.2	Gráfico de contorno de isorespuestas para grasa (b.s) y aceptación de las hojuelas de maracuyá, elaboradas a presión hipobárica. ...	98
Figura 5.3.3	Gráfico de contorno para la isorespuesta de Aw y dureza de las hojuelas de maracuyá, elaboradas a presión atmosférica. ....	100
Figura 5.3.4	Análisis de componentes principales para las muestras (1-12) de hojuelas de maracuyá producidas con fritura a presión hipobárica. Los valores de tiempo y temperatura de fritura asociado a cada número de muestra se encuentran en el cuadro 5.3.1.....	101

## LISTA DE ABREVIATURAS

AGL	Ácidos grasos libres
Aw	Actividad de agua
b.s	Base seca
CaCl <sub>2</sub>	Cloruro de calcio
cm	Centímetros
ej	Ejemplo
g	Gramos
h	Horas
ha	Hectáreas
kPa	Kilo Pascales
L	Litros
mg	Miligramos
meq	Miliequivalentes
min	Minutos
mm	Milímetros
msnm	Metros sobre el nivel del mar
n	Número de repeticiones
N	Newtons
plg	Pulgadas
p/v	Peso en volumen en una solución
PCA	Análisis de Componentes Principales
PM	Peso molecular
rpm	Revoluciones por minuto
s	Segundos
tm	Toneladas métricas
T	Temperatura
t	Tiempo
USD	Dólares USA
W	Watts

## CAPÍTULO 1. JUSTIFICACIÓN

La tendencia en los esquemas de alimentación saludable se dirige al consumo balanceado de alimentos en tres comidas principales (desayuno, almuerzo y cena) y dos meriendas al día entre dichas comidas (Berdanier, 2002; Mela, 2005). Las recomendaciones nutricionales subrayan la necesidad de que estas meriendas sean naturales, con poca grasa y bajas en carbohidratos simples. Se propone normalmente al menos una ración de frutas en cada una de ellas, por sus conocidas propiedades funcionales y nutritivas.

Los estilos de vida actuales demandan meriendas que puedan cubrir las necesidades de los esquemas de nutrición y a la vez ser convenientes, es decir de fácil acceso, y de mínima o ninguna preparación doméstica. Es en este campo en el que han surgido los “snacks” de frutas para sustituir la ración recomendada durante las meriendas y el mercado de estos productos se encuentra en una etapa de pleno auge (Hollingsworth, 2000; Leatherhead Food International, 2006).

Un “snack” o merienda se considera como una pequeña comida que contribuye a la ingesta nutricional diaria recomendada (Berdanier, 2002). El total de ventas reportadas para el mercado internacional (países evaluados: Estados Unidos, Alemania, Japón, Francia, Inglaterra, Australia, Italia y España) de “snacks” de frutas en el año 2006 fue de USD 2,34 billones. En Europa se estima un crecimiento exponencial en los últimos años de los “snacks” saludables, siendo actualmente un mercado de USD 1,20 billones, donde un 2% corresponde a productos de frutas orgánicas (Leatherhead Food International, 2006).

Es así como las opciones saludables para merendar están ganando lugar ante los “snacks” cuestionados como poco nutritivos y están rigiendo los comportamientos de consumo en la actualidad y se espera que el comercio de productos naturales domine en el año 2020. Según un reporte de Food Info Net (2007) seis de cada diez consumidores (59%) europeos compraron más alimentos convenientes y saludables en el 2006, en comparación con datos de consumo de un año anterior. Más de un tercio de los norteamericanos (36 %) consumen “snacks” saludables al menos una vez al día.

Los consumidores demandan cada vez más alimentos procesados que mantengan sus características originales. En términos industriales esto requiere el desarrollo de operaciones que minimicen el efecto adverso del procesamiento; las frutas

procesadas deben preservar su sabor y aroma natural, deben estar preferiblemente libres de preservantes y su textura debe ser agradable (Pszczola *et al.*, 2000). Se requiere de nuevas alternativas de procesamiento de las frutas para satisfacer estos requerimientos.

Ante la tendencia en los hábitos de consumo y la disponibilidad que hay en Costa Rica de frutas con propiedades funcionales, se propone estudiar un proceso tecnológico innovador que pueda conservar las características de las frutas y que prometa grandes ventajas en el campo de la fritura. Este corresponde a una nueva tecnología de fritura que emplea presiones al vacío (presiones hipobáricas) por lo que requiere temperaturas de procesamiento menores que las convencionales (Pérez-Tinoco *et al.*, 2008; Da Silva y Moreira 2008; Granda *et al.*, 2004).

Se ha reportado además que la utilización de la fritura bajo vacío reduce la formación de acrilamida en productos fritos procesados a menores temperaturas que las convencionales a presión atmosférica (Granda *et al.*, 2004). La acrilamida es un compuesto cuya formación ha sido comprobada en productos altos en carbohidratos y bajos en proteínas, como las hojuelas de papas, al procesarse por medio de fritura con altas temperaturas. Este compuesto ha sido estudiado en los últimos años por su presencia en diversos alimentos industriales y por su toxicidad en el ser humano (Duxbury, 2004; FAO-OMS, 2005; Amrein *et al.*, 2006, Pedreschi *et al.*, 2006).

Granda *et al.* (2004) llevaron a cabo un estudio en el que analizaron el contenido de acrilamida formada durante la fritura por inmersión de hojuelas de papa y evaluaron el efecto de la fritura al vacío sobre la producción de este compuesto. Los resultados mostraron que el freír a presiones hipobáricas reduce en un 94% la formación de acrilamida en las papas fritas. Amrein *et al.* (2006) encontraron, como resultado de un estudio de la influencia de las condiciones del proceso térmico en la generación de acrilamida, que el uso de temperaturas bajas durante la fritura reduce el contenido de este compuesto en el producto final, conservando las características sensoriales.

Se escogió para la presente investigación el fruto de la papaya dado que en su estado verde tiene la propiedad de ser un alimento neutro (sin las propiedades sensoriales del estado maduro) y de tener una textura firme. Esto le confiere a la papaya verde el carácter de una matriz que puede impregnarse con los jugos de frutas (en nuestro caso mora y maracuyá) y que le aportan sus propiedades funcionales y sensoriales (sabores y colores atractivos).

El producto final es una hojuela o “chip” crujiente y con las propiedades sensoriales y funcionales características de las frutas. Tanto la mora como la maracuyá han sido estudiadas por sus efectos beneficiosos a la salud debido a su alto contenido de compuestos antioxidantes.

La mora es una fuente importante de polifenoles y, por su capacidad antioxidante, se ha sugerido que su consumo regular puede ser significativo en combatir el daño causado por los radicales libres en el organismo (Fan-Chiang y Wrolstad, 2005; Wang y Lin, 2000; Reyes-Carmona *et al.*, 2005). Además se reportan efectos protectores contra diversos tipos de cáncer y de enfermedades cardiovasculares, así como la reducción de la presión arterial y su poder antiinflamatorio en el organismo. La maracuyá (*Passiflora edulis*) también ha sido objeto de investigación por sus beneficios para la salud debidos a su contenido de alcaloides, compuestos cianogénicos y glicosil flavonoides (Shahidi y Naczki, 2004).

En el presente trabajo se evaluó el efecto de la fritura al vacío sobre las características de calidad de las hojuelas con sabor a mora y a maracuyá, en comparación con la fritura convencional a presión atmosférica.

## **CAPÍTULO 2. OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo general**

Optimizar la producción de hojuelas a partir de una base natural pectocelulósica por medio de fritura acoplada a la deshidratación osmótica, empleando jugos de frutas, para la obtención de un producto agradable para el consumidor y con el menor contenido graso.

### **2.2 Objetivos específicos**

Seleccionar mediante pruebas preliminares los tratamientos de la papaya verde previos al proceso de deshidratación osmótica y evaluar diferentes tipos de jugos de frutas para la impregnación de la fruta.

Comparar las características físicas y la aceptación del producto obtenido mediante fritura hipobárica y a presión atmosférica.

Establecer las condiciones de proceso adecuadas para obtener las hojuelas crujientes de papaya verde con menor contenido graso y con mayor aceptación sensorial, por medio de fritura hipobárica y atmosférica.

Establecer un sistema de medición acústica de la crujencia y determinar su correlación con la medición instrumental de la textura de las hojuelas de papaya.

## CAPÍTULO 3. MARCO TEÓRICO

### 3.1 La fritura por inmersión

#### 3.1.1 Importancia de la fritura por inmersión

La fritura por inmersión es un método ampliamente utilizado para la cocción de alimentos ya que es rápido, práctico y los alimentos fritos son generalmente apetecibles por su sabor y textura. Este proceso se utiliza en una gran gama de alimentos a escala industrial, así como en el sector de hotelería y restaurantes. Los ejemplos incluyen las apetecidas papas fritas, los mariscos o productos cárnicos fritos, empanadas, tortillas y “snacks” variados.

El resultado que brinda a las características sensoriales de los productos fritos y su relativo bajo costo a gran escala, ha hecho que la fritura por inmersión sea la metodología preferida para obtener la amplia y siempre creciente gama de “snacks”. A pesar del alto contenido de grasa y de la mayor conciencia que tienen en general los consumidores acerca de la relación entre la salud, la nutrición y la alimentación, la fritura sigue siendo uno de los métodos de cocción más utilizados (Saguy y Dana, 2003).

La fritura por inmersión se define como el proceso por medio del cual un alimento se cocina al sumergirse en un aceite o grasa cuya temperatura se encuentra a una temperatura mayor que la de ebullición del agua. El proceso se lleva a cabo normalmente a presiones atmosféricas y la temperatura de fritura es de alrededor de 180 °C. Es una operación unitaria compleja que involucra altas temperaturas, cambios estructurales significativos en la superficie como en el interior de la hojuela o “chip” y transferencia de masa y de calor simultáneamente (Lawson, 1994; Moreira *et al.*, 1999; Choe y Min, 2007; Mariscal y Bouchon, 2008).

A diferencia de la fritura convencional (por conducción del calor a través de una superficie caliente conteniendo aceite), el método de fritura por inmersión disminuye los riesgos por salpicaduras, las quemaduras y el desperdicio de grasa. Se reducen además los problemas por el manejo de aceite, el espacio de fritura y el tiempo de cocción (Lawson, 1994; Moreira *et al.*, 1999).

Es importante destacar que la fritura reduce la humedad del producto a niveles que le permiten mantenerse en buenas condiciones a temperatura ambiente

durante el periodo de vida útil. El valor mínimo de actividad de agua ( $A_w$ ) que se reporta para que ocurran las reacciones enzimáticas y microbianas en productos deshidratados es de 0,45 (Blumenthal y Stier, 1991; Moreira *et al.*, 1999) y por medio de procesos de fritura es posible obtener valores menores que éste en diferentes “chips”.

Saguy y Dana (2003) afirman que el mejoramiento de la calidad de los aceites, de las coberturas y de los aspectos ingenieriles de diseño de freidores y del tiempo de residencia del producto son ejemplos de estudios que muestran la evolución del procesamiento de fritura en la industria de los alimentos. Los autores sugieren que los productos fritos no necesariamente deben representar un riesgo a la salud si se consumen como parte de dietas adecuadamente balanceadas y se mantiene la calidad de los aceites y de la tecnología de fritura utilizada.

### 3.1.2 *Mecanismo general de la fritura por inmersión*

La fritura de alimentos en aceite caliente involucra la transferencia de masa y de calor. Durante este proceso ocurren varios cambios físicos y químicos, incluyendo la gelatinización de almidones, desnaturalización de proteínas, evaporación de agua y formación de concha (Saguy y Pinthus, 1995; Moreira *et al.*, 1999; Choe y Min, 2007).

Este tipo de fritura es una operación unitaria compleja y ampliamente utilizada a nivel industrial e institucional. Involucra la transferencia de calor y de masa, afectando el coeficiente de evaporación de agua y de absorción de aceite, así como los atributos sensoriales del producto (Saguy, 1997; Mariscal y Bouchon, 2008).

La temperatura de fritura está determinada por consideraciones económicas y por el tipo de producto a elaborar. A temperaturas más elevadas, los tiempos de fritura pueden ser más cortos y la capacidad de los equipos mayor. Sin embargo, a temperaturas muy altas el aceite de fritura se altera rápidamente: se producen ácidos grasos libres que modifican su viscosidad, su sabor y su aroma. En estos casos el aceite debe cambiarse con mayor frecuencia lo que incrementa considerablemente los costos de producción (Fellows, 1994; Moreira *et al.*, 1999).

La fritura óptima es aquella que tiene bajos costos y que logra obtener una calidad superior en el producto, en este sentido se han estudiado los procesos para mejorar los controles y automatizarlos. Existe gran cantidad de referencias

bibliográficas que estudian el proceso de fritura, los cambios que ocurren en los alimentos y en el aceite (Blumenthal, 1991; Saguy, 1997; Moreira *et al.*, 1999; Bouchon y Aguilera, 2001; Haase y Weber, 2003; Nourian y Ramaswamy, 2003; Hindra y Baik, 2006; Troncoso y Pedreschi, 2009).

Transferencia de masa durante la fritura:

Este proceso está determinado por el movimiento del aceite hacia el alimento y del agua en forma de vapor desde el alimento hacia el aceite. El agua del alimento migra desde su centro radialmente hacia el exterior para reemplazar la que se ha perdido por deshidratación durante el proceso de fritura. Algunos autores han utilizado cálculos de transferencia de masa para derivar formulaciones que simulen la fritura (Singh, 1995; Ufheil y Escher, 1996; Troncoso y Pedreschi, 2009).

La teoría que explica el mecanismo de absorción de grasa y desprendimiento de humedad incluye las siguientes etapas, de acuerdo con Saguy y Pinthus (1995) y Moreira *et al.* (1999):

- 1) La temperatura alta provoca una ebullición “explosiva” del agua que contiene el alimento a freír,
- 2) Se ocasiona una ruptura de células del alimento y se forman canales capilares y
- 3) El aceite es absorbido por los capilares y esta absorción aumenta debido a una reducción de la presión interna en el producto, efecto conocido como “efecto de vacío”.

Durante la fritura de un producto, como las “papas a la francesa”, pueden establecerse, de acuerdo con Singh (1995), tres zonas características: la interfase entre el alimento y el aceite caliente, el área de la concha que es porosa y contiene la mayor parte del aceite absorbido y el corazón interno. Se ha encontrado que la capa de aceite no penetra la concha formada más allá de una profundidad de aproximadamente 1 mm. La penetración de aceite depende del tiempo de fritura y del tipo y la calidad del aceite (Moreira *et al.*, 1999; Bouchon y Aguilera, 2001; Pedreschi *et al.*, 2001).

El aceite de fritura se puede contaminar con sustancias que se transfieren por lixiviación desde el alimento, con el vapor de agua que se condensa en el aceite y

con el aire que es absorbido en la interfase aceite-aire. Algunos de estos contaminantes actúan como surfactantes reduciendo la tensión superficial del aceite, lo que puede afectar los procesos de transferencia de masa y de calor durante la fritura (Singh, 1995).

Transferencia de calor durante la fritura:

Durante la fritura por inmersión ocurre la transferencia de calor de dos diferentes modos: por conducción y por convección. La conducción del calor se da dentro del alimento sólido y es función de las propiedades térmicas del alimento, de su difusividad térmica, conductividad, calor específico y densidad. La convección ocurre entre el alimento y el aceite que lo rodea y se ve afectada por el movimiento vigoroso del vapor de agua que escapa en forma de burbujas del alimento (Singh, 1995).

Se ha demostrado que durante la fritura las temperaturas internas del alimento están restringidas a valores cercanos al punto de ebullición del agua contenido en él. Al aumentar el tiempo de fritura se evapora mayor cantidad de agua del área externa del alimento y consecuentemente la temperatura de las regiones secas aumenta hasta ser mayor al punto de ebullición del agua (Saguy y Pinthus, 1995; Singh, 1995). Además, la conversión del agua de líquido a vapor al salir del alimento provoca un decaimiento de la energía del aceite de fritura; lo que explica que aunque el aceite se encuentre a una temperatura alta (ej: 180 °C) el alimento se encontrará cercano a la temperatura de ebullición del agua (Blumenthal, 1991; Moreira *et al.*, 1999, Choe y Min, 2007).

La finalidad del proceso de fritura es la cocción del interior del alimento. Cuando éste se introduce en el aceite caliente ocurre lo siguiente (Moreira, *et al.*, 1999; Pedreschi *et al.*, 2001):

- 1) La humedad del alimento comienza a convertirse en vapor de agua, que se elimina mediante un burbujeo que desciende gradualmente a través del aceite.
- 2) La temperatura del aceite decrece y el termostato manda una señal para producir energía calorífica adicional hasta que la temperatura se vuelva a nivelar.
- 3) Se produce un dorado o caramelizado deseable en la superficie del alimento.
- 4) El alimento absorbe aceite durante el proceso de cocción y la mayoría se acumula cerca de su superficie. La cantidad de grasa o aceite absorbido depende

del tiempo de fritura, del área superficial expuesta, del contenido final de humedad del alimento y de la naturaleza de éste.

5) Se producen cambios químicos y físicos en la grasa de fritura a medida que se va utilizando.

### 3.1.3 *Aceite de palma*

El aceite de palma es uno de los más importantes aceites de frutos en el comercio mundial, es semisólido y se extrae de la porción pulposa del fruto. Las palmeras y la producción de aceite de palma son propias del oeste del África tropical. Sin embargo, han tenido lugar innovaciones recientes y se han desarrollado en Indonesia, además de Malasia. Las palmeras necesitan un clima tropical y alrededor de 2 540 mm de lluvia por año (Lawson, 1994; Fedepalma, 2009).

Actualmente el aceite de palma es el segundo en el mercado internacional y su producción se concentra en muy pocos países, representando Malasia e Indonesia el 80 % del volumen mundial (Pantzaris y Elías, 1996). Colombia es el primer productor de palma de aceite en América Latina y el cuarto en el mundo (Fedepalma, 2009).

En Costa Rica el cultivo de la palma africana se remonta a la década de los años 30, cuando la “United Fruit Company” se traslada al pacífico húmedo e inicia la sustitución de los cultivos de banano afectados por el “Mal de Panamá”, por cultivos de cacao, palma africana, reforestaciones de teca e implementación de módulos ganaderos. Con el cierre de sus fincas, la Compañía Bananera de Costa Rica impulsa y promueve el cultivo de la palma aceitera en el país y se convierte en uno de los principales suplidores de material genético para las siembras en América Latina (Grupo Numar, 2005 a).

El establecimiento y desarrollo de los cultivos de palma eliminó la importación de materias primas desde Malasia para la producción de mantecas y otros productos. En el año 1965 la “United Fruit Company” compra la compañía Numar, fundándose en Costa Rica el Grupo Numar, el cual integra varias empresas relacionadas con el cultivo, extracción, procesamiento y manufactura de grasas y aceites vegetales. Actualmente este Grupo es el productor mayoritario de aceite vegetal en el país y cuenta con un amplio plan de siembra de palma africana y de exportación de productos fuera de Centroamérica (Grupo Numar, 2005 a).

El proceso de producción del aceite de palma consiste en esterilizar los frutos, desgranarlos, macerarlos, extraer el aceite de la pulpa, clarificarlo y recuperar las almendras del bagazo resultante. Al fraccionar el aceite se obtienen dos productos: la oleína y la estearina de palma. La primera es líquida en climas cálidos y se puede mezclar con cualquier aceite vegetal. La otra es la fracción más sólida y sirve para producir grasas, principalmente margarinas y jabones. Las propiedades de cada una de las porciones del aceite de palma explican su versatilidad, así como sus numerosas aplicaciones (Fedepalma, 2009).

La oleína de palma se emplea como aceite de cocina, para elaborar productos de panadería, pastelería, confitería, heladería, sopas instantáneas, salsas, diversos platos congelados y deshidratados y cremas no lácteas para mezclar con el café. La oleína de palma se utiliza ampliamente en Europa para productos industriales como "snacks" fritos, galletas y confitería debido a su alta resistencia a la auto-oxidación y al consecuente bajo deterioro del sabor. En el Reino Unido se ha reportado que el uso del aceite de palma es de 10,2 % en margarinas y de 44,1 % en mantecas (Pantzaris y Elías, 1996).

El aceite de palma contiene una relación 1:1 entre ácidos grasos saturados e insaturados y es fuente importante de antioxidantes naturales como los tocoferoles, los tocotrienoles, y los carotenos. La oleína, la fracción líquida, es muy estable a la oxidación, debido a que el contenido de ácidos grasos insaturados lo constituyen principalmente mono-insaturados (aproximadamente 40 %), pequeños niveles de di-insaturados (cerca del 10 %) y bajas cantidades de poli-insaturados, además de sus altas cantidades de compuestos antioxidantes naturales (Pantzaris y Elías, 1996; Fedepalma, 2009).

De acuerdo con Moreira *et al.* (1999) y Choe y Min (2007), un buen aceite de fritura debería reunir las siguientes características:

- 1) No debe conferir ningún sabor desagradable al alimento frito. El sabor debe ser suave y neutro.
- 2) Larga vida útil.
- 3) Capacidad para producir un producto frito apetitoso, dorado, con buena textura y sin grasa superficial.
- 4) Mínima producción de humos tras el uso continuado.
- 5) Mínimos cambios oxidativos.
- 6) Calidad uniforme.
- 7) Facilidad de uso, incluyendo la presentación como el envase.

#### 3.1.4 Cambios químicos y reacciones del aceite durante la fritura.

Las grasas que se utilizan en la fritura por inmersión experimentan gradualmente algunos cambios químicos durante su uso que dan como resultado sabores residuales, oscurecimiento, aumento de la viscosidad y formación de espuma y de humo. Estos cambios pueden producir efectos adversos en el sabor y en valor nutricional de los alimentos fritos.

Los cambios más importantes son: (1) formación de color (2) oxidación (3) polimerización e (4) hidrólisis (Lawson, 1994; Choe y Min, 2007).

(1) Formación de color: todos los alimentos que se fríen aportan sustancias (ej: azúcares, almidones, fosfatos, compuestos azufrados y metales traza) que se acumulan en el aceite durante el proceso de fritura. Estos materiales se doran y reaccionan con el aceite causando su oscurecimiento.

(2) Oxidación: el oxígeno del aire reacciona con la grasa de la freidora y los productos de la oxidación permanecen en su mayoría en el aceite acelerando aún más los procesos oxidativos que lo deterioran.

Los productos de la oxidación pueden ser hidroperóxidos, ácidos dienoicos conjugados, epóxidos, hidróxidos y cetonas. Estos pueden fragmentarse o permanecer en la molécula de triglicérido formando enlaces cruzados que dan como resultado grandes polímeros (Choe y Min, 2007). A temperatura ambiente, la oxidación es normalmente lenta, sin embargo a las temperaturas de fritura (170 – 180 °C) se produce de manera rápida.

Otros factores que afectan la velocidad de oxidación son: la velocidad a la cual la grasa es absorbida por el alimento y el reemplazo en el sistema por grasa nueva, el área superficial expuesta al oxígeno, la presencia de metales como el cobre y el latón que son pro-oxidantes, la presencia de antioxidantes y la calidad de la grasa de fritura.

(3) Polimerización: una oxidación excesiva va a menudo acompañada de una polimerización, donde se forman uniones carbono-carbono en ausencia de

oxígeno obteniéndose ácidos grasos cíclicos, los cuales a su vez pueden formar uniones cruzadas y producir polímeros de alto peso molecular.

La polimerización se evidencia comúnmente por la formación de sustancias pegajosas y por espuma en el aceite.

(4) **Hidrólisis:** es ocasionada por la reacción entre el agua del alimento y la grasa de fritura, para formar ácidos grasos libres. La proporción de hidrólisis depende de los siguientes factores: la cantidad de agua liberada en el aceite, la temperatura del aceite de fritura (a mayor temperatura más elevada es la producción de ácidos grasos libres), la velocidad de renovación del aceite, el número de ciclos de calentamiento/enfriamiento durante el proceso de fritura y la cantidad de partículas quemadas procedentes del alimento y acumuladas en el sistema de fritura. Es por esto que la filtración frecuente y correcta del aceite es importante para minimizar este efecto (Lawson, 1994; Moreira *et al.*, 1999).

La medición del deterioro de aceites o de grasas se basa en los cambios químicos descritos y en los productos de la descomposición, que normalmente se dividen en volátiles y no volátiles, como se muestra en la figura 3.1.

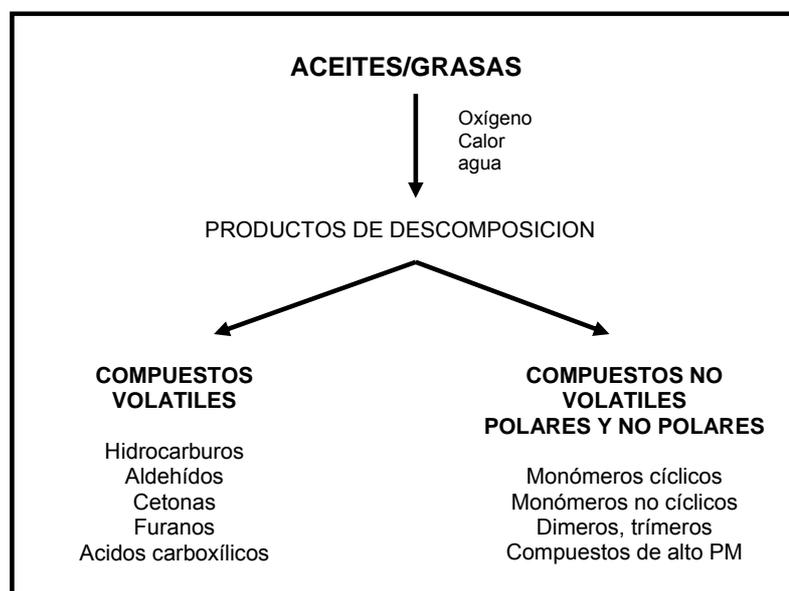


Figura 3.1 Formación de compuestos volátiles y no volátiles en aceites de fritura. Fuente: White (1991)

Los compuestos volátiles producidos por la descomposición de aceites son poco utilizados como indicadores de deterioro, ya que su cuantificación es difícil y tediosa; sin embargo debe señalarse su importancia ya que son inhalados por los operarios durante los procesos de fritura y una porción de ellos queda como residuo en los aceites, siendo compuestos que pueden ser ingeridos por el consumidor.

Tradicionalmente se han utilizado diferentes métodos basados en los compuestos no-volátiles remanentes en los aceites de fritura, estos incluyen la medición de: ácidos grasos libres, índice de yodo y viscosidad (White, 1991; Belitz, 1997).

La determinación de ácidos grasos libres (AGL) se utiliza ampliamente como parámetro de calidad de los aceites (Choe y Min, 2007) y se le denomina también índice de acidez; se realiza por titulación y se define como el número de miligramos de hidróxido de potasio requeridos para neutralizar la acidez libre de un gramo de muestra. A menudo el resultado se expresa como porcentaje de ácidos grasos libres. Con la mayor parte de los aceites, la rancidez empieza a ser notable al paladar cuando los AGL, calculados como ácido oleico son alrededor de 0,5 a 1,5 %.

Los ácidos grasos insaturados se polimerizan durante la fritura, de manera que hay una disminución en el índice de yodo y la viscosidad de la grasa aumenta; este cambio físico puede medirse por medio de un viscosímetro apropiado. Los peróxidos formados durante el calentamiento se fragmentan inmediatamente por acción del calor y se forman, entre otros, compuestos con grupos hidroxilo por lo que el índice de peróxidos aumenta, sin embargo este análisis no es adecuado para evaluar la calidad de la grasa (Belitz, 1997).

Existen varios métodos para el análisis del deterioro de los aceites, incluyendo los métodos rápidos que suelen utilizarse a nivel industrial, sin embargo la escogencia dependerá normalmente de la precisión deseada, del presupuesto y del tiempo disponible para la medición.

### 3.1.5 *La fritura hipobárica*

El proceso de fritura hipobárica, es decir con presiones inferiores a la presión atmosférica, es un concepto novedoso de fritura del cual existe a la fecha un número reducido de publicaciones disponibles, que no se han enfocado en el

desarrollo de productos a base de frutas tropicales. En el cuadro 3.1 se presenta un resumen de las investigaciones encontradas a presión hipobárica.

Cuadro 3.1. Resumen de investigaciones con fritura hipobárica en alimentos, según autor y año de producción.

AUTOR	AÑO	PRESIÓN HIPOBÁRICA (KPa)	TEMPERATURA (°C)	PRODUCTO
Shyu y Hwang	2001	98,7	90-110	Chips manzana
Garayo y Moreira	2002	3,1	110	Chips papa
Granda <i>et al.</i>	2004	1,33	120-130	Chips papa
Shyu <i>et al.</i>	2005	98,7	100-110	Chips zanahoria
Pérez-Tinoco <i>et al.</i>	2008	24	106-117	Hojuelas piña
Mariscal y Bouchon	2008	15		Chips manzana
Da Silva y Moreira	2008	1,33	120-130	Mango, papa morada, camote, vainicas
Troncoso <i>et al.</i>	2009	5,4	120-140	Chips papa

La utilización de presiones hipobáricas durante la fritura permite procesar los alimentos a temperaturas menores que las regularmente aplicadas cuando se fríe a presión atmosférica. Esto implica grandes ventajas en la calidad sensorial y nutricional de los productos, ya que estos pierden en menor grado el color, el sabor, el aroma y los componentes termosensibles como la vitamina C. De acuerdo a un estudio llevado a cabo por Da Silva y Moreira (2008), en el que se estudió la fritura al vacío de diversos “snacks” de frutas, se obtuvo mejor aceptación sensorial ( $p < 0,05$ ) en el color, textura, sabor y calidad general de los productos fritos al vacío. Aquellos que fueron procesados a presión atmosférica presentaron un oscurecimiento excesivo por lo que los autores soportan la aplicabilidad de la tecnología de fritura al vacío para obtener “snacks” con mejores características de calidad.

Solarte y Parra (1999) optimizaron distintos pretratamientos en la producción de hojuelas de piña de la variedad “manzana”, la cual se procesó por fritura bajo vacío y con un tratamiento osmótico previo utilizando una solución de sacarosa y

glucosa. En este estudio se encontró que la utilización de un almidón de elevado peso molecular en la solución osmótica y el corte de las rebanadas de un espesor de 2,5 mm dieron como resultado un producto con menor contenido graso y mayor aceptación por parte de los consumidores.

Una investigación llevada a cabo por Garayo y Moreira (2002), en la que se investigó la fritura bajo vacío de hojuelas de papa, arrojó resultados interesantes al concluir que esta tecnología es una alternativa efectiva para obtener un producto con un menor contenido de grasa y buenas características de color y textura, comparado con el que se produjo por medio de fritura a presión ambiental. Durante dicho estudio se evaluó el efecto de la temperatura del aceite (118, 132, 144 °C) y la presión (16,66, 9,88 y 3,11 kPa) sobre la absorción de aceite de las hojuelas y su calidad sensorial (color y textura).

Shyu y Hwang (2001) evaluaron los efectos de las condiciones de proceso sobre la calidad de "chips" de manzana fritos al vacío. Basado en un análisis de superficies de respuesta, se determinaron las condiciones óptimas de proceso, siendo estas: temperatura de fritura al vacío de 100-110 °C, tiempo de fritura de 20-25 min y un tratamiento previo de inmersión en jarabe de fructosa de 30-40 %.

La fritura hipobárica se ha estudiado también como opción para la deshidratación de verduras, como la zanahoria (Fan *et al.*, 2005 b). El objetivo fue obtener un producto de alta calidad por medio de una tecnología que implica mucho menores tiempos de proceso que la deshidratación convencional por aire caliente.

En su estudio, Fan *et al.* (2005 a) utilizaron un sistema de fritura al vacío para freír rodajas de zanahoria a diferentes temperaturas y presiones hipobáricas con el fin de estudiar el efecto de las condiciones sobre diversas características de calidad del producto. Se logró el objetivo propuesto obteniendo buenos índices de textura, humedad, cantidad de grasa y color. No se encontraron diferencias significativas en los valores Hunter de luminosidad (L), color rojo (a) y amarillo (b) para los "chips" de zanahoria debidas al vacío (0,06; 0,08; 0,095 MPa) y la temperatura (60, 80, 100 °C) aplicados.

### **3.2 La textura y la crujencia en productos fritos**

Las hojuelas de productos fritos deben ser crujientes y, por esto, la característica sensorial de la crujencia se toma en cuenta como parámetro fundamental para determinar su calidad y aceptación por parte de los consumidores.

En los últimos años se han llevado a cabo varios estudios relacionados con la evaluación instrumental y sensorial de la crujencia, debido al interés que han demostrado los consumidores respecto a los alimentos crujientes. Roudaut *et al.* (2002) realizaron una revisión de la literatura existente sobre la crujencia y especialmente de aquella relacionada con la medición instrumental y sensorial. Ellos advierten que la crujencia parece no ser un atributo sensorial claramente definido.

Para realizar análisis descriptivos sensoriales es necesario un consenso de los panelistas respecto al significado de cada atributo. Con el fin de lograr esto es usual ofrecerles una definición del atributo en la etapa de entrenamiento de los análisis. Las definiciones que se encuentran sobre la crujencia son muy variadas; sin embargo, todas contemplan cinco aspectos: estructura del producto intacto, sonidos emitidos durante la fractura, fuerza de fractura de la muestra, cómo colapsa el producto al fracturarse y cómo se ven los trozos de muestra posterior a la fractura (Roudaut *et al.*, 2002).

La importancia de la crujencia ha conducido a varios investigadores a establecer métodos instrumentales que se acoplen a los resultados de los análisis sensoriales. Dentro de las mediciones instrumentales se destacan la fuerza de deformación, la dureza y en menor cantidad las mediciones acústicas (Fillion y Kilcast, 2002). Las técnicas instrumentales presentan ventajas principalmente a nivel industrial, donde se requiere resultados rápidos con metodologías de fácil manejo.

De acuerdo con Roudaut *et al.* (2002), las mediciones mecánicas de la textura se dividen en tres grupos fundamentales: de flexibilidad, de corte y de compresión. Las últimas son probablemente las más utilizadas debido a su similitud con el proceso de masticación.

Dentro de los métodos de compresión se encuentra el de punción o perforación que se ha empleado para medir la crujencia y que simula el impacto de los dientes incisivos al morder. En este caso, una sonda cilíndrica o cónica de diámetro pequeño se introduce en la muestra a una velocidad constante y preferiblemente baja. Se obtiene con esta metodología una gráfica típica de fuerza-deformación contra el tiempo, que se caracteriza por una serie de picos que corresponden a la ruptura de paredes celulares individuales del producto analizado (Roudaut *et al.*, 2002).

El componente acústico de la crujencia es importante para los consumidores y se ha estudiado en los últimos años grabando la masticación o el rompimiento mecánico de productos tipo “snack”. Duizer (2001) afirma que si un producto crujiente no produce el sonido esperado al ser mordido, se considera que se encuentra añejo o es de calidad pobre al haberse producido con ingredientes o procesos inadecuados.

La estructura del alimento juega un papel muy importante en los sonidos emitidos al morderlo. Microscópicamente, el arreglo de las células, los enlaces químicos y las impurezas existentes en el producto afectan la producción del sonido. Los alimentos que contienen líquidos intercelulares, como las manzanas, se han denominado crujientes-húmedos y a aquellos que contienen mayormente aire alrededor de sus células, como las bolas de queso o los “chips” de papas, se les llama crujientes-secos. Sin embargo, los dos tipos de productos se perciben crujientes sensorialmente y el sonido emitido tiene intensidades similares (Duizer, 2001).

Algunas investigaciones que combinan el análisis de grabaciones acústicas con mediciones mecánicas-instrumentales han sido satisfactorias para predecir la crujencia de diferentes alimentos y bocadillos (Duizer, 2001; Roudaut *et al.*, 2002; Varela *et al.*, 2006; Zdunek y Ranachowski, 2006; Piazza *et al.*, 2008).

El estudio, por medio de técnicas acústicas de las texturas que producen sonidos, se ha abordado, de acuerdo a Duizer (2001), de dos diferentes formas. Una es la medición de la percepción de los sonidos conducidos a través del aire para establecer la influencia de estos sonidos a la sensación de la crujencia y la segunda es la grabación de los sonidos que se producen al aplicar una fuerza a los productos crujientes, para obtener información cuantitativa de este atributo sensorial.

Se ha encontrado que la descripción más adecuada de los sonidos que se producen al masticar un alimento, está dada por una combinación de las técnicas mecánicas y acústicas. Sin embargo, pocos estudios se han realizado para cuantificar los componentes vibracionales de la crujencia utilizando mediciones de fuerza en combinación con análisis de la acústica (Duizer y Winger, 2003; Piazza *et al.*, 2008).

Duizer y Winger (2003) llevaron a cabo una investigación de algunas técnicas objetivas para medir la percepción de la crujencia en “snacks” extruidos. En primera instancia un panel evaluó la crujencia de las muestras utilizando una

escala lineal de 10 cm. Después, se midió la fuerza de mordida con un instrumento mecánico que permite registrar la fuerza máxima, el tiempo para alcanzar la fuerza máxima y el área de la curva. Se grabaron los sonidos emitidos al morder las muestras, tanto el sonido conducido por los huesos de la mandíbula como el que es conducido por el aire. Se utilizó un análisis de regresión para relacionar la crujencia medida por el método mecánico y el acústico. Pudo encontrarse en este estudio una correlación entre la percepción de crujencia por el sonido conducido a través del aire y la fuerza de mordida; no fue posible relacionar la crujencia con el sonido mandibular.

### **3.3 La deshidratación osmótica**

La deshidratación osmótica es la remoción parcial del agua de un producto por contacto directo con un medio hipertónico: solución azucarada o solución salada para frutas o vegetales, respectivamente. Hoy en día se reconoce ampliamente el proceso bajo el término "deshidratación-impregnación-adsorción" que describe mejor los complejos fenómenos que ocurren durante el mismo (Fito *et al.*, 2001).

El principio de ósmosis, como fenómeno natural de pérdida de agua de materiales celulares, se conoce hace mucho tiempo. Sin embargo, recientemente se ha incrementado el interés en el proceso para diversas finalidades industriales. Las soluciones osmóticas se caracterizan por una alta presión osmótica y una reducida actividad de agua. Los agentes osmóticos que más se utilizan son la sacarosa y el cloruro de sodio (NaCl), sin embargo también se reporta el uso de lactosa, maltodextrina, etanol, glucosa y glicerina (Shi y Le Maguer, 2002).

Fito *et al.* (2001) destacan que dependiendo de las variables del proceso (temperatura y tiempo de deshidratación, tipo de soluto y concentración de la solución osmótica, así como la relación entre la masa del producto y de la solución), la deshidratación osmótica puede lograr muy diversos resultados en el producto final. De especial importancia es la pérdida de agua de la materia prima lo cual afecta su textura y la absorción de soluto variando así sus características sensoriales.

El proceso de deshidratación osmótica se ha propuesto por lo general como una etapa previa a otras operaciones de secado (aire caliente, secado al vacío o liofilización) con el objeto de reducir parcialmente el contenido inicial de agua y mejorar la calidad del producto final (Le Maguer, 1988; CYTED-D, 1992).

Raoult-Wack (1994) describe la deshidratación osmótica como un procedimiento que implica un sistema de eficiencia energética para la remoción de agua previo a diversos tratamientos con el fin de disminuir el  $A_w$  del alimento. A diferencia de los procesos de confitado, se trata de limitar la entrada de soluto al alimento y de favorecer la salida de agua ocurriendo una pérdida de peso significativa.

Se aprecia en la figura 3.2 un esquema del proceso de transferencia de masa durante la deshidratación osmótica de un alimento. Durante este proceso ocurre simultáneamente el flujo a contracorriente de: 1) el agua de la estructura celular del alimento hacia la solución osmótica y 2) el soluto de la solución migra hacia el tejido del alimento. Existe un tercer fenómeno de transferencia de masa concerniente a la pérdida de solutos naturales del tejido de las frutas o vegetales (ácidos orgánicos, minerales y vitaminas), que migran hacia la solución donde se encuentran inmersos, sin embargo es cuantitativamente reducido (Fito *et al.*, 2001).

Teniendo en cuenta el producto final deseado, el proceso osmótico puede utilizarse ya sea para la remoción parcial de su contenido de agua, la incorporación de un soluto o alcanzar un balance específico entre la deshidratación y la absorción de un soluto de funcionalidad específica (Fito *et al.*, 2001).

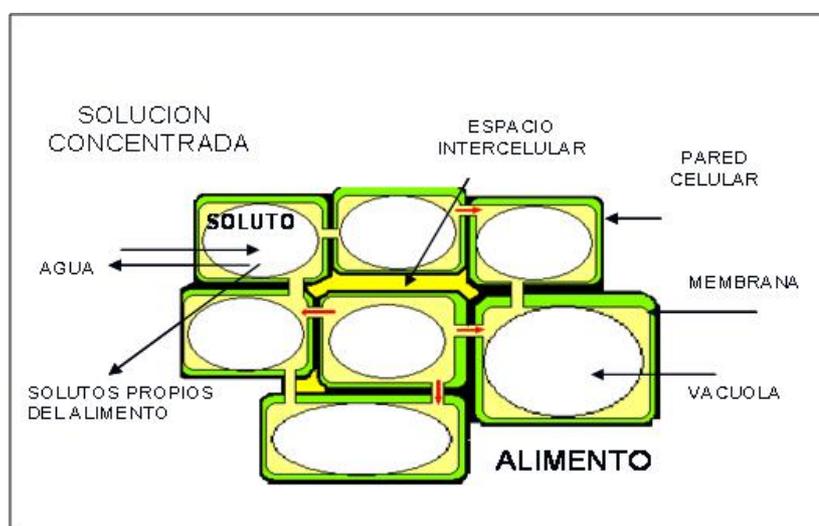


Figura 3.2 Esquema del proceso de transferencia de masa en la deshidratación osmótica. Fuente: Shi y Le Maguer (2002)

Chirife (1982) señaló las razones por las cuales la deshidratación parcial en una solución de azúcar permite obtener una fruta deshidratada que conserva sus características sensoriales. La alta concentración de azúcar que rodea los trozos de fruta es un adecuado inhibidor del pardeamiento enzimático oxidativo que ocurre generalmente en frutas cortadas. Esto permite obtener un muy buen color en el producto final. Por otra parte, el incremento en la concentración de sólidos solubles en la fruta, que ocurre como resultado de la pérdida de agua y de la impregnación del soluto, influye positivamente en la retención de compuestos volátiles aromáticos.

Las características del producto de la deshidratación osmótica se pueden controlar principalmente por las características de la materia prima, la temperatura y el tiempo del tratamiento osmótico, la composición y la concentración de la solución (Le Maguer, 1988; Shi y Le Maguer, 2002).

La deshidratación osmótica permite incorporar en el alimento cantidades controladas de agentes depresores de su actividad de agua y de disminuir su porcentaje de humedad sin cambio de fase, utilizando temperaturas moderadas (30 a 60 °C) y en presencia de oxígeno. Por medio de este proceso generalmente no se obtienen productos estables por lo que debe ser seguido de tratamientos complementarios, tales como el secado, la pasteurización o la adición de agentes conservadores (Raoult-Wack, 1994).

Se ha demostrado que la deshidratación osmótica previa a los procesos de fritura influye en una menor absorción de aceite de los productos fritos, lo cual es una condición para la aceptación de su calidad. Tal como lo indican Moreno y Bouchon (2008) en su trabajo sobre el efecto de la deshidratación por aire caliente, ósmosis y liofilización en la absorción de aceite durante la fritura de papas, la reducción de absorción de aceite puede ser de un 27% (b.s) si se utiliza la deshidratación osmótica previa a la fritura por inmersión.

### 3.3.1 *Deshidratación osmótica de frutas*

La demanda de productos de frutas que preservan sus características naturales y que alcanzan una vida útil relativamente prolongada, se encuentra cada vez en crecimiento. De acuerdo a varios autores (Raoult-Wack *et al.*, 1988; Shi y Le Maguer, 2002; Peiró-Mena *et al.*, 2006) la deshidratación osmótica es el método más efectivo para obtener estas características en las frutas; debido a la cinética propia del proceso es posible lograr humedades suficientemente bajas en los

productos, de manera que se pueden clasificar como productos de humedad intermedia, y ser estables microbiológicamente.

Los productos de frutas de humedad intermedia, cuyo proceso puede basarse en el acoplamiento de la deshidratación osmótica con otras operaciones, ofrecen al consumidor una opción en su dieta de productos tipo “snack” o pueden ser utilizados como ingredientes en productos lácteos, confitería o repostería (Raoult-Wack *et al.*, 1988; Barat *et al.*, 2001; Peiró-Mena *et al.*, 2006).

Existe una gran variabilidad en el comportamiento de diversas frutas durante la deshidratación osmótica, que ha sido explicada principalmente por las diferencias tisulares entre ellas. Por ejemplo, se ha reportado una diferencia de más de 25% en la reducción de peso de dos variedades de manzanas tratadas con las mismas condiciones de proceso (Raoult-Wack, 1994). Las propiedades de los tejidos vegetales son un factor fundamental en la deshidratación osmótica, así como los factores que ejercen un efecto negativo en su integridad, como la sobre-madurez, los pretratamientos térmicos, químicos o enzimáticos. Estos favorecen la ganancia de solutos y afectan la pérdida de agua dando como resultado productos de baja calidad sensorial.

Krokida *et al.* (2001) estudiaron el efecto de la deshidratación osmótica como pretratamiento de la fritura de hojuelas de papa y pudieron demostrar que esta etapa previa logra tener un efecto de menor absorción de grasa en el producto frito así como una menor humedad.

También se ha utilizado la deshidratación osmótica con el fin de mantener en el mayor grado posible las características nutricionales de frutas y vegetales. Singh *et al.* (2007) llevaron a cabo un estudio del efecto de las condiciones de procesamiento osmótico de cubos de zanahorias sobre la pérdida de agua, la ganancia de solutos, la aceptación y la cantidad de vitamina A del producto. Al ser la zanahoria (*Daucus carota L.*) uno de los vegetales con más alto contenido de vitaminas B1, B2, B6 y B12 y ser rica en  $\beta$ -carotenos (precursores de la vitamina A), se considera de gran importancia la retención de estos micronutrientes preservando el valor nutritivo y la aceptación del producto. Los autores utilizaron la metodología de superficies de respuesta para optimizar las características de los cubos de zanahoria y encontraron que las mejores condiciones del proceso osmótico fueron: una concentración de 50 ° Brix en la solución con 10 % p/v de cloruro de sodio añadido, una temperatura de la solución de 46,5 °C y un tiempo de proceso de 180 min.

Dermesonlouoglou *et al.* (2007) investigaron la cinética del pre-tratamiento osmótico de sandía congelada para determinar su influencia sobre los cambios de color y la pérdida de licopeno total en el producto. La dependencia de estos efectos respecto a la temperatura del proceso de ósmosis se modeló por medio de la ecuación de Arrhenius. Los resultados obtenidos demostraron que la deshidratación osmótica, previa a la congelación, fue efectiva para reducir el cambio de color y la pérdida de licopeno hasta en un 70 % y un 38 %, respectivamente, en comparación con el proceso sin el pre-tratamiento osmótico.

Algunos autores han estudiado las variables que afectan el proceso osmótico en diversas frutas y verduras con soluciones osmóticas de sacarosa o cloruro de sodio (Fito *et al.*, 2001; Barat *et al.*, 2001; Raoult-Wack, 1994; Krokida *et al.*, 2001; Singh *et al.*, 2007). Sin embargo no se encuentran reportes en la literatura revisada, referentes a la impregnación de una matriz neutra con jugos de diversas frutas para impartirle sabores y colores durante la deshidratación osmótica.

### 3.3.2 Deshidratación osmótica de papaya

Pérez-Tinoco (2000) estudió el efecto del deshidratado osmótico sobre algunos cambios físicos en rebanadas de papaya variedad criolla tipo Cera. Las papayas con un estado de madurez de  $\frac{3}{4}$  (color verde claro en la cáscara y amarillo-verdoso en la pulpa) se cortaron en rebanadas de 0,5 cm de espesor y se sumergieron en una solución de sacarosa a concentraciones de 50, 60 y 70 °Brix y a temperaturas de 50, 60 y 70 °C. Se evaluó la pérdida de agua, pérdida de peso, ganancia de soluto y el color y a partir de los resultados obtenidos se recomendó el empleo de una solución osmótica a 60 °C con una concentración de sólidos solubles de 60 °Brix y a un pH de 7,0 de manera que las rebanadas de papaya semi-madura tuvieran la mayor intensidad de color amarillo y la mayor aceptación sensorial.

La deshidratación por ósmosis de piña, mango y papaya de variedades comúnmente consumidas en Costa Rica fue estudiada por Bustamante y Rodríguez (1995). Las temperaturas analizadas fueron de 30 a 60 °C con almíbares de sacarosa en concentraciones de 50 a 70 °Brix. Las investigaciones incluyeron la evaluación de la pérdida de agua, la ganancia de sólidos y la calidad de la fruta obtenida y los resultados indicaron que la utilización de una relación fruta-almíbar de 1:4 es recomendable para minimizar la dilución del almíbar y mejorar la eficiencia del proceso.

También Heng *et al.* (1990) estudiaron la influencia de las variables de proceso sobre la calidad de cubos de papaya hawaiana (var. Solo) sometida a deshidratación osmótica. Las condiciones del proceso fueron: concentración de la solución de sacarosa con jarabe de glucosa de 45 a 72 °Brix y temperatura de la solución de 30 a 70 °C. Los autores concluyeron que es posible alcanzar condiciones óptimas del deshidratado osmótico en un rango de temperatura de 50 a 60 °C y a una concentración de la solución entre 55 y 65 °Brix y que a temperaturas mayores de 60 °C se provoca una pérdida significativa de ácido ascórbico y una decoloración en el producto.

Los resultados obtenidos por Zapata *et al.* (2002) mostraron que se puede optimizar las condiciones del proceso osmótico de papaya hawaiana en láminas, con una madurez del 50 %, si se utiliza un jarabe con una concentración de sacarosa de 57 %,  $\text{CaCl}_2$  de 0,55 g/100 ml y una relación jarabe/fruta de 5. Las muestras se deshidrataron por 24 horas a temperatura ambiente (20 °C) para analizar las variables de peso de las muestras, la actividad acuosa (Aw) y la humedad.

Una investigación de las variables del proceso de deshidratación osmótica al vacío de papaya de una variedad criolla, semi madura, permitió determinar las condiciones para obtener una calidad óptima del producto final, siendo estas una temperatura intermedia de 60 °C y una concentración de la solución de 60 °Brix por tiempos cortos de tratamiento (1- 1,5 h) (García, 1993).

### **3.4 El fruto de la papaya**

#### *3.4.1 Descripción*

La papaya pertenece a la División Anthophyta, a la Clase Dicotiledónea, Subclase *Cloripetala* y al Orden *Pariales*; este último comprende aquellas plantas herbáceas y leñosas con flores pentámeras de doble perianto, poseen un número indefinido de estambres, con carpelos abiertos unidos entre sí que dan origen a un fruto unilocular de placentación parietal. En la familia *Caricaceae*, que pertenece a dicho orden, se ubican plantas de tronco relativamente grueso de albura blanda, escasamente ramificadas con hojas grandes concentradas en los extremos, palmatopartidas y de lóbulos grandes, pecioladas y sin estípulas. Las flores masculinas poseen corola tubular y diez estambres unidos a ella, mientras las femeninas presentan ovario súpero unilocular con numerosos óvulos en placentación parietal; el género *Carica* comprende cinco especies, entre las más

conocidas se encuentran *Carica pubescens* (*C. candamarcensis*), *Carica monoica* y el híbrido ecuatoriano *Carica xheilbornii* (*C. pentagona*, *C. chrysopetala*) producto del cruce de *C. pubescens* con *C. stipulata*; sin embargo, la especie más importante de todas es *Carica papaya* (Guzman, 1998).

La papaya es una planta herbácea arborescente, de rápido crecimiento, cuyo tallo es recto y cilíndrico que puede alcanzar en la madurez alturas de 10 m. Generalmente es un tallo único; sin embargo, ramifica cuando se elimina el punto apical o cuando las plantas llegan a la vejez. El fruto puede ser ovalado, redondo o a veces piriforme. Mide de 15 a 50 cm de largo y de 10 a 20 cm de ancho; puede pesar hasta 9 kg. La piel es cerosa y delgada pero bastante firme. Cuando la fruta se encuentra sin madurar es verde y a medida que madura se torna de color amarillo a anaranjado externamente, la carne es aromática, dulce y succulenta. Adheridas a la pared interna por tejidos suaves, blancos y fibrosos, se encuentran normalmente las semillas, que son pequeñas, negras, corrugadas y de un diámetro de aproximadamente 5 mm. Cada semilla está cubierta con un arilo transparente y gelatinoso (Morton, 1987).

El fruto de la papaya produce un látex lechoso que emana del tejido con facilidad cuando se le provoca un corte. Esta sustancia contiene papaínas que son enzimas proteolíticas, las cuales se han utilizado a nivel industrial como ablandadores de carnes, en la clarificación de cerveza y curtiembre de pieles; además en la elaboración de goma de mascar, cosméticos y finalmente como remedio casero para aliviar afecciones digestivas, artritis, asma, diarreas y úlceras entre otras aplicaciones. Estas propiedades hicieron que en un principio se le conociera internacionalmente como fruta medicinal más que como fruta nutritiva (Guzmán, 1998).

Normalmente se consume el fruto fresco y maduro debido a que su contenido de azúcares, 10 % en promedio de acuerdo con Guzmán (1998), le da un sabor agradable. También puede prepararse en refrescos licuados o jugos y con cierto grado de procesamiento es posible obtener fruta confitada y cristalizada, encurtidos, vinagres, jaleas, pastas y trozos en almíbar.

La papaya verde es un ingrediente importante de algunas comidas asiáticas. Por ejemplo, un conocido platillo vietnamita se compone de verduras con camarones secos envueltos en papel de arroz y papaya verde rallada (Sietsema, 2003). También, la papaya verde se consume normalmente en algunas otras regiones, como en Centro América (en Costa Rica y Nicaragua) donde es común la preparación de picadillos en los que se trata este fruto como a una hortaliza

cocinada con especias. Además es conocido un “ceviche” de papaya verde en limón como plato de entrada.

### *3.4.2 Origen y distribución*

A pesar de que es desconocida el área exacta de origen de la papaya, se cree que es nativa de la América tropical: en el sur de México y en América Central. Según Guzmán (1998), el cultivo se había expandido por gran parte de América del Sur y por todo el Caribe antes de la conquista; la fruta era llamada de muchas maneras por las diferentes culturas: chichivalrochitl, sarumaxi en lengua rabona, wati-oje en coreguaje, kwar-kwat en lengua cuna. Posterior a la conquista, la papaya fue llevada fuera del continente por los españoles hasta el Archipiélago Canario y Filipinas.

En Brasil se expandió después de la llegada de los portugueses y aparentemente ellos introdujeron la papaya al archipiélago indio, en donde se le conoció por el nombre de "ababi", vocablo derivado del lenguaje caribeño. Posteriormente pasó a Hawái, donde el cultivo ha llegado a tomar mucha importancia así como en California, Florida, Australia, África del Sur y Kenia.

### *3.4.3 Mercado y producción mundial*

La producción mundial de papaya, de acuerdo con los datos publicados por FAO (2007), alcanzó un volumen total de 5,4 millones de tm del cual Brasil produce cerca del 27 %, le sigue Nigeria con un 14% del total producido e India con 12%. Los datos para Costa Rica registrados por FAO son de 750 ha y 35 200 tm anuales con un rendimiento de 47 tm/ha, uno de los más altos del mundo. Brasil y México presentan rendimientos de 36 y 34 tm/ha respectivamente (CNP, 2004).

América Latina tiene una alta participación en el mercado mundial dentro del grupo de las cuatro frutas tropicales más importantes: mango, piña, papaya y aguacate. Estos productos representan en promedio un 75 % del total de la producción de frutas tropicales y, aproximadamente, el 90 % de las exportaciones de producto fresco (FAO, 2007).

#### 3.4.4 Cultivo en Costa Rica

En Costa Rica se conocen básicamente el cultivar "Solo" también conocido popularmente como "Hawaiiana" por su procedencia; además los cultivares "Lucía" y "Maradol" importados de Colombia y Cuba hace algunos años, por lo que ahora se encuentran muy mezclados con los cultivares "Criollos". Actualmente el 90 a 95 % de la producción proviene del cultivar "Lucía", preferido por los productores debido a su forma, textura de la piel (cerosa y brillante) y resistencia al transporte; sin embargo no es el más productivo y alcanza como máximo 11 °Brix, mientras que el cultivar Maradol (resultado de cruces con los criollos) puede llegar a los 13 °Brix. Por último, el cultivar "Criollo" también presenta altos grados Brix, pero es raro encontrarlo ahora en las plantaciones nacionales.

Las zonas de San Carlos, Pococí, Guácimo, Parrita y el cantón central de Puntarenas se destacan por la producción de esta fruta, inclusive sobre regiones que a pesar de contar con condiciones climáticas favorables tienen una producción marginal debido a otros problemas y factores (Guzmán, 1998).

En Costa Rica, el consumo *per cápita* de papaya es de tan solo 15,08 kg, por debajo de otras frutas como banano, piña, sandía, naranja y manzana. Ese bajo nivel de consumo se debe básicamente a la pobre calidad organoléptica de las variedades cultivadas a pesar de su buena apariencia externa y larga vida poscosecha (Mora y Bogantes, 2004). Para promover el consumo de esta fruta en Costa Rica, Mora y Bogantes (2004) realizaron cruzamientos entre las variedades locales y la variedad "Sunset" proveniente de Hawaii, con el fin de introducir las características de buen sabor a los genotipos nacionales. Luego de dos generaciones de selección y autofecundación se cuenta con algunas líneas estables que han sido evaluadas positivamente.

A pesar de poseer una fruta mediana (1,3 kg), el híbrido "Pococí" resulta ser muy productivo debido a su alto número de frutas por planta, lo cual lo confirma como una variedad atractiva para el productor desde el punto de vista económico (Mora y Bogantes, 2004).

#### 3.4.5 Valor nutricional

La papaya es reconocida como una buena fuente de hierro y de calcio, contiene vitaminas A, B y E, además de ser excelente fuente de vitamina C (ácido ascórbico). El cuadro 3.2 muestra los niveles mínimo y máximo de sus

constituyentes, valores obtenidos de resultados de análisis de variedades criollas de Centro América y de Cuba, en su estado de madurez de consumo habitual.

Cuadro 3.2 Valor nutricional por 100 g de porción comestible de papaya madura.  
Fuente: Morton (1987).

COMPONENTE	CONTENIDO
Calorías	23,1 – 25,8
Humedad	85,9 – 92,6 g
Proteína	0,081 – 0,34 g
Grasa	0,05 – 0,96 g
Carbohidratos	6,17 – 6,75 g
Fibra cruda	0,5 – 1,3 g
Cenizas	0,31 – 0,66 g
Calcio	12,9 – 40,8 mg
Fósforo	5,3 – 22,0 mg
Hierro	0,25 – 0,78 mg
Carotenoides	0,0045 – 0,676 mg
Tiamina	0,021 – 0,036 mg
Riboflavina	0,024 – 0,058 mg
Niacina	0,227 – 0,555 mg
Ácido ascórbico	35,5 – 71,3 mg
Triptófano	4 - 5 mg
Metionina	1 mg
Lisina	15 – 16 mg

#### 3.4.5 Modificaciones en los constituyentes de la papaya verde durante su maduración.

La papaya verde contiene altas cantidades de ácido galacturónico y de monosacáridos no glucosídicos formando parte de la celulosa y proporcionándole firmeza al fruto. Durante la maduración el contenido de estos compuestos decrece y el reblandecimiento de la textura obedece a asociaciones entre los polisacáridos de la pared celular y los de las fases microfibrilares (Manrique y Lajolo, 2004).

De acuerdo con Gómez *et al.* (2002), la papaya, que es un fruto climatérico, desarrolla cambios en su textura, color, contenido de ácidos orgánicos y de compuestos volátiles durante la maduración post-cosecha, concomitantemente al periodo del climaterio. Se desconocen hasta el momento los cambios de los

azúcares y el desarrollo del dulzor después de la cosecha de la papaya, siendo sin embargo el sabor dulce un importante índice de calidad de esta fruta.

Lazan *et al.* (2004) investigaron la bioquímica del efecto del almacenamiento en atmósferas controladas sobre la pérdida de firmeza en la papaya y determinaron que esta se debe al rápido aumento de la actividad de la poligalacturonasa, pectinmetilesterasa y  $\beta$ -galactosidasa, así como a la depolimerización de las pectinas de la pared celular. El almacenamiento a temperaturas moderadas (25 °C) en empaques con atmósferas modificadas, atrasó el reblandecimiento de la fruta.

El látex de la planta de la papaya y de su fruto verde contiene dos enzimas proteolíticas, la papaína y la quimopapaína. La papaína tiene un mayor poder proteolítico que la segunda y por esta razón se ha comercializado como suavizante de carnes (Morton, 1987).

### **3.5 La maracuyá y la mora como frutas con propiedades antioxidantes**

El efecto protector a la salud que se asocia al consumo de frutas (contra enfermedades degenerativas y el cáncer), se ha atribuido en parte a la presencia de polifenoles en los tejidos de las plantas. Estos compuestos incluyen una amplia variedad de derivados como los fenoles simples, flavonoides, taninos, fenilpropanoles, lignanos y ligninas; los que actúan como antioxidantes, antibióticos y pesticidas naturales (Shahidi y Naczk, 2004).

Es así como las propiedades de diferentes frutas y vegetales se asocian con la presencia, el tipo y el contenido de sus compuestos fenólicos. Las moras (*Rubus* spp.) constituyen una fuente importante de polifenoles y se han estudiado por sus efectos beneficiosos para la salud tales como la protección contra diversos tipos de cáncer y de enfermedades cardiovasculares, así como la reducción de la presión arterial y el efecto antiinflamatorio. Su alta capacidad antioxidante, atribuida a su contenido de compuestos fenólicos (que incluyen las antocianinas), sugiere que el consumo de moras puede ser significativo en combatir la lesión de los radicales libres en el organismo (Fan-Chiang y Wrolstad, 2005; Wang y Lin, 2000; Reyes-Carmona *et al.*, 2005).

Las moras son frutas especialmente ricas en antocianinas, flavonoides y ácidos fenólicos; además de contener altas concentraciones de vitaminas y minerales. De acuerdo con Wang y Lin (2000) así como con Fan-Chiang y Wrolstad (2005)

las moras son efectivas inhibiendo la oxidación de lipoproteínas de baja densidad presentes en el cuerpo humano además de la agregación plaquetaria, lo cual podría tener efectos positivos para la salud. Complementar la alimentación con moras, de forma que aporten de 180-215 mg/día de antocianinas a una dieta balanceada, podría resultar una forma más efectiva y económica que el consumo individual de un antioxidante (ácido ascórbico, vitamina A o E) para proteger el organismo contra los daños del estrés oxidativo.

La maracuyá, *Passiflora*, de la familia Passifloraceae, (*Passiflora edulis*, *Passiflora flavicarpa*) es otra fruta que se ha estudiado por sus amplios efectos protectores a la salud, dado su contenido de alcaloides, compuestos cianogénicos y glicosil flavonoides. Se ha encontrado eugenol (920 mg/Kg) en el jugo y en la cáscara (1720 mg/kg) y metil salicilato abundantemente en el jugo (Shahidi y Naczk, 2004). Además se han caracterizado varios glicósidos fenólicos en sus compuestos volátiles, tales como D-glucopiranosidos y en la pulpa y corteza ciertas antocianinas.

El género *Passiflora* comprende varias especies que son originarias a las áreas tropicales y semi-tropicales del norte, centro y sur América. La fruta de la planta de la flor de la pasión (como se le llama popularmente) es la maracuyá que adopta coloraciones rojizas (*P. edulis*), doradas-amarillas (*P. edulis*, *P. flavicarpa*) y moradas (MAG, 2001; Morton, 1987). La pulpa de la maracuyá perteneciente a la familia flavicarpa, que contiene pequeñas semillas negras, es de color amarillo mostaza intenso y se utiliza para la fabricación de pulpas y jugos que son apreciados por su textura y sabor característico.

La actividad farmacológica de los componentes de la maracuyá se ha reportado y es conocido el uso etno-botánico de algunas especies del género *Passiflora* (Bendini, 2006). Los miembros de este género contienen considerables cantidades de maltol, flavonoides y alcaloides, por lo que resultan interesantes para la investigación y su aplicación en la elaboración de productos nutracéuticos.

### **3.6 La superficie de respuestas como metodología estadística de diseño de experimentos**

La optimización de las cualidades de un producto es el objetivo primordial durante su desarrollo y la metodología de superficie de respuestas (MSR o RSM por sus siglas en inglés) se ha utilizado satisfactoriamente para lograrlo (Giovanni, 1983).

La MSR es un conjunto de técnicas matemáticas y estadísticas útiles para modelar y analizar problemas en los cuales una respuesta de interés es influida por varias variables, y el objetivo es optimizar esta respuesta (Montgomery, 1991).

Básicamente la MSR es un proceso de cuatro pasos. El primero es la identificación de dos o tres factores críticos que son relevantes para el producto o el proceso en estudio. A continuación se definen los niveles de los factores que determinarán las muestras a ser analizadas. Como tercer paso, las muestras que serán analizadas se definen por medio del diseño experimental y, por último, los resultados obtenidos son analizados e interpretados (Giovanni, 1983).

De acuerdo con Giovanni (1983), la aplicación de la metodología de superficies de respuesta permite determinar:

- Cuál de las variables seleccionadas afecta la respuesta.
- Las interrelaciones entre las variables de la prueba.
- El efecto combinado de las variables sobre la respuesta.

En la mayoría de los problemas de la MSR, la forma de la relación entre la respuesta y las variables independientes se desconoce. Por lo general se emplea un polinomio de orden bajo sobre alguna región de las variables independientes. Si la respuesta es descrita adecuadamente por una función lineal de las variables independientes, la función de aproximación es el modelo de primer orden (Gacula y Singh, 1984):

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + a_2 x_2 + \dots + a_n x_n + \varepsilon$$

El modelo de segundo orden es la regresión cuadrática:

$$Y = a_0 + a_1 x_1 + \dots + a_n x_n + a_{11} x_1^2 + \dots + a_{nn} x_n^2 + a_{12} x_1 x_2 + \dots + a_{n-1,n} x_{n-1} x_n + \varepsilon$$

Los parámetros de estas ecuaciones normalmente no son conocidas, por lo que deben ser estimadas de los resultados experimentales. Los significados físicos de los parámetros son:

$a_0$  = intercepto

$a_1$  = efecto lineal de  $x_1$

$a_{11}$  = efecto cuadrático de  $x_1$

$a_{12}$  = efecto de la interacción de  $x_1$  y  $x_2$

## CAPÍTULO 4. METODOLOGÍA

### 4.1 Localización del proyecto

El estudio se realizó en la Planta Piloto y en el Laboratorio de Química del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA), así como en el Laboratorio de Química y el Laboratorio de Análisis Sensorial de la Escuela de Tecnología de Alimentos de la Universidad de Costa Rica.

### 4.2 Características de la materia prima

**Papaya verde:** Se utilizó papaya verde (*Carica papaya*) de la variedad criolla cosechada en la zona de Guácimo, provincia de Limón.

**Aceite:** Se empleó oleína de palma, marca D'Orofrit 5 ® (Numar), que es la fracción líquida proveniente del proceso de fraccionamiento del aceite de palma refinado físicamente, a la cual se le adiciona un inhibidor de cristalización. Las especificaciones técnicas del aceite son las siguientes (Grupo Numar, 2005 b):

Cuadro 4.1 Especificaciones técnicas del aceite D'Orofrit 5 ®.

Humedad (%)	0,1 máx.
Acidos grasos libres como oleico (%)	0,055 máx.
Punto de humo (°C)	275
Punto de nube (°C)	9,0 máx.
Punto de combustión (°C)	365
Punto de ignición (°C)	330
Contenido de antioxidante TBHQ (mg/L)	200 máx.
Índice de yodo (cg/g)	56,00 min.
Índice de peróxidos (meq/kg)	2,0 máx.

**Pulpas de frutas:** Se utilizó una base de pulpa de la fruta fresca (mora *Rubus spp.* y maracuyá *Pasiflora edulis*) tamizada para evitar partículas sólidas insolubles y sin adición de azúcar ni aditivos, elaborada por la empresa Pulpas del Zurquí.

### **4.3 Proceso de producción de las hojuelas**

La elaboración del producto se llevó a cabo de acuerdo al flujo de proceso que se muestra en la Figura 4.1.

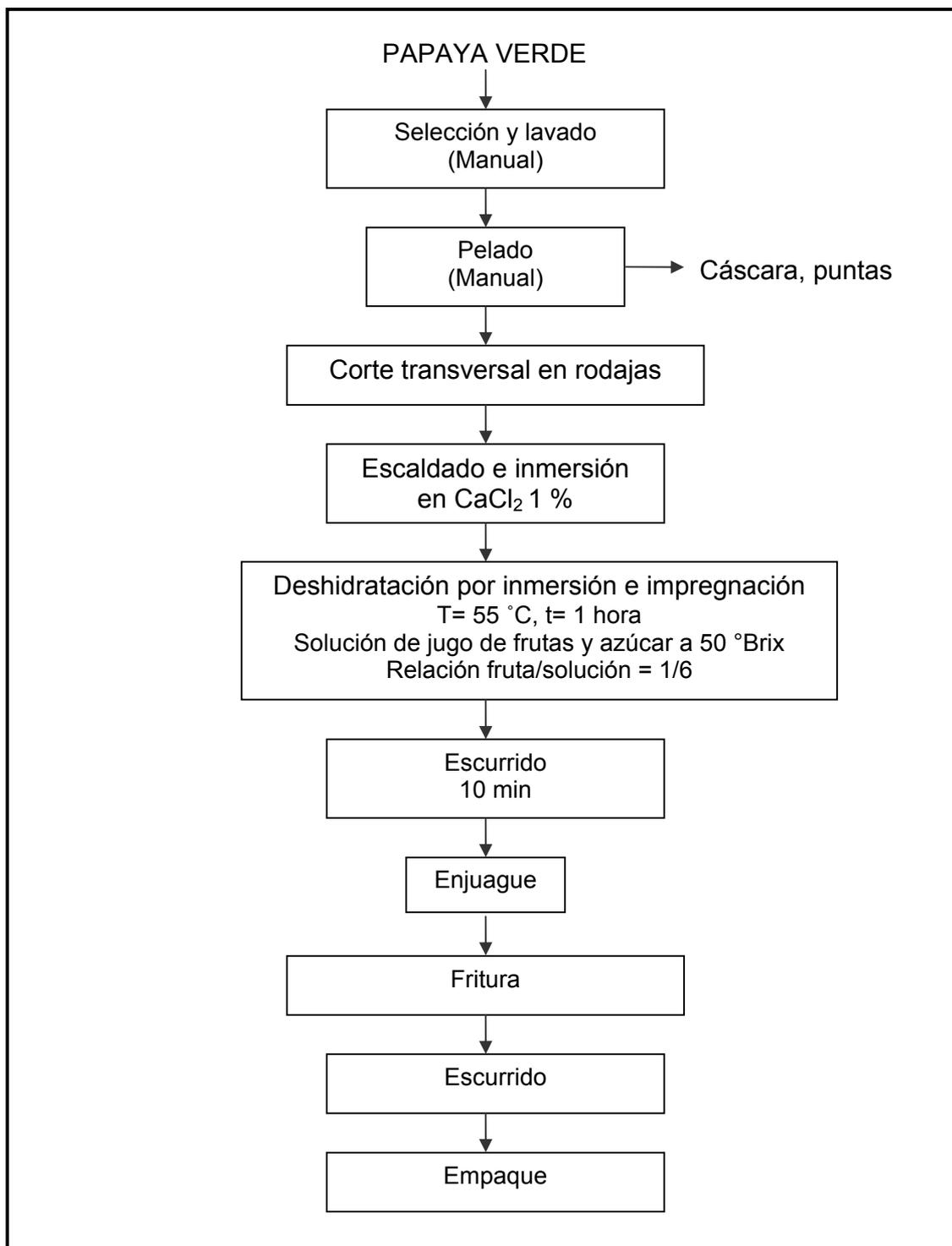


Figura 4.1 Diagrama para la elaboración de rodajas crujientes de papaya verde.

Las etapas del proceso se detallan a continuación:

### 1) Selección y lavado

Se seleccionó la papaya de tamaño y forma uniforme, con un grado de madurez definido mediante pruebas preliminares. Se lavó manualmente con agua potable para eliminar tierra y otros contaminantes superficiales.

### 2) Pelado

El pelado se realizó con cuchillo y de forma manual. Se eliminaron las puntas de la papaya y las semillas.

### 3) Corte

El corte transversal de la fruta pelada se llevó a cabo con una troceadora manual, marca Chefmate (figura 4.2), que permite variar el espesor deseado de las rodajas. Por medio de pruebas preliminares se estableció el espesor.



Figura 4.2 Corte transversal de las rodajas de papaya

### 4) Escaldado e inmersión en cloruro de calcio

Las rodajas de papaya se escaldaron con agua hirviendo. Se hicieron ensayos del tiempo de escaldado y de inmersión en cloruro de calcio (grado alimentario, marca CASO, Solvay) a diferentes concentraciones.

## 5) Deshidratación osmótica

La revisión de los diversos estudios de deshidratación osmótica para papaya y otras frutas sirvió como base para establecer los parámetros del proceso osmótico del presente estudio, siendo éstos una relación fruta:solución de 1:6, una temperatura de 55 °C y una concentración de sólidos solubles de 50 °Brix en la solución de deshidratación, elaborada a base de jugo de fruta y sacarosa. El tiempo del tratamiento osmótico fue de 60 min.

Se utilizó la pulpa de dos frutas, que imparten un sabor y color agradable a la papaya verde, a partir de las cuales se preparó la solución osmótica adaptando la concentración de soluto mediante la adición de sacarosa. Los tipos de frutas fueron escogidos por medio de los ensayos preliminares del estudio (sección 4.4.1).

La sacarosa cristalizada (calidad comercial) se disolvió en el jugo de las frutas en un Erlenmeyer de 4 L, con ayuda de una plantilla termo agitadora, marca Corning, como se muestra en la figura 4.3, hasta alcanzar una concentración de 50 °Brix. Cuando la sacarosa disuelta alcanzó los 55 °C se introdujeron las rodajas de papaya verde, manteniendo una agitación constante de la solución, por medio de un magneto giratorio, por 1 h a una velocidad de 40 rpm.



Figura 4.3 Deshidratación por inmersión e impregnación de la papaya verde, con una solución a base de jugos de frutas y sacarosa.

#### 6) Escurrido

Inmediatamente finalizado el proceso osmótico se escurrieron las rodajas de papaya con ayuda de un colador por 10 min.

#### 7) Enjuague

Las rodajas se lavaron con agua fría por dos minutos para eliminar el remanente de sacarosa en la superficie de las mismas.

#### 8) Fritura

Fritura a presión atmosférica:

La fritura de la fruta se llevó a cabo en una freidora de acero inoxidable de 15 L de capacidad, marca Croydon. Este equipo tiene una resistencia en el fondo para el calentamiento del aceite, a la que se le adaptó un termo controlador (PID) para regular la temperatura. Para la agitación del aceite se utilizó un agitador en T (marca Talboys Engineering Corp.) a una velocidad de 40 rpm.

La fruta se introdujo en una canasta de fritura y se sumergió en el aceite. La relación fruta:aceite fue de 1:40 . Inmediatamente después de la fritura, se sacó la fruta de la canasta y se escurrió con papel toalla por 5 minutos.

Fritura hipobárica:

La fritura hipobárica se llevó a cabo en el equipo piloto semi continuo instalado en la planta del CITA (ver figura 4.4).

El sistema proporciona una presión de vacío constante de  $24 \pm 2$  kPa por medio de una bomba de anillo líquido, un condensador de vapor y un banco de hielo. La velocidad de las bandas transportadoras y, consecuentemente, el tiempo de fritura fue controlado ( $\pm 0,02$  min), así como la temperatura ( $\pm 0,4^\circ\text{C}$ ).

La temperatura se controló en el valor establecido por medio de un controlador de temperatura (Omron E5CN) conectado a una resistencia eléctrica de 2140 W. La relación fruta: aceite fue de 1:175 (se cargó el equipo con 17 litros de aceite).

El tiempo de fritura se estableció de acuerdo a la velocidad de la banda transportadora que mantiene inmerso el producto en el aceite por un tiempo determinado. Por medio de una curva de velocidad de la banda contra el tiempo de inmersión (anexo 1) se obtuvo la ecuación siguiente (con coeficiente de correlación  $R^2 = 0,9996$ ), que permitió establecer la velocidad de operación del equipo:

$$Y = 4433,6 x - 0,9867$$

donde:

y: velocidad (rpm)

x: tiempo de inmersión (s)

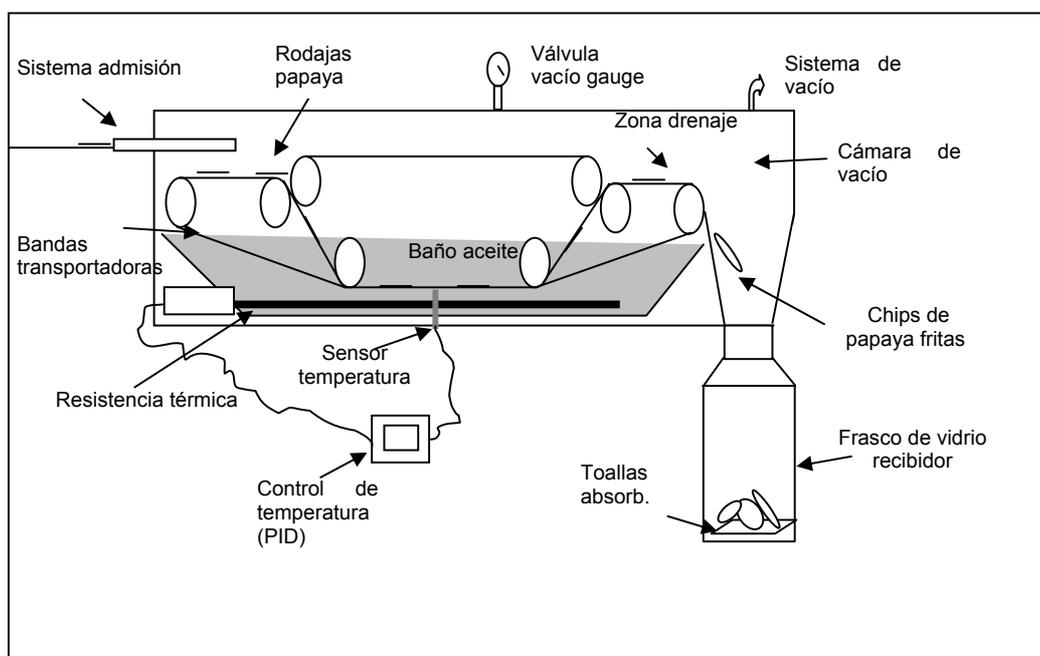


Figura 4.4 Diagrama del freidor semi-continuo al vacío  
(Fuente: Pérez-Tinoco et al. 2008).

El producto frito fue transportado en la banda interna del equipo hasta ser recibido en un frasco hermético con toallas absorbentes, con el fin de eliminar el aceite superficial. Se detuvo el sistema presurizado y se sacaron las muestras para ser empacadas en frascos de vidrio.

9) Empaque:

El producto se empacó en envases herméticos de vidrio con nitrógeno gaseoso, protegidos de la luz por medio de papel de aluminio, para su posterior análisis.

#### **4.4. Metodología experimental**

##### *4.4.1 Pruebas preliminares*

Las siguientes fueron las pruebas preliminares realizadas para establecer las características y condiciones del proceso:

- 1) Grado de madurez de la papaya (verde y semi madura)
- 2) Espesor de las rodajas de papaya (1,5, 2,0 y 2,5 mm)
- 3) Efecto del tipo de solución de deshidratación sobre el color y sabor de la papaya verde deshidratada por inmersión e impregnación. Se evaluó la inmersión en soluciones a base de pulpa de mora y maracuyá, así como de jugos elaborados a partir de concentrado de mango y naranja. Se realizaron además pruebas con jugos elaborados a partir de productos artificiales en polvo. Las diferentes hojuelas deshidratadas osmóticamente y fritas que se obtuvieron fueron evaluadas mediante un panel informal, con 10 consumidores, para determinar su preferencia. A partir de los resultados se decidió utilizar pulpas de mora, que aportan antocianinas y de maracuyá, como fuente de carotenoides.
- 4) Pretratamiento a la papaya: escaldado con agua y escaldado con una solución de  $\text{CaCl}_2$  al 1%. El tiempo de escaldado fue de 5 min a temperatura de ebullición.
- 5) Adaptación del sistema de registro de sonido al texturómetro.

##### *4.4.2 Diseño experimental para la optimización del proceso de fritura para la obtención de "chips" de papaya verde.*

Se utilizó la metodología estadística de superficie de respuestas, que permite determinar una zona óptima de respuesta de una variable considerando simultáneamente todas las variables que se reconocen como influyentes en un proceso determinado (Montgomery, 1991).

Se propuso para el presente estudio un diseño central compuesto, rotatable y de precisión uniforme, descrito por la ecuación de segundo orden (Gacula y Singh, 1984):

$$Y = a_0 + a_{T^\circ} T^\circ + a_t t + a_{T^\circ T^\circ} T^{\circ 2} + a_{tt} t^2 + a_{T^\circ t} T^\circ t$$

donde  $a_k$  son las constantes de regresión del modelo, Y representa el valor de cada atributo de calidad medido, y  $T^\circ$  y  $t$  son los factores codificados del diseño ( $-\sqrt{2}, -1, 0, +1, +\sqrt{2}$ ).

El número de puntos del diseño se calcula con la siguiente ecuación:

$$2n + 2^n + nc$$

donde:

n: número de factores

nc: número de repeticiones del punto central

Dado que se estudiaron dos factores (tiempo y temperatura de fritura) y que el número de repeticiones del punto central fue de cuatro, para garantizar la precisión uniforme (Montgomery, 1991), el número de puntos experimentales en total para cada diseño fue de doce. Estos puntos se sitúan dentro de una esfera inscrita en el dominio experimental que tiene un radio  $\alpha$  y que lo constituyen los puntos centrales, axiales y factoriales, como se observa esquematizado en la figura 4.5.

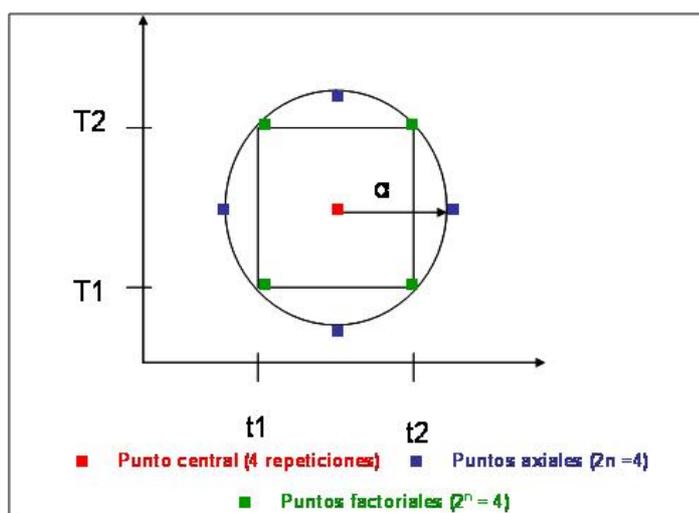


Figura 4.5 Determinación del campo experimental del estudio.

El valor de  $\alpha$  se calcula de acuerdo a la siguiente relación (Gacula y Singh, 1984):

$$\alpha = (2n)^{1/4}$$

Para la realización del presente estudio, que contempla los dos factores mencionados, se utilizó un radio  $\alpha$  de  $\sqrt{2}$  (1,4142), por tanto los puntos axiales correspondieron a -1,4142 para el nivel mínimo de los factores experimentales, 0 para el nivel central y +1,4142 para el nivel máximo (cuadros 4.2 y 4.3).

Por medio de ensayos preliminares, se eligieron los puntos máximos y mínimos de cada variable independiente de la fritura hipobárica y a presión atmosférica, para luego determinar los valores del dominio de las experiencias y definir las matrices que se observan en los cuadros 4.2 y 4.3. El orden de estas experiencias fue aleatorio en lotes de al menos 25 g de hojuelas (6 a 8 hojuelas) con los que se llevó a cabo los análisis fisicoquímicos (cada uno por duplicado y la dureza por cinco). Se obtuvo el promedio de cada medición, el cual corresponde a la respuesta de cada atributo de calidad de las hojuelas.

Las variables respuesta, o dependientes, medidas para cada punto experimental y que determinaron la calidad del producto son las siguientes:

- 1) Humedad
- 2) Actividad de agua ( $A_w$ )
- 3) Color Hunter
- 4) Porcentaje de grasa b.s.
- 5) Dureza instrumental (N)
- 6) Aceptación sensorial

El cálculo del coeficiente de determinación  $R^2$ , o porcentaje de variabilidad explicado, permite evaluar la adecuación global del modelo matemático de los valores experimentales de una respuesta determinada. Para efectos del presente estudio se consideró que existe una adecuación del modelo si el coeficiente de determinación,  $R^2$ , es superior a 0,75 (Henika, 1982) y la probabilidad de la falta de ajuste es superior a 10 % (Thompson, 1982).

Cuadro 4.2 Valores de las variables del diseño experimental de la fritura hipobárica.

Puntos experimentales	Valores codificados	Temperatura de fritura (°C)	Tiempo de fritura (min)
1	(+1,41; 0)	127	6
2	(-1,41; 0)	110	6
3	(0; -1,41)	119	4,6
4	0; 0	119	6
5	(+1; -1)	125	5
6	0; 0	119	6
7	(-1; -1)	113	5
8	0; 0	119	6
9	(0; +1,41)	119	7,4
10	0; 0	119	6
11	(-1; +1)	113	7
12	(+1; +1)	125	7

Cuadro 4.3 Valores de las variables del diseño experimental de la fritura a presión atmosférica.

Puntos experimentales	Valores codificados	Temperatura de fritura (°C)	Tiempo de fritura (min)
1	0; 0	140	4,5
2	(-1,41; 0)	125,9	4,5
3	0; 0	140	4,5
4	(+1; -1)	150	3
5	0; 0	140	4,5
6	(0; +1,41)	140	6,6
7	(0; -1,41)	140	2,4
8	(-1; -1)	130	3
9	(+1,41; 0)	154,1	4,5
10	(-1; +1)	130	6
11	(+1; +1)	150	6
12	0; 0	140	4,5

#### 4.4.3. Análisis químicos del producto obtenido

##### 4.4.3. a. Porcentaje de grasa:

Se determinó la grasa cruda por extracto etéreo (AOAC, 1990). El método consiste en la extracción del material seco con un solvente tal como el éter de petróleo o el éter etílico en un aparato de extracción, en este caso el equipo continuo Soxhlet. Con este método solo se puede determinar el contenido en lípidos “libres” ya que los componentes lipídicos “combinados” se extraen únicamente con solventes más polares (alcohol) o luego de una hidrólisis ácida que los convierte en libres.

##### 4.4.3. b Porcentaje de humedad:

Se utilizó el método 934.06 descrito por la AOAC (1990). Este método consiste en secar en una estufa a vacío (presión de vacío de 20 plg Hg) una masa conocida de la muestra, hasta alcanzar peso constante y medir la pérdida de masa por evaporación del agua. Se utilizaron las condiciones de secado establecidas para frutas deshidratadas, es decir 5-10 g de la muestra secada a 69-71 °C por 6 h, hasta peso constante.

##### 4.4.3. c Actividad de agua (Aw):

Se midió la actividad del agua por medio del equipo Aqua Lab modelo CX-2. Este es calibrado por medio de una sal saturada con el valor de Aw más cercano al que se espera obtener con las muestras.

##### 4.4.3. d. Color:

El color se determinó con un colorímetro Hunter Lab, modelo DP-9000, y se expresó por medio del sistema CIE Lab (Hunter, 1992). Este sistema funciona dando tres valores numéricos que corresponden a un color determinado, donde:

L\* representa la luminosidad de la muestra, siendo 100 el color blanco y 0 el negro.

a\* indica la porción cromática desde a: color rojo hasta -a: color verde

b\* indica la porción cromática desde b: color amarillo hasta -b: color azul

Desde el plano de unidades cromáticas L\* a\* b\* se derivan funciones matemáticas para expresar la pureza (C\* o Chroma) y el ángulo de tono (H\* o Hue) con las siguientes ecuaciones (Hunter, 1992):

Pureza:  $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$

Angulo de tono:  $h a^* b^* = \text{arc tan } (b^*/a^*)$

Las muestras molidas y homogenizadas se analizaron por triplicado en cápsulas de vidrio, donde se obtienen los valores de  $L^*$   $a^*$   $b^*$  que permiten estimar los valores de pureza y ángulo de tono.

#### 4.4.3.e. Aceptación sensorial:

Las muestras obtenidas del diseño experimental fueron evaluadas sensorialmente por 86 consumidores, para determinar su aceptación. Los consumidores se escogieron de acuerdo a su gusto por el consumo de frutas y productos relacionados, tratando de que el número de ellos estuviera balanceado entre mujeres y hombres.

Se utilizó una escala de nivel de agrado general de 15 puntos separados por un centímetro cada uno, en la que el 0 corresponde a “me disgusta muchísimo” y el 15 “me gusta muchísimo”, como se muestra en la figura 4.6. Las muestras se presentaron en forma aleatoria a cada uno de los consumidores y fueron identificadas por una numeración de tres dígitos. El consumidor debió trazar una línea vertical en el punto de la escala donde consideró que se encontró su aceptación.



Figura 4.6 Escala de nivel de aceptación sensorial.

La medición del nivel de aceptación para cada muestra se llevó a cabo con una regla lineal dividida en mm. El resultado fue evaluado por medio del paquete estadístico SAS para Windows v 9.1 (Instituto SAS, Cary, NC, USA) y se determinó la presencia de “clusters” o conglomerados de consumidores con

diferentes patrones de preferencia del producto, como lo describen Stone y Sidel (2004).

Adicionalmente se les solicitó a los consumidores llenar una encuesta que permitió obtener información acerca de su disposición hacia el consumo de hojuelas fritas de frutas (anexo 7).

#### 4.4.3f. Dureza:

El análisis instrumental se hizo por medio de un texturómetro modelo TA.XT Plus (Stable Micro Systems, Ltd, Godalming, UK). Se utilizó el programa diseñado para la evaluación de crujencia en dicho texturómetro con una sonda cilíndrica (6,3 mm diámetro, código P/O 25S) y un soporte especialmente adaptado para productos tipo "chips". Los resultados obtenidos con este equipo son de fuerza máxima para quebrar el producto (anexo 6).

#### 4.4.4 *Análisis de resultados*

*Análisis de los efectos de las variables independientes de temperatura (T) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas:*

Los resultados fueron analizados mediante el programa estadístico JMP ® 5.1 (Instituto SAS, Inc., NC, USA) y se generaron las superficies de respuesta con el programa graficador Sigma Plot (v.10.0; Systat software, Germany).

*Análisis de Componentes Principales (PCA):*

El análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) es una técnica empleada en la evaluación sensorial de alimentos para simplificar y/o describir las interrelaciones entre variables múltiples dependientes y entre muestras. El PCA transforma las variables dependientes originales en dimensiones no correlacionadas, lo cual permite simplificar tanto los datos como su interpretación (Lawless y Heymann, 1999; Stone y Sidel, 2004).

Los componentes principales se obtienen por medio de la combinación lineal de las variables dependientes que maximizan la varianza de los datos, por lo tanto el

primer componente principal debe explicar la mayor variabilidad de los mismos (Lawless y Heymann, 1999).

El PCA se puede representar gráficamente donde cada eje de las coordenadas  $x$  y  $y$  corresponde a un componente principal, los vectores constituyen las variables y los puntos las muestras. Los vectores alineados a cada eje, así como su longitud, son los que permiten explicar cada componente (Lawless y Heymann, 1999).

Por medio de este análisis se graficó la relación existente entre los resultados físicos, químicos y sensoriales. Se comparó la aceptación sensorial con los resultados de los análisis llevados a cabo y así fue posible identificar los atributos de calidad más influyentes en la decisión sensorial de los consumidores.

#### *4.4.5 Correlación de dos metodologías de análisis de la crujencia: instrumental y acústica.*

Se evaluó la crujencia de los “chips” de papaya verde de acuerdo a cada una de las dos metodologías, efectuando cinco repeticiones de cada medición y se determinó estadísticamente su correlación.

El análisis instrumental se llevó a cabo por medio de un texturómetro TA.XT Plus, de Micro Systems, cuyo método se describió en el apartado 4.4.3.f. Para grabar el sonido que se produce al romperse el producto, se adaptó un micrófono al texturómetro. El sonido fue grabado por medio del programa Cool Edit Pro 2.0, instalado en la computadora del sistema de registro y análisis de datos del texturómetro.

El pico de sonido máximo (medido en su sección superior e inferior de la banda) obtenido para cada muestra del estudio, se cuantificó en intensidad (decibeles) y se correlacionó con la dureza (N) (SAS System). Además se determinó el número de picos en cada banda de sonido de las muestras de maracuyá, únicamente, y se efectuó un análisis de regresión por medio del mismo paquete estadístico.

Preliminarmente y con el objeto de implementar la metodología se analizó la textura y la acústica de diferentes productos crujientes (de crujencia seca) tales como: hojuelas de plátano y de papas, *snacks* de maíz, biscochos y pan tostado.

## CAPÍTULO 5. RESULTADOS Y DISCUSION

### 5.1 Pruebas preliminares

#### 5.1.1 Selección de los tratamientos de la papaya verde previos al proceso de deshidratación osmótica.

Con el fin de lograr la mayor crujencia posible en el producto final, fue necesario determinar el requerimiento de un tratamiento previo de la papaya. Se probó el escaldado ( $T=98\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t=5\text{ min}$ ) con agua y con una solución de  $\text{CaCl}_2$  al 1 %.

Además se debió escoger el grado de madurez de la fruta, entre verde (100% sin madurar) y semi madura con los extremos amarillos. Los resultados se muestran en el cuadro 5.1.1, donde se describe la crujencia mediante una prueba informal (10 consumidores) con una escala de 1 a 5 (1 es no crujiente, 5 es muy crujiente).

Cuadro 5.1.1 Efecto del grado de madurez de la papaya y de su pretratamiento sobre la crujencia del producto frito (presión atmosférica).

GRADO DE MADUREZ DE LA PAPAYA	PRETRATAMIENTO	CRUJENCIA
Semi-madura	Sin pretratamiento	1
Verde	Sin pretratamiento	3
Semi-madura	Escaldado	1
Verde	Escaldado	4
Semi-madura	Escaldado en solución de $\text{CaCl}_2$	2
Verde	Escaldado en solución de $\text{CaCl}_2$	5

El producto que obtuvo mejor resultado de acuerdo con la crujencia fue el que se produjo a partir de papaya completamente verde que fue escaldada en agua en ebullición con adición de  $\text{CaCl}_2$  al 1%, por 5 min.

#### *5.1.2 Selección de los jugos de impregnación de la papaya verde durante la deshidratación osmótica.*

Se decidió utilizar pulpa de mora y de maracuyá para dar sabor y color al producto, después de llevar a cabo una serie de pruebas con diversos tipos de materias primas (cuadro 5.1.2). Para la deshidratación osmótica se usó una solución azucarada elaborada con el jugo y se aplicó fritura a presión atmosférica.

A partir de los resultados preliminares se determinó que la papaya verde es una matriz que permite su impregnación con jugo de mora y de maracuyá, presentando el producto final el sabor, aroma y color de estas frutas. Esto concuerda con los resultados obtenidos por Alzamora *et al.* (2005) en su estudio con matrices vegetales impregnadas con compuestos biológicamente activos. Ellos concluyeron que las técnicas de impregnación al vacío o a presión atmosférica son factibles para producir alimentos funcionales a partir de tejidos vegetales de frutas.

Al evaluar el sabor y del color resultó unánime la escogencia por las pulpas naturales de mora y de maracuyá. En el caso del producto obtenido a partir de jugo de naranja y de mango, el color y sabor no fueron suficientemente intensos. Los jugos artificiales fueron juzgados como sabor indefinido y color "muy artificial".

Cuadro 5.1.2 Efecto del tipo de jugo de fruta utilizado durante la deshidratación osmótica, sobre el color y el sabor de las hojuelas fritas de papaya.

<b>TIPO DE JUGO</b>	<b>SABOR DEL PRODUCTO</b>	<b>COLOR DEL PRODUCTO</b>
Naranja de concentrado (marca Dos Pinos)	Leve a naranja	Leve amarillo
Mango de concentrado (marca Jumex)	Leve a mango	Amarillo
Artificial de maracuyá (marca Zuko)	Artificial indefinido	Intenso amarillo
Artificial de mora (marca Zuko)	Artificial a mora	Intenso morado
Pulpa de mora sin azúcar (Pulpas del Zurquí)	Mora	Intenso morado
Pulpa de maracuyá sin azúcar (Pulpas del Zurquí)	Maracuyá	Intenso amarillo

## **5.2 Optimización de la fritura acoplada a la deshidratación osmótica para la obtención de hojuelas a partir de una base natural pectocelulósica y jugo pulposo de mora.**

### *5.2.1 Resumen*

Se optimizó la producción de "chips" u hojuelas a partir de una base natural pectocelulósica constituida por papaya verde. El proceso de fritura a presión hipobárica a 24 kPa, o a presión atmosférica, se acopló a una etapa previa de deshidratación osmótica. Se empleó una solución de deshidratación elaborada a partir de jugo pulposo de mora (*Rubus spp.*) para impregnar la papaya con los atributos sensoriales y nutricionales propios de esta fruta.

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta, en la que las variables independientes fueron la temperatura (126-154 °C para fritura a presión atmosférica y 110-127 °C para fritura hipobárica) y el tiempo de fritura (2,4-6,6 min para fritura a presión atmosférica y 4,6-7,4 min para fritura hipobárica). Las variables dependientes fueron la actividad de agua (*Aw*), la humedad, el contenido de grasa, el color, la dureza y la aceptación sensorial. Estas respuestas fueron modeladas utilizando una ecuación polinomial de segundo orden y se trazaron los gráficos de isorespuestas para determinar las zonas óptimas del proceso de fritura.

Con base en el análisis de componentes principales (PCA) se encontró que las características sensoriales más importantes para el consumidor de chips de frutas son el color y la textura, las cuales determinan en gran medida la aceptación del producto. La aceptación general evaluada sensorialmente con 86 consumidores en una escala de 15 puntos fue de 8,1 para el producto elaborado por fritura hipobárica y de 8,4 para los chips producidos mediante fritura a presión atmosférica.

Las condiciones óptimas de proceso para la elaboración de las hojuelas con sabor a mora a presión atmosférica fueron 137,0 °C durante 5 min, mientras que para la fritura hipobárica se obtuvo 118,2 °C por 6,1 min. A estas condiciones, los productos tienen un contenido de grasa inferior a 11 % (b.s).

La papaya verde resultó ser una buena base para la impregnación de jugo de mora, ya que permitió la incorporación a su matriz del color, el sabor y el aroma de éste. Además, el corte transversal de la papaya ofrece una forma de estrella que resultó atractiva en las hojuelas producidas.

No se encontró correlación entre la dureza (medida como la fuerza de penetración de una sonda en el producto) y el sonido emitido al fracturarse las hojuelas.

### 5.2.2 Introducción

La tendencia en los esquemas de alimentación saludable se dirige al consumo balanceado de alimentos en tres comidas principales (desayuno, almuerzo y cena) y dos meriendas al día (Berdanier, 2002; Mela, 2005). Las recomendaciones nutricionales subrayan la necesidad de que estas meriendas sean naturales, con poca grasa y bajas en carbohidratos simples. Se propone normalmente una ración de frutas en cada una de ellas, por sus conocidas propiedades funcionales y nutritivas. Los estilos de vida actuales demandan meriendas que puedan cubrir las necesidades de los esquemas de nutrición y a la vez ser convenientes, es decir de fácil acceso y con una mínima o ninguna preparación doméstica. En este campo han surgido los “snacks” de frutas para sustituir la ración recomendada durante las meriendas y el mercado de estos productos se encuentra en una etapa de pleno auge (Leatherhead Food International, 2006; Food Info Net, 2007).

Un “snack” o merienda se considera como una pequeña comida que contribuye a la ingesta nutricional diaria recomendada (Berdanier, 2002). El total de ventas reportadas para el mercado internacional (países evaluados: Estados Unidos, Alemania, Japón, Francia, Inglaterra, Australia, Italia y España) de “snacks” de frutas en el año 2006 fue de USD 2,34 millones. En Europa se estima un crecimiento exponencial en los últimos años de los “snacks” saludables, siendo actualmente un mercado de USD 1,20 billones, donde un 2% corresponde a productos de frutas orgánicas (Leatherhead Food International, 2006).

Los consumidores demandan cada vez más alimentos procesados que mantengan sus características originales. En términos industriales esto requiere el desarrollo de operaciones que minimicen el efecto adverso del procesamiento; las frutas deben preservar su sabor y aroma natural durante su transformación, deben estar preferiblemente libres de preservantes y su textura debe ser agradable. Actualmente se requiere de nuevas alternativas de procesamiento de las frutas para satisfacer estos requerimientos.

Ante la tendencia en los hábitos de consumo y la disponibilidad que hay en Costa Rica de frutas con propiedades nutraceuticas, se estudió un proceso tecnológico innovador de fritura que emplea presiones al vacío (presiones hipobáricas) por lo que requiere temperaturas de procesamiento menores que las convencionales (Pérez-Tinoco et al., 2008; Granda et al., 2004). La fritura hipobárica ha sido aplicada para la elaboración de “chips” de papas (Garayo y Moreira, 2002; Troncoso et al. 2009); zanahoria (Fan et al. 2005 a,b; Shyu et al. 2005); manzana

(Shyu y Hwang, 2001; Mariscal y Bouchon, 2008); camote, vainicas, mango, papa morada (Da Silva y Moreira, 2008) y piña (Pérez-Tinoco et al. 2008), con una calidad sensorial y nutricional significativamente superior a la de los productos elaborados por un método de fritura tradicional. Además, la fritura al vacío permitió reducir la formación de acrilamida (Granda et al. 2004) en chips de papas, en comparación con un proceso de fritura a presión atmosférica.

Se escogió para la investigación el fruto de la papaya dado que en su estado verde tiene la propiedad de ser un alimento neutro (sin las propiedades sensoriales del estado maduro) y de tener una textura firme. Esto le confiere a la papaya verde el carácter de una matriz que facilita la impregnación con el jugo de frutas, en nuestro caso de mora, con sus propiedades funcionales y sensoriales.

La mora constituye una fuente importante de antocianinas y otros compuestos polifenólicos que le confieren un alto poder antioxidante (Shahidi y Naczki, 2004). Siritworn et al. (2004) reportaron en 11 variedades distintas de moras (*Rubus* spp.) un contenido de polifenoles totales de 682 a 1056 mg de ácido gálico (GAE)/100 g de fruta fresca y una capacidad antioxidante de 37,6 a 75,5  $\mu\text{mol}$  de trolox (TE)/g de fruta fresca, determinada mediante el método ORAC ("oxygen radical absorbance capacity").

Se ha estudiado la mora por sus efectos beneficiosos para la salud, tales como la protección contra diversos tipos de cáncer y de enfermedades cardiovasculares así como la reducción de la presión arterial y un efecto antiinflamatorio. Por su capacidad antioxidante se ha sugerido que su consumo regular puede ser significativo en combatir la lesión de los radicales libres en el organismo (Fan-Chiang, 2005; Wang y Lin, 2000; Reyes-Carmona et al., 2005).

En el presente estudio se evaluaron los efectos de la fritura al vacío sobre las características de calidad de las hojuelas con sabor a mora, en comparación con la fritura convencional a presión atmosférica.

### 5.2.3 *Materiales y métodos*

#### 5.2.3.1 Materia prima.

Se utilizó papaya (*Carica papaya*) verde, de la variedad criolla cosechada en la zona tropical de Guácimo (300 msnm), provincia de Limón, Costa Rica. La fruta se impregnó con una base de pulpa de mora (*Rubus spp.*) (Pulpas del Zurquí, 2004), tamizada, sin adición de azúcar ni aditivos. El aceite utilizado fue oleína de palma de la marca Dorofrit® (Grupo Numar, 2005 b.).

#### 5.2.3.2 Proceso de producción de las hojuelas.

Se siguió el flujo de proceso presentado en la figura 5.2.1. La papaya se seleccionó en su estado verde, se peló y cortó en rodajas de 1,5 mm de espesor, se escaldó en agua hirviendo con  $\text{CaCl}_2$  (1 %, 5 min).

Los parámetros utilizados para la deshidratación por inmersión e impregnación en el jugo de mora fueron: relación fruta:solución de 1:6, temperatura de 55 °C y una concentración de sólidos solubles en la solución a base de jugo de mora de 50 °Brix con adición de sacarosa. El tiempo del tratamiento de deshidratación osmótica fue de 60 min con agitación constante a una velocidad de 40 rpm.

Posteriormente el producto fue enjuagado con agua y escurrido por 10 min para proceder a su fritura. El proceso a presión atmosférica fue tipo “batch” en un freidor de acero inoxidable de 15 L de capacidad con termo controlador y agitación constante (40 rpm). La fruta se introdujo en una canasta de fritura y se sumergió en el aceite. La relación fruta:aceite fue de 1:40. El producto frito se sacó de la canasta y se escurrió con papel toalla por 5 min.

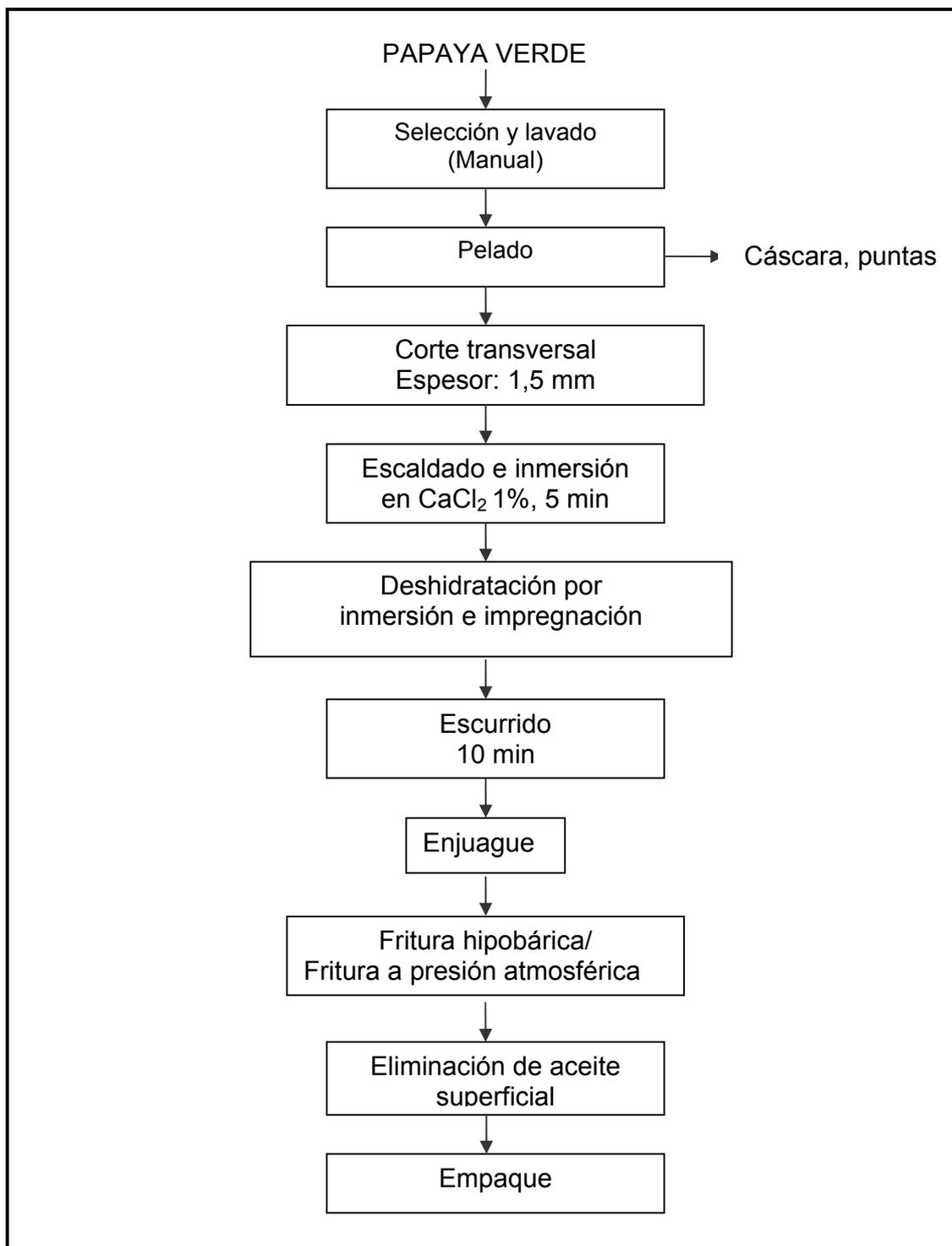


Figura 5.2.1 Flujo de proceso para la elaboración de rodajas crujientes de papaya verde

La fritura hipobárica se llevó a cabo en un equipo piloto semi-continuo descrito por Pérez-Tinoco *et al.* (2008), empleando una presión de vacío constante de  $24 \pm 2$  kPa. La velocidad de las bandas transportadoras y, consecuentemente, el tiempo de fritura fue controlado ( $\pm 0,02$  min), así como la temperatura ( $\pm 0,4$  °C).

El producto se empacó en frascos de vidrio sellados con inyección de nitrógeno, para evitar el contacto con el oxígeno.

Las variables respuesta que se escogieron para estudiar los procesos de fritura fueron: humedad,  $A_w$ , contenido de grasa, color, dureza y aceptación por parte de consumidores. Las variables independientes fueron el tiempo y la temperatura de proceso.

#### 5.2.3.3 Análisis químicos.

Se determinó la grasa cruda por extracción con éter etílico (AOAC, 1990), la humedad por medio del método 934.06 de AOAC (1990) y los sólidos solubles utilizando un refractómetro Abbe (Fisher Scientific, Tokio, Japón) con control de temperatura.

#### 5.2.3.4 Análisis físicos.

La actividad de agua ( $A_w$ ) se midió por medio del equipo Aqua Lab modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., Pullman, USA).

El color se determinó con un colorímetro Hunter Lab D25L modelo DP-9000, y se expresó por medio del sistema triestímulo:  $L^* a^* b^*$  (Hunter, 1992), el ángulo de tono (Hue) ( $H^* = \tan^{-1} (b^*/a^*)$ ) y la pureza del tono (chroma) ( $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ ). Las muestras molidas y homogenizadas se analizaron por triplicado en cápsulas de vidrio sobre una placa con fondo blanco.

La dureza fue medida con un texturómetro modelo TA.XT Plus (Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK). Se utilizó el programa diseñado para la evaluación de crujencia en dicho texturómetro con una sonda cilíndrica de (6,3 mm diámetro, código P/O 25S) y un soporte especialmente adaptado para productos tipo "chips". Se midió la fuerza máxima (N) de compresión del producto a una velocidad de la sonda de 1 mm/s. Las mediciones se repitieron cinco veces por lote de muestras y se reportó el promedio.

### 5.2.3.5 Análisis sensorial.

Las muestras fueron evaluadas de acuerdo a su aceptación con un panel de 86 consumidores para las hojuelas con fritura hipobárica y de 89 para las hojuelas con fritura a presión atmosférica, escogido y balanceado entre mujeres y hombres. Se utilizó una escala lineal de nivel de agrado general de 15 cm de longitud (anexo 7).

Los resultados fueron analizados por medio del paquete estadístico SAS para Windows v 9.1 (Instituto SAS, Cary, NC, USA) para determinar la presencia de “clusters” o conglomerados de consumidores con diferentes patrones de preferencia del producto. Adicionalmente los consumidores llenaron una encuesta con la que se obtuvo información acerca de su disposición hacia el consumo de hojuelas fritas de frutas (anexo 7).

### 5.2.3.6 Diseño experimental y análisis estadísticos.

Se utilizó la metodología estadística de superficie de respuestas aplicando un diseño central compuesto rotatable (DCCR) y de precisión uniforme, con dos variables independientes: temperatura y tiempo de fritura para evaluar las variables dependientes de calidad de las hojuelas de papaya. El dominio experimental consistió de cuatro puntos factoriales (niveles codificados como +1 y -1), cuatro puntos axiales (dos puntos en cada eje a una distancia o radio de  $\pm \sqrt{2}$  (1,4142) del centro) y cuatro repeticiones del punto central (codificados como 0) para un total de doce puntos experimentales.

Los resultados fueron analizados mediante el programa estadístico JMP ® 5.1 (Instituto SAS, Inc., NC, USA) aplicándoles un análisis de regresión múltiple, no lineal, para satisfacer la ecuación polinomial de segundo orden:

$$Y = a_0 + a_{T^{\circ}} T^{\circ} + a_t t + a_{T^{\circ} T^{\circ}} T^{\circ 2} + a_{tt} t^2 + a_{T^{\circ} t} T^{\circ} t$$

donde  $a_k$  son las constantes de regresión del modelo, Y representa el valor de cada atributo de calidad medido, y  $T^{\circ}$  y  $t$  son los factores codificados del diseño ( $-\sqrt{2}$ , -1, 0, +1,  $+\sqrt{2}$ ).

Se estimaron los criterios estadísticos que determinaron la escogencia de los parámetros de calidad que se ajustaron al modelo polinomial. Estos fueron: el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre la respuesta obtenida y la predicha, la probabilidad ( $p_{fa}$ ) de que la falta de ajuste del modelo sea cero (Test F) y la probabilidad ( $p$ ) de significancia del modelo. Las variables respuesta significativas para el modelo se graficaron por medio del programa Sigma Plot (v.10.0; Systat software, CA, USA).

Se llevó a cabo un análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) con los resultados de los atributos de calidad de las hojuelas para identificar aquellos que fueron más influyentes en la aceptación por parte de los consumidores.

El PCA representa gráficamente a cada eje de las coordenadas x e y que corresponden a un componente principal, los vectores constituyen las variables y los puntos las muestras. Los vectores alineados a cada eje, así como su longitud, son los que permitieron explicar cada componente.

5.2.3.7 Estudio de dos metodologías instrumentales de análisis de la crujencia: por medio de texturómetro y medición acústica.

Se determinó la dureza instrumental de las hojuelas, en términos de la fuerza de penetración de una sonda en el producto, por medio de un texturómetro TA.XT Plus (Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK). Se realizó además una medición de la intensidad del sonido al quebrarse el producto (programa de grabación de sonido Cool Edit Pro 2.0).

El sistema de grabación de sonido se adaptó al texturómetro empleando un micrófono con el objeto de realizar las mediciones simultáneamente y correlacionar ambos métodos de medición de la crujencia. Cada determinación se llevó a cabo cinco veces para calcular su promedio.

El pico de sonido máximo (medido en su sección superior e inferior de la banda) obtenido para cada muestra del estudio, se cuantificó en intensidad (decibeles) y se correlacionó con la dureza (N) (SAS System).

#### 5.2.4 Resultados y discusión

##### 5.2.4.1 Atributos de calidad de las hojuelas con sabor a mora, producidas por fritura hipobárica y presión atmosférica.

La utilización de presión hipobárica durante la fritura permitió procesar los “snacks” de papaya a temperaturas menores ( $T \leq 127,0$  °C) que las aplicadas durante la fritura a presión atmosférica ( $T \leq 154,1$  °C), obteniéndose además productos con menor contenido de humedad y valores inferiores de  $A_w$  (cuadros 5.2.1 y 5.2.2). Ambos procesos de fritura pueden ser aplicados para la elaboración de hojuelas con sabor a mora que corresponden a un producto de baja humedad y estable microbiológicamente a temperatura ambiente, los cuales, de acuerdo con Moreira *et al.* (1999) deben tener una humedad  $\leq 10$  % y un valor de  $A_w \leq 0,35$ .

El empleo de temperaturas menores que las regularmente aplicadas cuando se fríe a presión atmosférica implica grandes ventajas en la calidad sensorial y nutricional de los productos procesados a presiones hipobáricas. Los productos de frutas y vegetales fritos a vacío presentaron una aceptación significativamente mayor que los elaborados a presión atmosférica (Da Silva y Moreira, 2008; Troncoso *et al.* 2009), por su textura, color, sabor y calidad global. El contenido de antocianinas de los “chips” de papa morada, así como el de carotenoides de los “chips” de vainicas, mango y camote fueron significativamente superiores al aplicar fritura al vacío, en comparación con los obtenidos mediante un proceso de fritura tradicional (Da Silva y Moreira, 2008).

Los porcentajes de grasa en los “chips” de papaya verde con sabor a mora fueron menores en el producto obtenido con fritura a presión atmosférica (cuadros 5.2.1 y 5.2.2), dado que en general el contenido de grasa fue inferior al 15,6% b.s. con fritura hipobárica y menor a 9,3% b.s. al aplicar fritura a presión atmosférica. Estos resultados concuerdan con lo reportado por otros autores quienes encontraron que el contenido de grasa de los productos elaborados por fritura al vacío fue superior en el caso de “chips” de papa (Troncoso *et al.*, 2009), papa morada y mango (Da Silva y Moreira, (2008), donas (Tan y Mittal, 2006) y chips de papas pre-tratadas (Troncoso y Pedreschi, 2009). Sin embargo, Shyu *et al.* (2005) encontraron que la fritura al vacío a temperaturas moderadas (90-100°C) permite la producción de “chips” de zanahoria con bajo contenido de aceite. Asimismo, la fritura al vacío permitió la obtención de productos con menor absorción de grasa en el caso de “chips” de manzana (Shyu y Hwang, 2001; Mariscal y Bouchon, 2008), camote y vainicas (Da Silva y Moreira, 2008) y papa (Garayo y Moreira, 2002).

La elaboración de productos fritos con mayor contenido de grasa al usar fritura al vacío podría relacionarse con la forma en que los productos se enfriaron, dado que el sistema de recolección de muestras fritas (frasco receptor) usado en el presente estudio favorece que ocurra el fenómeno de absorción de grasa a través de los capilares de la hojuela durante el enfriamiento. En estas circunstancias la presión del gas dentro de los poros del producto es menor que fuera de ellos, lo que ocasiona una absorción del aceite que se encuentra en la superficie (Moreira y Barrufet, 1998; Ufheil y Escher, 1996). Garayo y Moreira (2002) indican que el mecanismo de absorción de grasa en condiciones hipobáricas no está completamente dilucidado y seguiría un mecanismo de transporte más complejo que el asociado con la fritura a presión atmosférica, por lo que actualmente es tema de estudio (Troncoso y Pedreschi, 2009).

En el caso de la fritura a presión hipobárica, el producto se dejó enfriar en el frasco receptor dentro del equipo a baja presión, mientras que al freír a presión atmosférica el producto final se secó con toallas absorbentes inmediatamente después de su fritura, es decir en caliente. Esto provocaría una reducción del aceite superficial, lo que se ve reflejado en los resultados de porcentaje de aceite de las hojuelas. Sin embargo, el contenido de grasa de los productos, inferior a 15,6 % b.s al emplear fritura al vacío y menor a 9,3 % b.s con la fritura tradicional, fue aceptable para un producto tipo "snack", el cual se podría considerar de bajo contenido graso si contiene menos de 20 % en su composición (Pszczola, 2002).

El producto obtenido presentó una forma y un color intensamente morado que resultó atractivo al consumidor, de acuerdo con la aceptación medida (cuadros 5.2.1 y 5.2.2). Los resultados de aceptación sensorial fueron buenos para los productos obtenidos con ambas metodologías de fritura, considerando que se utilizó una escala de nivel de agrado general de 15 cm y que la mayoría de las respuestas superaron el valor de 8 cm. Los consumidores escribieron en el espacio de comentarios que apreciaron el color morado intenso (52 de 86 consumidores) del producto.

El total de jueces pudo ser dividido en tres segmentos o conglomerados ("clusters") de acuerdo con su aceptación de las hojuelas sabor a mora con fritura hipobárica, la cual fue diferente en cada conglomerado. En el cuadro 5.2.1 se observa que para el grupo de consumidores correspondientes al conglomerado 1, la aceptación fue mayor para las muestras producidas a menores temperaturas de fritura. Estas muestras presentaron colores morados intensos, lo que fue decisivo para este grupo de consumidores.

El conglomerado 2 aceptó mejor el producto frito con condiciones cercanas al punto central del diseño (119 °C y 6,0 min), mientras que el conglomerado 3 aceptó el producto en general, ya que calificó todas las muestras con puntajes superiores a los otros dos grupos de consumidores (cuadro 5.2.1).

El análisis de “clusters” de los jueces que evaluaron el producto realizado con fritura a presión atmosférica dio como resultado dos grupos (cuadro 5.2.2), cada uno con 45 y 44 consumidores respectivamente. El primer grupo aceptó muy bien todas las muestras y en el segundo se observa una tendencia por preferir las muestras elaboradas a temperaturas mayores de proceso, lo cual se veía reflejado principalmente en una textura más crujiente.

Cuadro 5.2.1 Resultados de los atributos de calidad obtenidos para las hojuelas de papaya, sabor a mora, con fritura hipobárica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental.

Temperatura fritura <sup>a</sup> (°C)	Tiempo fritura <sup>a</sup> (min)	# Muestra	Aw	Humedad (%)	Grasa <sup>b</sup> (%b.s.)	Color L*	Color C*	Color H*	Dureza (N)	Aceptación general	Aceptación Cluster <sup>c</sup> 1 n=30	Aceptación Cluster <sup>c</sup> 2 n=31	Aceptación Cluster <sup>c</sup> 3 n=25
110,5 (-√2)	6,0 (0)	10	0,35	4,8	15,58	36,5	39,0	17,3	4,4	8,47	11,25	4,42	10,15
113,0 (-1)	5,0 (-1)	6	0,42	4,5	15,31	35,8	31,7	18,0	4,4	8,10	10,14	5,59	8,76
113,0 (-1)	7,0 (+1)	11	0,36	4,7	15,43	42,9	30,6	23,4	10,9	9,25	10,34	6,22	11,70
119,0 (0)	4,6 (-√2)	2	0,34	2,7	13,06	33,8	26,9	27,4	6,4	9,36	10,47	7,58	10,25
119,0 (0)	6,0 (0)	3	0,28	2,3	11,41	38,6	28,9	26,5	11,3	9,78	9,91	8,36	11,39
119,0 (0)	6,0 (0)	4	0,30	2,7	11,28	37,1	26,7	28,9	5,9	9,74	9,99	8,06	11,54
119,0 (0)	6,0 (0)	8	0,29	2,9	9,23	38,5	27,6	32,6	5,0	9,23	9,86	7,02	11,20
119,0 (0)	6,0 (0)	12	0,31	2,9	10,03	38,1	28,3	24,7	7,6	9,36	9,69	5,40	9,22
119,0 (0)	7,4 (+√2)	7	0,26	2,7	13,53	42,3	25,6	52,7	6,6	5,90	4,38	4,31	9,71
125,0 (+1)	5,0 (-1)	9	0,23	2,2	10,43	39,9	28,4	39,2	5,4	8,02	8,17	6,41	9,82
125,0 (+1)	7,0 (+1)	5	0,24	2,1	13,83	38,2	28,4	58,1	16,6	4,35	2,74	3,96	6,77
127,0 (+√2)	6,0 (0)	1	0,27	2,0	11,67	33,9	23,5	50,9	5,6	5,64	4,50	5,36	7,35

<sup>a</sup> Valores codificados de cada factor en paréntesis.

<sup>b</sup> b.s.: Base seca

<sup>c</sup> Segmentos de consumidores con patrones de aceptación diferenciados ("clusters").

Cuadro 5.2.2 Resultados de los atributos de calidad obtenidos para las hojuelas de papaya, sabor a mora, con fritura a presión atmosférica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental.

Temperatura fritura <sup>a</sup> (°C)	Tiempo fritura <sup>a</sup> (min)	# Muestra	Aw	Humedad (%)	Grasa <sup>b</sup> (% b.s.)	Color L*	Color C*	Color H*	Dureza (N)	Aceptación general	Aceptación Cluster <sup>c</sup> 1 n=45	Aceptación Cluster <sup>c</sup> 2 n=44
125,9 (-√2)	4,5 (0)	3	0,45	8,8	4,66	30,4	35,4	18,5	0,9	7,85	10,28	5,36
130,0 (-1)	3,0 (-1)	9	0,54	10,6	4,39	30,1	31,3	18,1	0,7	7,36	9,37	5,30
130,0 (-1)	6,0 (+1)	11	0,37	4,7	7,51	41,3	30,5	18,7	3,2	7,35	9,58	5,06
140,0 (0)	2,4 (-√2)	8	0,35	6,1	5,54	35,0	40,6	17,1	4,4	6,95	9,62	4,21
140,0 (0)	4,5 (0)	1	0,31	3,1	5,23	39,7	31,5	19,2	17,2	8,03	9,30	6,72
140,0 (0)	4,5 (0)	2	0,30	4,1	7,43	39,9	31,0	19,4	17,5	8,11	9,38	6,80
140,0 (0)	4,5 (0)	4	0,30	4,0	6,24	41,6	31,0	20,0	13,5	8,14	9,66	6,59
140,0 (0)	4,5 (0)	6	0,31	4,1	5,81	41,0	27,9	21,3	16,3	8,42	9,70	6,85
140,0 (0)	6,6 (+√2)	7	0,32	3,6	6,73	43,8	26,1	43,3	10,0	9,32	10,59	8,03
150,0 (+1)	3,0 (-1)	5	0,30	2,9	5,80	40,4	26,3	21,7	4,8	10,66	11,42	9,88
150,0 (+1)	6,0 (+1)	12	0,31	3,0	8,50	39,7	26,5	56,3	4,3	9,18	10,34	8,00
154,1 (+√2)	4,5 (0)	10	0,28	2,4	9,32	39,2	25,7	55,7	3,9	8,9	9,88	7,90

<sup>a</sup> Valores codificados de cada factor en paréntesis.

<sup>b</sup> b.s: Base seca

<sup>c</sup> Segmentos de consumidores con patrones de aceptación diferenciados (clusters).

#### 5.2.4.2 Efectos de las variables independientes, temperatura (T) y tiempo (t), sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a mora.

Los coeficientes de regresión del modelo, que representan los efectos de los factores, y sus respectivos niveles de significancia ( $p$ ) se presentan en los cuadros 5.2.3 y 5.2.4 para ambas metodologías de fritura de las hojuelas con sabor a mora. Para efectos del presente estudio se consideró que existe una adecuación del modelo si el coeficiente de determinación,  $R^2$ , es superior a 0,75 (Henika, 1982) y la probabilidad de la falta de ajuste es superior a 10 % (Thompson, 1982).

En el caso de las hojuelas de papaya con sabor a mora producidas mediante fritura hipobárica, los modelos generados fueron adecuados para la humedad, el  $A_w$ , el contenido de grasa (b.s), los parámetros de color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $H^*$  y la aceptación sensorial promedio (cuadro 5.2.3, variables-respuesta señaladas en negrita). La textura, expresada en este caso por la dureza ( $N$ ), es un atributo muy importante para los productos tipo “snacks”; sin embargo el efecto de la temperatura y tiempo de fritura no fue significativo para las hojuelas con sabor a mora procesadas con fritura hipobárica. Shyu y Hwang (2001) encontraron para hojuelas de manzana fritas por medio de un sistema al vacío, una correlación significativa entre los efectos de humedad, contenido de grasa y las variables independientes del tiempo y la temperatura de fritura.

Los modelos matemáticos generados para la fritura a presión atmosférica de las hojuelas de mora fueron adecuados para las variables  $A_w$ , humedad, parámetros de color  $L^*$  y  $H^*$  y dureza (cuadro 5.2.4, variables señaladas en negrita).

Las respuestas obtenidas para cada diseño experimental se expresaron como gráficos de contorno de iso-respuestas (figuras 5.2.2, 5.2.3, 5.2.4) y las condiciones óptimas del proceso fueron identificadas a partir de éstos.

Cuadro 5.2.3 Efectos de las variables independientes temperatura (T) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a mora, con fritura hipobárica.

Variable	Aw	Humedad (%)	Grasa (% b.s.)	Color L*	Color C*	Color H*	Dureza (N)	Aceptación
$a_0$	0,2955 ***	2,7368 ***	10,4874 ***	38,085 ***	27,87 ***	28,155 ***	7,4875 **	9,5275 ***
$a_{T^0}$	-0,0560 *	-1,1065 ***	-1,5030	-0,538	-3,435 **	12,9141 ***	1,0385	-1,1228 ***
$a_t$	-0,0231	0,0152	0,5222	2,173 *	-0,352	7,5148 ***	2,2503	-0,9266 ***
$a_{T^0t}$	0,0067	0,413 **	1,6419	-0,806	1,963	2,3706	-0,3636	-1,2144 ***
$a_{tt}$	0,0047	0,069	1,4758	0,627	-0,557	5,3531 **	0,4137	-0,9269 **
$a_{T^0t}$	0,0098	-0,0823	0,8206	-2,195	0,2525	3,365	1,1625	-1,205 **
$R^2$	0,8062	0,9488	0,9146	0,759	0,766	0,9653	0,3855	0,9707
p	0,0378	0,0008	0,0037	0,0678	0,0630	0,0003	0,6135	0,0002
p fa> F	0,0316	0,4612	0,7658	0,0296	0,0315	0,4782	0,2022	0,1546

$p > |t|$ : \*\*\* : <0,0001; \*\* : <0,001; \* : <0,01

p fa> F probabilidad de la falta de ajuste al modelo

Cuadro 5.2.4 Efectos de las variables independientes temperatura (T) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a mora, con fritura a presión atmosférica.

Variable	Aw	Humedad (%)	Grasa (% b.s.)	Color L*	Color C*	Color H*	Dureza (N)	Aceptación
$a_0$	0,305 ***	3,8398 ***	6,1772 ***	40,5298 ***	30,3775 ***	19,99 ***	16,122 ***	8,1751 ***
$a_{T^0}$	-0,0985 ***	-3,2829 ***	1,5917	3,7364 ***	-4,0425	16,586 ***	1,6707	1,1694
$a_t$	-0,0343	-1,6369 **	1,3267	4,051 **	-3,7314	12,7337 ***	1,739	0,3289
$a_{T^0T^0}$	0,0764 **	1,8036 **	0,8020	-5,33 **	-1,4887	14,6434 **	-14,5168 ***	0,3911
$a_{tt}$	0,0434	1,0467	-0,048	-0,7439	1,3208	7,7293	-9,706 **	0,151
$a_{T^0t}$	0,0975 **	2,9643 **	-0,2159	-5,9726 **	0,4948	16,9832 **	-1,5314	-0,7347
$R^2$	0,9487	0,9810	0,7248	0,972	0,612	0,973	0,9576	0,574
p	0,0008	<0,0001	0,0969	0,0001	0,2292	0,0001	0,0005	0,2864
p fa> F	0,014	0,5599	0,344	0,374	0,052	0,013	0,5199	0,0039

$p > |t|$ : \*\*\* : <0,0001; \*\* : <0,001 ; \* : <0,01  
p fa> F probabilidad de la falta de ajuste al modelo

Los valores más altos obtenidos en la evaluación de agrado para las hojuelas con fritura hipobárica se encontraron entre 8 y 9 cm en la escala lineal y dentro de estos límites o contornos se determinó los valores que corresponden a los parámetros de color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $H^*$ .

El color es un parámetro muy importante para la aceptación de las hojuelas y se obtuvo que los “chips” con mayor aceptación tenían mayor saturación. El índice  $C^*$  de color (Chroma), que denota la saturación o vivacidad del color lila-morado en las hojuelas, tendió a crecer para que el producto fuera más aceptado. La figura 5.2.2 muestra que un valor de 8 para la aceptación del producto obtenido por fritura bajo vacío se obtuvo cuando éste presentó un color de  $C^*$  entre 28 y 32. Los valores menores se encontraron en una zona de menor aceptación.

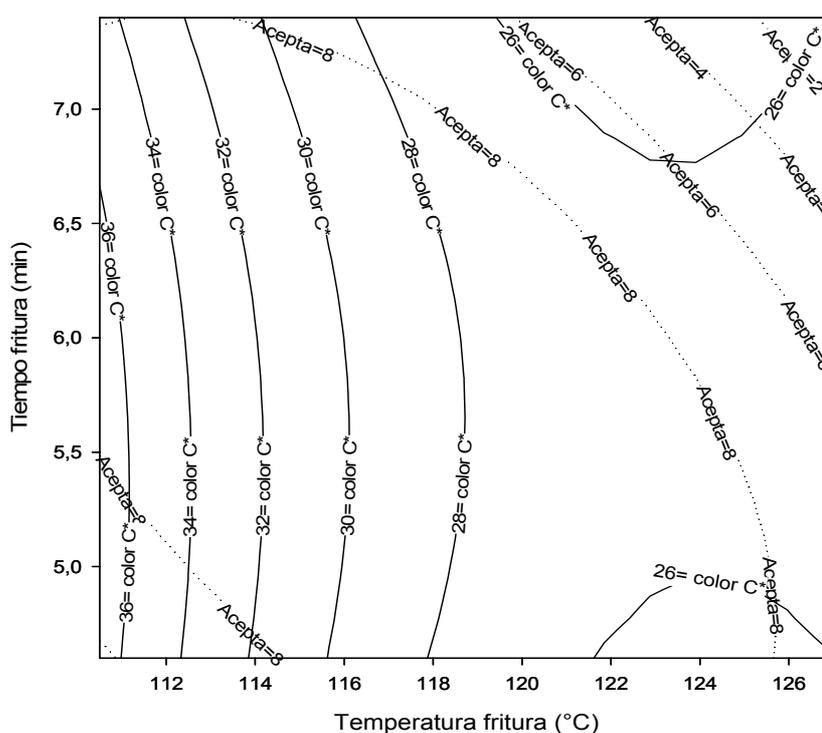


Figura 5.2.2 Gráfico de contorno para la isorespuesta de aceptación y color  $C^*$  para hojuelas de mora, elaboradas a presión hipobárica.

El atributo de color  $C^*$  tendió a disminuir al aumentar la temperatura de fritura de los “chips” de papaya (figura 5.2.2), lo cual concuerda con los resultados obtenidos

por Pérez-Tinoco *et al.* (2008) en hojuelas de piña. Da Silva y Moreira (2008) obtuvieron valores de chroma ( $C^*$ ) en rodajas de papas y de mangos, fritas por medio de un sistema al vacío, que indicaron mayor saturación que aquellos obtenidos en los productos procesados con fritura a presión atmosférica.

A mayor humedad, el producto elaborado a presión hipobárica fue más aceptado (figura 5.2.3), lo que se relaciona con coloraciones moradas claras. Sin embargo, el producto más húmedo se tornó “chicloso” rápidamente, lo cual no es aceptable. Es por esto que debe lograrse el balance entre un valor bajo de  $A_w$  y el mantener las características sensoriales deseadas que se relacionan con una buena coloración y crujencia.

Las relativamente bajas temperaturas que se aplican durante la fritura a presión hipobárica permitieron obtener un amplio rango de buena aceptación de las hojuelas (figura 5.2.3), donde la humedad del producto y sus características sensoriales son apreciadas. Al respecto también Pérez-Tinoco *et al.* (2008) obtuvieron hojuelas de piña con niveles bajos de  $A_w$  y de humedad (0,29 y 4% respectivamente) y un color dorado atractivo, al utilizar la fritura hipobárica.

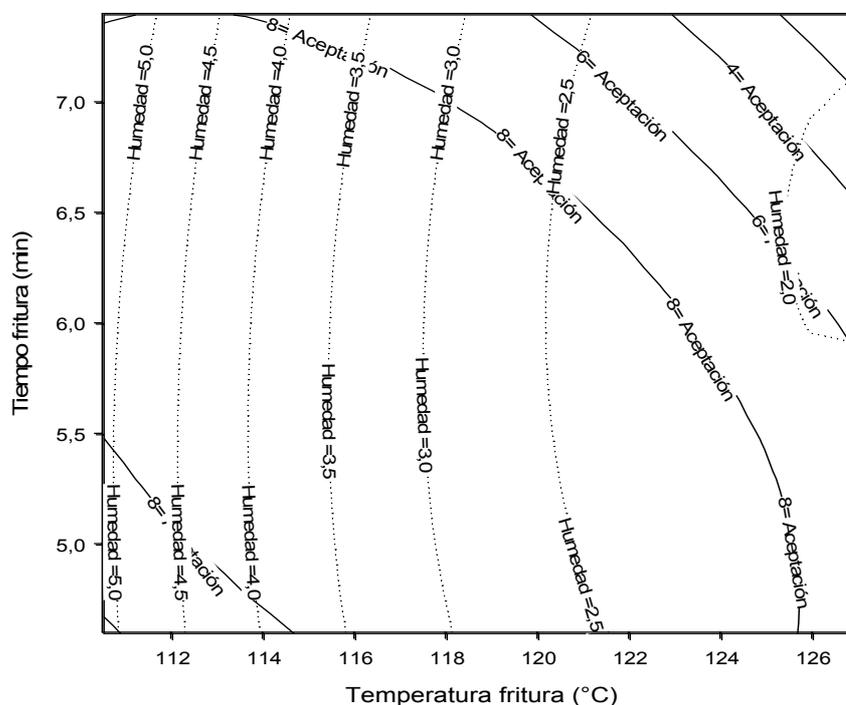


Figura 5.2.3 Gráfico de contorno para la isorespuesta de aceptación y humedad para hojuelas de mora, elaboradas a presión hipobárica.

Al aplicar ambos procesos de fritura a los “chips” de papaya se obtuvieron valores del parámetro de color  $L^*$  similares, en un rango de 33,8 - 42,9 para fritura hipobárica y de 30,1 - 41,6 para fritura atmosférica (cuadros 5.2.1 y 5.2.2). La luminosidad por tanto no fue afectada por el método de fritura utilizado en el presente estudio, sin embargo distintos estudios reportan que los productos elaborados por fritura tradicional a presión atmosférica presentaron un oscurecimiento excesivo en comparación con los obtenidos a presión hipobárica (Da Silva y Moreira 2008; Troncoso *et al.* 2009). Los chips de papa obtenidos por presión hipobárica presentaron valores de  $L^*$  significativamente superiores a los valores correspondientes a los productos fritos bajo condiciones atmosféricas, en los estudios llevados a cabo por Garayo y Moreira (2002), así como por Troncoso *et al.* (2009).

La crujencia es un parámetro complejo para su medición instrumental, sin embargo, en el caso de hojuelas fritas la fuerza de penetración (o dureza) determinada por medio de un texturómetro puede ser un buen indicador (Moreira *et al.*, 1999; Pérez-Tinoco *et al.*, 2008). Los “chips” de papaya fritos por medio de fritura a presión atmosférica en los que se aplicaron mayores temperaturas por tiempos largos, tendieron a presentar mayores valores de dureza. Se observa en la figura 5.2.4 que la temperatura de fritura tuvo un efecto significativo en la textura (o dureza) de las hojuelas con sabor a mora fritas a presión atmosférica, alcanzándose un valor máximo de 15 N en un ámbito de 137 °C a 145 °C por 4 a 5,3 min.

Después de un cierto tiempo de fritura, la textura se torna dura debido a una deshidratación de las capas más externas del producto y a la formación de una costra. Pedreschi *et al.* (2001) encontraron que un valor de 1,9 N para la fuerza de ruptura estaría asociado con la completa formación de dicha costra y el término óptimo del proceso de fritura de papas a la francesa.

Ayi (2008) reportó un valor  $8,3 \pm 1,5$  N para la fracturabilidad de un “snack” tipo tortilla, elaborado a partir de harina de maíz con un 50% de sustitución de harina de pejibaye. Para una tortilla “chip” de maíz que se frió a 190°C por 30 s se encontró una dureza de 6,5 N (Moreira *et al.*, 1995), mientras que una tortilla “chip” producida con sorgo fue más fracturable, dado que su dureza fue de  $10,6 \pm 1,7$  N (Cedillo, 2005). La diferencia en los valores de dureza de los productos fritos podría explicarse por diferencias a nivel del espesor, así como por los ingredientes o la composición físicoquímica. El cambio en la textura está influenciado por el contenido de almidón, el tamaño de gránulos de almidón, los polisacáridos de la pared celular vegetal, los polisacáridos no almidonosos y las sustancias pécticas (Nourian y Ramaswamy, 2003). El almidón presente en las papas tiende a provocar en el producto frito una separación de las células,

mientras que las sustancias pécticas tienden a prevenir su separación, debido a su propiedad de cohesividad (Hindra y Baik, 2006).

Troncoso *et al.* (2009) así como Garayo y Moreira (2002) obtuvieron, de igual forma, que las temperaturas altas de fritura al vacío incrementaron la fuerza máxima de ruptura de los “chips” de papa al igual que su dureza. Este efecto se ve reflejado también en la humedad y el  $A_w$ , valores que fueron menores al ser más duro el producto, como se aprecia en la figura 5.2.4. Si se correlaciona la fuerza de penetración con la humedad se puede inferir que mientras más seco, el producto es más duro. Sin embargo, un  $A_w$  crítico puede establecerse en 0,3, ya que valores menores no fueron bien aceptados (cuadro 5.2.3).

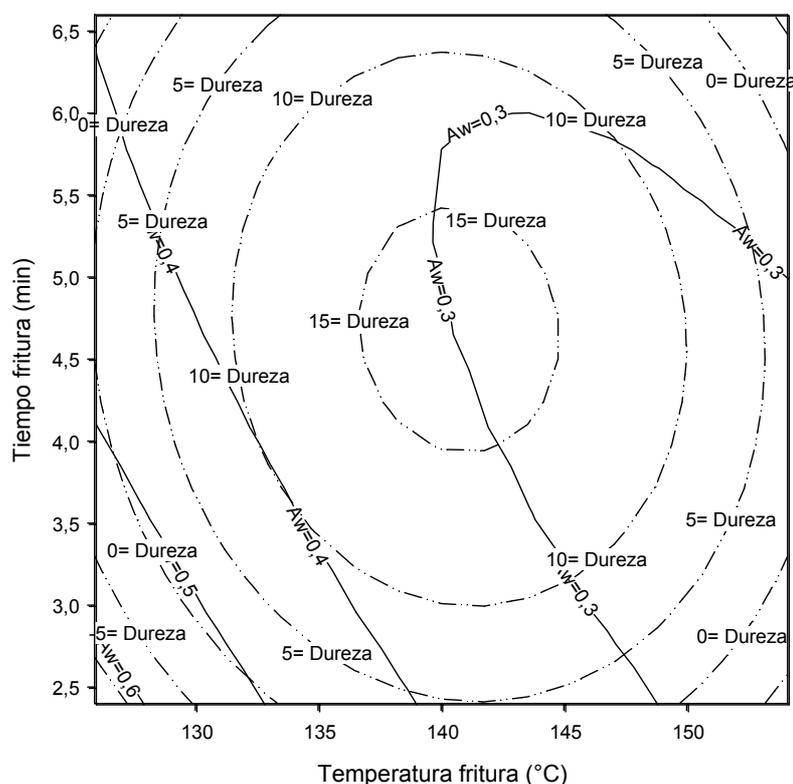


Figura 5.2.4 Gráfico de contorno para la isorespuesta de  $A_w$  y dureza (fuerza de penetración) para hojuelas de mora, elaboradas a presión atmosférica.

### 5.2.4.3 Análisis de componentes principales (PCA).

Por medio del análisis de componentes principales (Stone y Sidel, 2004) es posible visualizar de forma gráfica la relación existente entre los resultados físicos, químicos y sensoriales de un experimento. De esta manera se comparó la aceptación sensorial obtenida para las hojuelas con los resultados de los análisis llevados a cabo y así fue factible identificar los atributos de calidad más influyentes en la decisión sensorial de los consumidores.

En la figura 5.2.5 se graficaron los componentes que explican un 66,9 % de la varianza de los resultados (componente principal 1) y un 27,0 % de la varianza (componente principal 2). Los puntos de la figura representan las muestras y los vectores los atributos de calidad medidos.

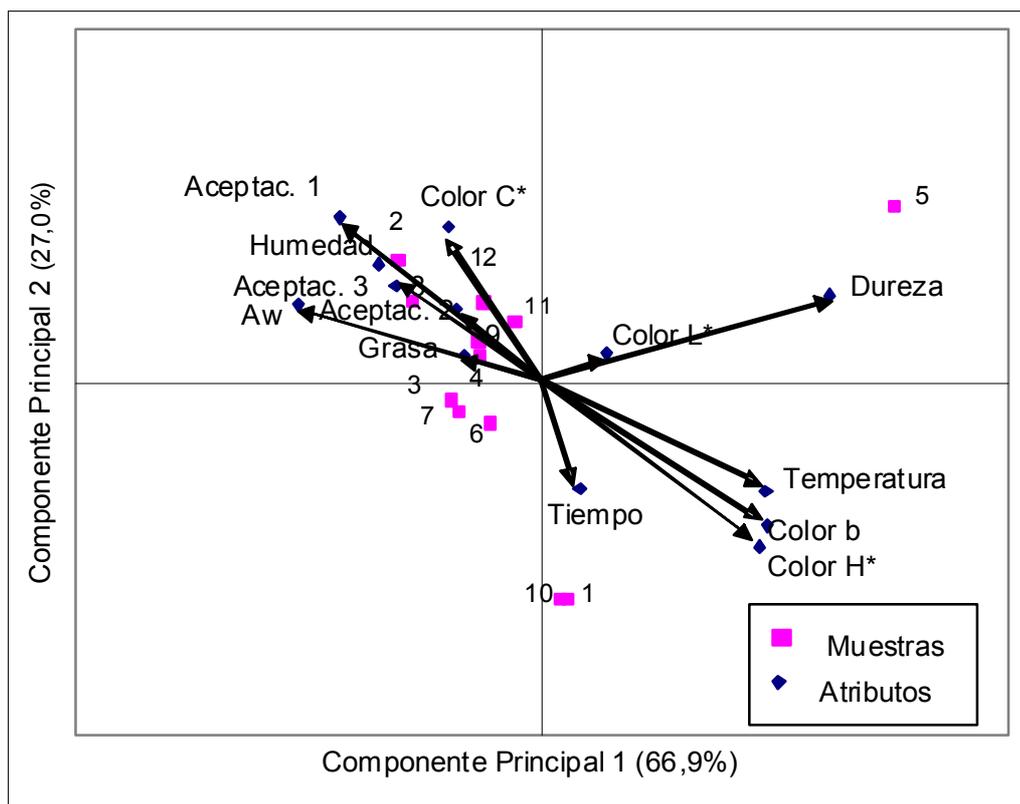


Figura 5.2.5 Análisis de componentes principales para las muestras (1-12) de hojuelas de mora producidas con fritura a presión hipobárica. Los valores de tiempo y temperatura de fritura asociados a cada número de muestra se encuentran en el cuadro 5.2.1.

Los vectores de aceptación (denominados 1, 2 y 3 de acuerdo al "cluster" respectivo) se encontraron cercanos al eje del componente principal 1, al igual que la humedad y el valor de saturación del color,  $C^*$ , de las hojuelas de mora. En contraposición a estos vectores y en una longitud parecida, se observan la temperatura y el componente de color  $b^*$  y la tonalidad ( $H^*$ ). Es por esto que puede inferirse que la aceptación estuvo determinada por la humedad y la saturación del color. En cuanto a los parámetros del proceso, las temperaturas altas y los tiempos más largos generaron productos menos aceptados por los tres grupos (clusters) de consumidores.

El PCA puede utilizarse en este estudio para validar las condiciones óptimas de proceso calculadas por medio de la metodología de superficies de respuesta, ya que en el análisis de componentes principales se presentan las muestras evaluadas. Las muestras 8 y 12 se encuentran cercanas a los vectores de aceptación y ambas fueron producidas con las condiciones de  $T= 119\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $t= 6,0\text{ min}$ , representando así el proceso óptimo (cuadro 5.2.5) de acuerdo a una mayor aceptación.

En la figura 5.2.6 se graficaron los componentes que explicaron un 73 % de la varianza de los resultados (componente principal 1) y un 14,8 % de la varianza (componente principal 2), para las muestras de hojuelas con fritura a presión atmosférica. Estas presentaron una aceptación que se explica en gran medida por la humedad y el  $A_w$  del producto. Se puede observar en la figura que los vectores de aceptación (para los conglomerados 1 y 2) se encontraban alineados con estos efectos.

La temperatura y el tiempo de proceso influyeron negativamente en la aceptación de las hojuelas, al encontrarse los vectores en dirección contraria. Esto es, a mayor temperatura y tiempo de fritura, el producto fue menos gustado, lo cual concuerda con que el producto fue menos húmedo y tenía un color morado menos intenso (menor valor de  $a^*$ ).

Para el proceso de fritura a presión atmosférica, la muestra 8 representó las condiciones óptimas, con una temperatura de  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un tiempo de  $2,4\text{ min}$  (cuadro 5.2.5).

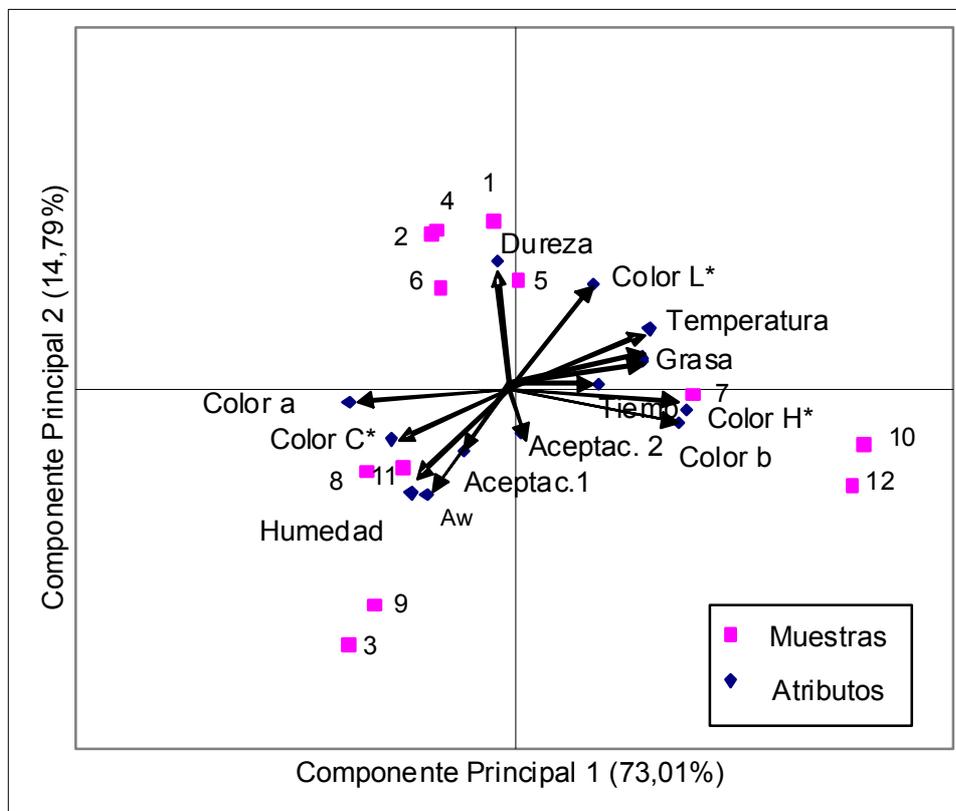


Figura 5.2.6 Análisis de componentes principales para las muestras de hojuelas de mora producidas con presión atmosférica. Los valores de tiempo y temperatura de fritura asociados a cada número de muestra se encuentran en el cuadro 5.2.2.

#### 5.2.4.4 Puntos óptimos calculados a partir del diseño experimental de superficies de respuesta.

De acuerdo con los análisis de puntos óptimos determinados a partir de las superficies de respuesta se puede obtener cada par de temperatura y tiempo recomendados para la producción de las hojuelas con sabor a mora fritas a presión hipobárica y a presión atmosférica (cuadro 5.2.5). La metodología de superficies de respuesta generó los puntos óptimos a partir del cálculo matemático utilizando el diseño experimental; se puede observar que estos resultados fueron cercanos a los encontrados en el PCA para las muestras de mayor aceptación, por lo que se puede decir que fueron congruentes.

Las temperaturas óptimas de fritura hipobárica (118-119 °C) fueron inferiores en aproximadamente 20 °C a las temperaturas utilizadas bajo condiciones atmosféricas (137-140 °C), pero se requieren tiempos de fritura mayores. Shyu y Hwang (2001) obtuvieron condiciones óptimas de fritura para hojuelas de manzana elaboradas con fritura hipobárica, de 100-110 °C por tiempos de 20-25 min, mientras que para Pérez-Tinoco *et al.* (2008), una temperatura de 112 °C y un tiempo de fritura de 6,9 min fueron los parámetros más adecuados para el procesamiento de hojuelas de piña. Estos resultados indicarían que la matriz de papaya verde utilizada en el presente estudio requirió para su fritura temperaturas mayores pero tiempos menores, con el sistema semi continuo de fritura hipobárica.

Cuadro 5.2.5 Comparación de puntos óptimos del diseño experimental.

<b>METODOLOGIA</b>	<b>Hojuelas con fritura hipobárica</b>	<b>Hojuelas con fritura a presión atmosférica</b>
Superficies de Respuestas (estimados)	T= 118,2 °C t= 6,1 min	T= 137 °C t= 5 min
PCA (muestra evaluada con mayor aceptación)	T= 119 °C t= 6,0 min	T= 140 °C t= 2,4 min

La concentración de grasa, el valor de  $A_w$  y la dureza de las hojuelas de mora, estimados a partir de los modelos matemáticos generados a las condiciones óptimas de fritura, se presentan en el cuadro 5.2.6 con el fin de considerar las características físicoquímicas que se esperarían en este tipo de producto. Se observa que el contenido de grasa de las hojuelas de papaya con sabor a mora obtenidas bajo condiciones optimizadas de fritura hipobárica (10,8 % b.s.) sería inferior al valor de 20 % b.s. reportado por Pérez-Tinoco *et al.* (2008) en hojuelas de piña fritas al vacío. Por otra parte, la dureza de los “chips” de papaya saborizados producidos a una temperatura y tiempo de fritura hipobárica sería cercana (10,0 N) a la de productos fritos tipo tortilla (Cedillo, 2005).

Cuadro 5.2.6 Contenido de grasa, valor de  $A_w$  y dureza de las hojuelas de mora, para las condiciones óptimas de fritura, estimadas a partir del modelo matemático generado.

PRODUCTO	$A_w$	% Grasa (b.s)	Dureza (N)
Hojuelas de mora con <i>fritura a presión hipobárica</i> (T=118,2 °C, t=6,1 min)	0,30	10,8	10,0
Hojuelas de mora con <i>fritura presión atmosférica</i> (T=137,0 °C, t=5 min)	0,32	6,0	14,3

5.2.4.5 Dureza e intensidad del sonido emitido al quebrarse las hojuelas de papaya, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental.

Las bandas de sonido máximas, obtenidas para cada muestra del presente estudio, se cuantificaron en intensidad (decibeles) y se correlacionaron con la dureza (N). Por los coeficientes de correlación que se observan en el cuadro 5.2.6, se concluye que la variación del sonido no fue explicada por la variación en la dureza de las hojuelas de papaya sabor a mora.

Cuadro 5.2.7 Resultados de dureza e intensidad del sonido (para dos bandas graficadas) al fracturarse las hojuelas de papaya sabor a mora, con fritura hipobárica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental (n= 57).

Temperatura fritura (°C)	Tiempo fritura (min)	Fuerza máxima dureza (N)	Intensidad promedio sonido banda superior (decibeles)	Intensidad promedio sonido banda inferior (decibeles)
110,5 (- $\sqrt{2}$ )	6,0 (0)	7,04	15,0	14,3
113,0 (- 1)	5,0 (- 1)	5,94	15,5	11,6
113,0 (- 1)	7,0 (+1)	19,48	10,7	12,5
119,0 (0)	4,6 (- $\sqrt{2}$ )	5,17	20,0	16,9
119,0 (0)	6,0 (0)	6,44	12,8	11,9
119,0 (0)	6,0 (0)	11,34	16,3	18,3
119,0 (0)	6,0 (0)	4,40	15,1	13,0
119,0 (0)	6,0 (0)	10,97	14,1	14,9
119,0 (0)	6,0 (0)	16,69	16,8	16,4
119,0 (0)	7,4 (+ $\sqrt{2}$ )	5,04	13,6	13,3
125,0 (+1)	5,0 (-1)	7,63	12,7	12,6
125,0 (+1)	7,0 (+1)	5,38	10,4	9,7
127,0 (+ $\sqrt{2}$ )	6,0 (0)	6,50	16,5	16,3
Coefficiente Correlación Dureza-Intensidad sonido			0,1177	0,0351
Coefficiente Determinación R <sup>2</sup>			0,0138	0,0012
Probabilidad asociada (p)			0,3833	0,7956

Con el fin de evaluar si el número de picos obtenidos en cada banda de sonido tuvo correlación con la dureza, se cuantificó dicha cantidad y se efectuó un análisis de regresión (SAS System). Los resultados muestran una baja correlación entre la dureza y el número de picos ( $R^2 = 0,025$ ), sin embargo la probabilidad del modelo ( $p = 0,2404$ ) indica una posible tendencia entre ellos (ver gráfico en Anexo 8). Al disminuir la dureza del producto se produce un mayor número de picos, siendo algunos muy pequeños.

Algunas investigaciones que combinan el análisis de grabaciones acústicas con mediciones mecánicas-instrumentales han sido satisfactorias para predecir la crujencia de diferentes alimentos y bocadillos (Duizer, 2001; Roudaut *et al.*, 2002; Duizer y Winger, 2003). Sin embargo, a pesar que la fuerza máxima de dureza se ha correlacionado con la crujencia a nivel sensorial, no se reporta lo mismo con las bandas de sonido aéreo que se obtienen por métodos de grabación acústica (Zdunek y Ranachowski, 2006).

Piazza *et al.* (2007) muestran en su estudio, con productos de panadería de baja humedad, que la medición de la energía acústica durante la fractura brinda un comportamiento que no necesariamente es explicado por las curvas de textura realizadas por el método mecánico.

En la figura 5.2.7 se presenta las bandas obtenidas para la dureza (N) y para el sonido (decibeles) de una muestra de hojuela de mora producida con fritura hipobárica. Se observa que existe una coincidencia en el tiempo en el comportamiento de la dureza y el sonido. El pico mayor de fuerza se encuentra a los 0,93 s de iniciada la aplicación de la fuerza por parte de la sonda y corresponde al momento que ocurre la primera fractura. Posteriormente se presentan picos más pequeños hasta completar el proceso de ruptura después de 4 s.

Al relacionar el registro de sonido con la fuerza medida por el texturómetro hay un desfase de 0,87 s, como se puede observar el pico inicial de sonido se presenta a los 1,8 s y corresponde al primer pico de fuerza (0,93 s). El desfase de tiempo que existe entre ambas mediciones se debe posiblemente a la naturaleza manual de la grabación del sonido.

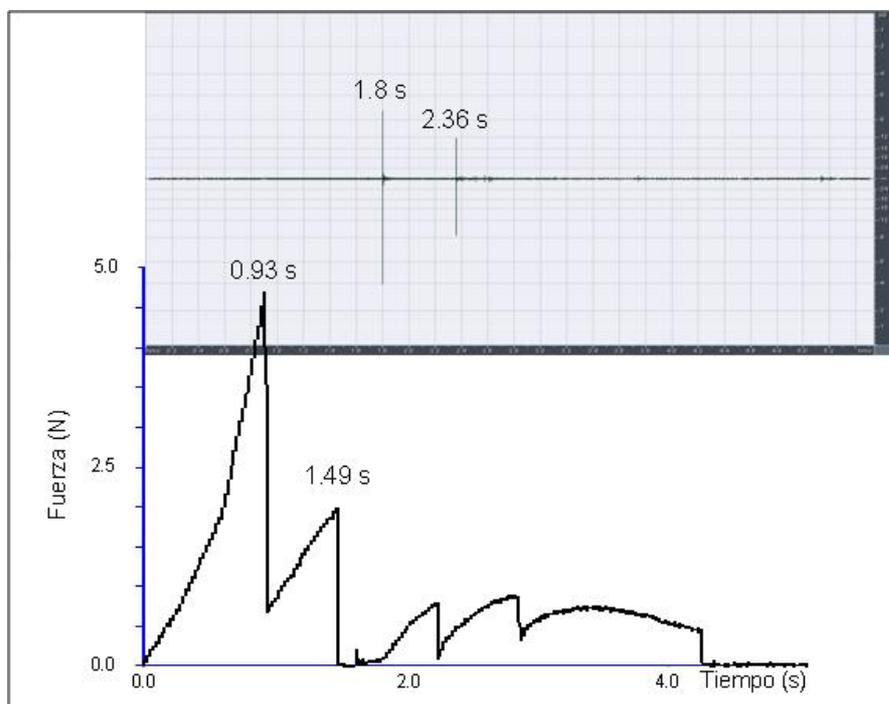


Figura 5.2.7 Bandas de dureza y de sonido para una muestra de hojuela de mora producida con fritura hipobárica.

### 5.2.5 Conclusiones

La papaya verde es una matriz alimenticia que permite su impregnación con jugo pulposo de mora de manera que el producto final obtenido por fritura presenta el sabor, aroma y color de esta fruta.

La aplicación de la fritura hipobárica permitió obtener valores de humedad y de  $A_w$  en las hojuelas con sabor a mora que corresponden a los de un producto de baja humedad y estable a temperatura ambiente. El producto obtenido presentó una forma y un color intensamente morado que resultó atractivo al consumidor, de acuerdo al estudio de aceptación.

La fritura convencional, a presión atmosférica, también da como resultado un producto con buenas características de calidad, sin embargo, requiere mayores temperaturas de proceso y no logra extraer el agua del producto hasta los niveles que se alcanzan con la fritura hipobárica, a las condiciones estudiadas.

La aceptación del producto está determinada por la humedad y el color, el cual es óptimo al ser morado intenso como la fruta de origen. En cuanto a los parámetros del proceso, las temperaturas altas y los tiempos más largos generaron productos menos aceptados por un grupo mayoritario de consumidores, para ambos procesos de fritura estudiadas.

Las condiciones óptimas para la fritura hipobárica de hojuelas con sabor a mora fueron de 118,2 °C y 6,1 min, mientras que para la fritura a presión atmosférica correspondieron a 137,0 °C y 5 min.

Es posible validar los datos calculados por la metodología de superficies de respuesta con los obtenidos en el PCA donde se utilizan las muestras elaboradas.

La variación del sonido que se produce al fracturarse las hojuelas no fue explicada por la variación en la dureza de las hojuelas de papaya.

### 5.2.6 Bibliografía Capítulo 5.2

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15 ed. Association of Official Analytical Chemists. Vol. 2. Virginia, USA.

AYI, D. 2008. Desarrollo de un snack tipo tortilla a base de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth). Proyecto final de graduación de licenciatura en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

BERDANIER, C. 2002. Handbook of Nutrition and Food. CRC Press. New York. USA. p. 29-32

CEDILLO, G. 2005. Nutraceutical Tortillas and Tortilla Chips Prepared with Bran From Specialty Sorghums. Master Science Thesis. Texas A&M University. USA.

DA SILVA, P. y MOREIRA, R. 2008. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. LWT - Food Science and Technology. 41(10): 1758-1767.

DUIZER, L. 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. Trends in Food Science & Technology. 12 :17-24.

DUIZER, L. y WINGER, R. 2003. Objective techniques for measuring perception of crispness in extruded snacks. 5 th. Pangborn Sensory Sc. Symposium. July 20-24. Boston, USA.

FAN, L., ZHANG, M., XIAO, G., SUN, J. y TAO, Q. 2005 a. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. International Journal of Food Science and Technology. 40: 911–919.

FAN, L., ZHANG, M. y MUJUMDAR, A. 2005 b. Vacuum Frying of Carrot Chips. Drying Technology. 23(3):645- 656.

FAN-CHIANG, H. y WROLSTAD, R. 2005. Anthocyanin Pigment Composition of Blackberries. Journal of Food Science. 70 (3): 198-202.

FOOD INFO NET. 2007. Healthy Snacking: Future Trends & New Insights. Datamonitor. En: [www.foodinfonet.com](http://www.foodinfonet.com)

GARAYO, J. y MOREIRA, R. 2002. Vacuum frying of potato chips. Journal of Food Engineering. 55 (2): 181-191.

GRANDA, C., MOREIRA, R. y TICHY, S. 2004. Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying. *Journal of Food Science*. 69(8): E405-E411.

GRUPO NUMAR. 2005 a. Información Corporativa. En: [www.numar.net/esp/info.html](http://www.numar.net/esp/info.html)

GRUPO NUMAR. 2005 b. Especificaciones de Calidad del Producto D'Orofrit 5 ®. Compañía Numar S.A. Costa Rica.

HENIKA, R. 1982. Use of Response Surface Methodology in Sensory Evaluation. *Food Technology*. 36: 96-102.

HINDRA, F. y BAIK, O-D. 2006. Kinetics of quality changes during food frying. *Critical Reviews in Food Science and nutrition*. 46: 239-258.

HUNTER Associates Laboratory. 1992. User's Manual for D25 DP-9000 Systems. Manual Version 1.3 . USA.

LEATHERHEAD FOOD INTERNATIONAL. 2006. The International Market for Fruit Snacks- Trends and Developments in fruit bars, canned fruit and ambient fruit snacks, dried fruit snacks and chilled fruit snacks. En: [www.researchandmarkets.com/reportinfo](http://www.researchandmarkets.com/reportinfo)

MARISCAL, M. y BOUCHON, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry* 107: 1561-1569.

MELA, D. 2005. Food, diet and obesity. CRC Press. Boca Raton, USA. 126-131.

MOREIRA, R., PALAU, J. y SUN, X. 1995. Deep-Fat Frying or Tortilla Chips: An Engineering Approach. *Food Technology*. 49(4):146-150.

MOREIRA, R.G. y BARRUFET, M.A. 1998. A new approach to describe oil adsorption in fried foods: a simulation study. *Journal of Food Engineering*. 35:1-22.

MOREIRA, R.G., CASTELL-PEREZ, M.E. y BARRUFET, M.A. 1999. Deep-fat frying: Fundamentals and Applications. Aspen Publisher, Gaithersburg, Maryland, USA.

NOURIAN, F. y RAMASWAMY, H.S. 2003. Kinetics of quality change during cooking and frying of potatoes; Part I. Texture. *Journal of Food Process Engineering*. 26: 395-411.

- PANTZARIS, T. y ELIAS, B. 1996. The Role of Palm Oil in Oils & Fats. *Food Technology in Europe*. 3 (2): 71-74.
- PEDRESCHI, F., AGUILERA, J.M. y PYLE, L. 2001. Textural characterization and kinetics of potato strips during frying. *Journal of Food Science*. 66:314-318.
- PEDRESCHI, F., BUSTOS, O., MERY, D., MOYANO, P., KAACK, K. y GRANBY, K. 2006. Color kinetics and acrylamide formation in NaCl soaked potato chips. *Journal of Food Engineering*. 79(3): 989-997.
- PÉREZ-TINOCO, M.R., PÉREZ, A., SALGADO-CERVANTES, M., REYNES, M. y VAILLANT, F. 2008. Effect of vacuum frying on main physicochemical and nutritional quality parameters of pineapple chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88: 945-953.
- PIAZZA, L. GIGLI, J. y BENEDETTI, S. 2007. Study of structure and flavour release relationships in low moisture bakery products by means of the acoustic-mechanical combined technique and the electric nose. *Journal of Cereal Science*. 48(2): 413-419.
- PSZCZOLA D. 2002. *Snack Foods: Ingredient Concept to Munch*. Food Technology 56:82-96.
- PULPAS DEL ZURQUÍ. 2004. Ficha técnica para pulpa de mora y de maracuyá.
- REYES- CARMONA, J., YOUSEF, G., MARTINEZ-PENICHE, R. y LILA, M. 2005. Antioxidant Capacity of Fruit Extracts of Blackberry (*Rubus* sp.) produced in Different Climatic Regions. *Journal of Food Science*. 70 (7): 497-502.
- ROUDAUT, G., DACREMONT, C., VALLES, P., COLAS, B. y LE MESTE, M. 2002. Crispness: A critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science & Technology*. 13 : 217-227.
- SHAHIDI, F. y NACZK, M. 2004. *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. CRC Press. Florida, USA.
- SHYU, S. y HWANG, L. 2001. Effects of the processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Research International*. 34: 133-142.
- SHYU, S., HAU, L. y HWANG, L. 2005. Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85:1903–1908.
- SIRIWOHARN, T., WROLSTAD, R.E., FINN, C.E. y PEREIRA, C. 2004. Influence of cultivar, maturity, and sampling on blackberry (*Rubus* L. Hybrids) anthocyanins,

polyphenolics, and antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 8021-8030.

STONE, H. y SIDEL, J. 2004. *Sensory Evaluation Practices*. 3ra edición. Elsevier Academic Press. California, USA.

TAN, K.J. y MITTAL, G.S. 2006. Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *International Journal of Food Properties*. 9: 85-98.

THOMPSON, D. 1982. Response Surface Experimentation. *Journal of Food Processing*. 6: 155-162.

TRONCOSO, E. y PEDRESCHI, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT - Food Science and Technology*. 1-10. doi:10.1016/j.lwt.2009.01.008

TRONCOSO, E., PEDRESCHI, F. Y ZÚÑIGA, R.N. 2009. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT- Food Science and Technology*. 42: 187-195.

UFHEIL, G. y ESCHER, F. 1996. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. *Food Science and Technology* 29:287-294.

WANG, S. y LIN, H.S. 2000. Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48 (2):140-146.

ZDUNECK, A. y RANACHOWSKI, Z. 2006. Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life. *Electronic Journal of Polish Agricultural Universities*. 9(4), #30. En: [www.ejpau.media.pl](http://www.ejpau.media.pl)

### **5.3 Optimización de la fritura acoplada a la deshidratación osmótica para la obtención de hojuelas a partir de una base natural pectocelulósica y jugo pulposo de maracuyá.**

#### *5.3.1 Resumen*

Se optimizó la producción de "chips" u hojuelas a partir de una base natural pectocelulósica constituida por papaya verde. El proceso de fritura a presión hipobárica a 24 kPa, o a presión atmosférica, se acopló a una etapa previa de deshidratación osmótica. Se empleó una solución de deshidratación elaborada a partir de jugo pulposo de maracuyá (*Passiflora edulis*) para impregnar la papaya con los atributos sensoriales y nutricionales propios de esta fruta.

Se utilizó la metodología de superficie de respuesta, en la que las variables independientes fueron la temperatura (126-154 °C para fritura a presión atmosférica y 110-127 °C para fritura hipobárica) y el tiempo de fritura (2,4-6,6 min para fritura a presión atmosférica y 4,6-7,4 min para fritura hipobárica). Las variables dependientes fueron la actividad de agua ( $A_w$ ), la humedad, el contenido de grasa, el color, la dureza y la aceptación sensorial. Estas respuestas fueron modeladas utilizando una ecuación polinomial de segundo orden y se trazaron los gráficos de isorespuestas para determinar las zonas óptimas del proceso de fritura.

El análisis de componentes principales (PCA) indicó que las características sensoriales más importantes para el consumidor de chips de frutas fueron su color y su textura, determinando en gran medida la aceptación del producto.

Las condiciones óptimas de proceso para la elaboración de las hojuelas con sabor a maracuyá a presión atmosférica fueron 138,7 °C durante 5,3 min, mientras que para la fritura hipobárica se obtuvo 118,5 °C por 6,2 min. A estas condiciones, los productos tienen un contenido de grasa inferior a 13% (b.s).

La papaya verde resultó ser una buena base para la impregnación de jugo de maracuyá, ya que permitió la incorporación a su matriz del color, el sabor y el aroma de éste. Además, el corte transversal de la papaya ofrece una forma de estrella que resultó atractiva en las hojuelas producidas.

No se encontró correlación entre la dureza (medida como la fuerza de penetración de una sonda en el producto) y el sonido emitido al fracturarse las hojuelas. Sin embargo, las probabilidades de tendencia ( $p= 0,058$  y  $p= 0,044$ ) indican que puede existir un aumento de la intensidad del sonido al incrementarse la dureza de los "chips" de maracuyá.

### 5.3.2 Introducción

La tendencia en los esquemas de alimentación saludable se dirige al consumo balanceado de alimentos en tres comidas principales (desayuno, almuerzo y cena) y dos meriendas al día (Berdanier, 2002; Mela, 2005). Las recomendaciones nutricionales subrayan la necesidad de que estas meriendas sean naturales, con poca grasa y bajas en carbohidratos simples. Se propone normalmente una ración de frutas en cada una de ellas, por sus conocidas propiedades funcionales y nutritivas. Los estilos de vida actuales demandan meriendas que puedan cubrir las necesidades de los esquemas de nutrición y a la vez ser convenientes, es decir de fácil acceso y con una mínima o ninguna preparación doméstica. En este campo han surgido los “snacks” de frutas para sustituir la ración recomendada durante las meriendas y el mercado de estos productos se encuentra en una etapa de pleno auge (Leatherhead Food International, 2006; Food Info Net, 2007).

Un “snack” o merienda se considera como una pequeña comida que contribuye a la ingesta nutricional diaria recomendada (Berdanier, 2002). El total de ventas reportadas para el mercado internacional (países evaluados: Estados Unidos, Alemania, Japón, Francia, Inglaterra, Australia, Italia y España) de “snacks” de frutas en el año 2006 fue de USD 2,34 millones. En Europa se estima un crecimiento exponencial en los últimos años de los “snacks” saludables, siendo actualmente un mercado de USD 1,20 billones, donde un 2 % corresponde a productos de frutas orgánicas (Leatherhead Food International, 2006).

Los consumidores demandan cada vez más alimentos procesados que mantengan sus características originales. En términos industriales esto requiere el desarrollo de operaciones que minimicen el efecto adverso del procesamiento; las frutas deben preservar su sabor y aroma natural durante su transformación, deben estar preferiblemente libres de preservantes y su textura debe ser agradable. Actualmente se requiere de nuevas alternativas de procesamiento de las frutas para satisfacer estos requerimientos.

Ante la tendencia en los hábitos de consumo y la disponibilidad que hay en Costa Rica de frutas con propiedades funcionales, se estudió un proceso tecnológico innovador de fritura que emplea presiones al vacío (presiones hipobáricas) por lo que requiere temperaturas de procesamiento menores que las convencionales (Pérez-Tinoco *et al.*, 2008; Granda *et al.*, 2004). La fritura hipobárica ha sido aplicada para la elaboración de “chips” de papas (Garayo y Moreira, 2002; Troncoso *et al.* 2009); zanahoria (Fan *et al.* 2005 a,b; Shyu *et al.* 2005); manzana

(Shyu y Hwang, 2001; Mariscal y Bouchon, 2008); camote, vainicas, mango, papa morada (Da Silva y Moreira, 2008) y piña (Pérez-Tinoco *et al.* 2008), con una calidad sensorial y nutricional significativamente superior a la de los productos elaborados por un método de fritura tradicional. Además, la fritura al vacío permitió reducir la formación de acrilamida (Granda *et al.* 2004) en chips de papas, en comparación con un proceso de fritura a presión atmosférica.

Se escogió para la investigación el fruto de la papaya dado que en su estado verde tiene la propiedad de ser un alimento neutro (sin las propiedades sensoriales del estado maduro) y de tener una textura firme. Esto le confiere a la papaya verde el carácter de una matriz que facilita la impregnación con el jugo de frutas, en nuestro caso maracuyá, con sus propiedades funcionales y sensoriales.

La maracuyá, *Passiflora*, de la familia *Passifloraceae*, (*Passiflora edulis*, *Passiflora flavicarpa*) es una fruta que se ha estudiado por sus amplios efectos protectores a la salud, dado su contenido de alcaloides, compuestos cianogénicos y glicosil flavonoides. Se ha encontrado eugenol (920 mg/Kg) en el jugo y en la cáscara (1720 mg/kg) y metil salicilato abundantemente en el jugo. Además se han caracterizado varios glicósidos fenólicos en sus compuestos volátiles, tales como D-glucopiranosidos y en la pulpa y la corteza ciertas antocianinas (Shahidi y Nacz, 2004; Bendini *et al.*, 2006).

En el presente estudio se evaluaron los efectos de la fritura al vacío sobre las características de calidad de las hojuelas con sabor a maracuyá, en comparación con la fritura convencional a presión atmosférica.

### 5.3.3 Materiales y métodos

#### 5.3.3.1 Materia prima

Se utilizó papaya (*Carica papaya*) verde, de la variedad criolla cosechada en la zona tropical de Guácimo (300 msnm), provincia de Limón, Costa Rica. La fruta se impregnó con una base de pulpa de maracuyá (*Passiflora edulis*), tamizada, sin adición de azúcar ni aditivos (Pulpas del Zurquí, 2004). El aceite utilizado fue oleína de palma de la marca Dorofrit® (Grupo Numar, 2005 b).

#### 5.3.3.2 Proceso de producción de las hojuelas.

Se siguió el flujo de proceso presentado en la figura 5.2.1 del apartado 5.2.3.2 del capítulo anterior. La papaya se seleccionó en su estado verde, se peló y cortó en rodajas de 1,5 mm de espesor, se escaldó en agua hirviendo con  $\text{CaCl}_2$  (1 %, 5 min).

Los parámetros utilizados para la deshidratación por inmersión e impregnación en el jugo de maracuyá fueron: relación fruta:solución de 1:6, temperatura de 55 °C y una concentración de sólidos solubles en la solución a base de jugo de maracuyá de 50 °Brix con adición de sacarosa. El tiempo del tratamiento de deshidratación osmótica fue de 60 min con agitación constante a una velocidad de 40 rpm.

Posteriormente el producto fue enjuagado con agua y escurrido por 10 min para proceder a su fritura. El proceso a presión atmosférica fue tipo "batch" en un freidor de acero inoxidable de 15 L de capacidad con termo controlador y agitación constante (40 rpm). La fruta se introdujo en una canasta de fritura y se sumergió en el aceite. La relación fruta:aceite fue de 1:40. El producto frito se sacó de la canasta y se escurrió con papel toalla por 5 min.

La fritura hipobárica se llevó a cabo en un equipo piloto semi-continuo descrito por Pérez-Tinoco *et al.* (2008), empleando una presión de vacío constante de  $24 \pm 2$  kPa. La velocidad de las bandas transportadoras y, consecuentemente, el tiempo de fritura fue controlado ( $\pm 0,02$  min), así como la temperatura ( $\pm 0,4$  °C).

El producto se empacó en frascos de vidrio sellados con inyección de nitrógeno, para evitar el contacto con el oxígeno.

Las variables respuesta que se escogieron para estudiar los procesos de fritura fueron: humedad,  $A_w$ , contenido de grasa, color, dureza y aceptación por parte de consumidores. Las variables independientes fueron el tiempo y la temperatura de proceso.

#### 5.3.3.3 Análisis químicos

Se determinó la grasa cruda por extracción con éter etílico (AOAC, 1990), la humedad por medio del método 934.06 de AOAC (1990) y los sólidos solubles utilizando un refractómetro Abbe (Fisher Scientific, Tokio, Japón) con control de temperatura.

#### 5.3.3.4 Análisis físicos

La actividad de agua ( $A_w$ ) se midió por medio del equipo Aqua Lab modelo CX-2 (Decagon Devices Inc., Pullman, USA).

El color se determinó con un colorímetro Hunter Lab D25L modelo DP-9000 y se expresó por medio del sistema triestímulo:  $L^*$   $a^*$   $b^*$  (Hunter, 1992), el ángulo de tono o Hue ( $H^* = \tan^{-1}(b^*/a^*)$ ) y la pureza de tono (chroma) ( $C^* = [(a^*)^2 + (b^*)^2]^{1/2}$ ). Las muestras molidas y homogenizadas se analizaron por triplicado en cápsulas de vidrio sobre una placa con fondo blanco.

La dureza fue medida con un texturómetro modelo TA.XT Plus (Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK). Se utilizó el programa diseñado para la evaluación de crujencia en dicho texturómetro con una sonda cilíndrica de (6,3 mm diámetro, código P/O 25S) y un soporte especialmente adaptado para productos tipo "chips". Se midió la fuerza máxima (N) de compresión del producto a una velocidad de la sonda de 1 mm/s. Las mediciones se repitieron cinco veces por lote de muestras y se reportó el promedio.

#### 5.3.3.5 Análisis sensorial:

Las muestras fueron evaluadas de acuerdo a su aceptación con un panel de 86 consumidores para las hojuelas con fritura hipobárica, escogido y balanceado

entre mujeres y hombres. Se utilizó una escala lineal de nivel de agrado general de 15 cm de longitud (anexo 7).

Los resultados fueron analizados por medio del paquete estadístico SAS para Windows v 9.1 (Instituto SAS, Cary, NC, USA) para determinar la presencia de “clusters” o conglomerados de consumidores con diferentes patrones de preferencia del producto. Adicionalmente los consumidores llenaron una encuesta con la que se obtuvo información acerca de su disposición hacia el consumo de hojuelas fritas de frutas (anexo 7).

### 5.3.3.6 Diseño experimental y análisis estadísticos.

Se utilizó la metodología estadística de superficie de respuestas aplicando un diseño central compuesto rotatable (DCCR) y de precisión uniforme, con dos variables independientes: temperatura y tiempo de fritura para evaluar las respuestas de las variables dependientes de calidad de las hojuelas de papaya. El dominio experimental consistió de cuatro puntos factoriales (niveles codificados como +1 y -1), cuatro puntos axiales (dos puntos en cada eje a una distancia o radio de  $\pm \sqrt{2}$  (1,4142) del centro) y cuatro repeticiones del punto central (codificados como 0) para un total de doce puntos experimentales.

Los resultados fueron analizados mediante el programa estadístico JMP ® 5.1 (Instituto SAS, Inc., NC, USA) aplicándoles un análisis de regresión múltiple, no lineal, para satisfacer la ecuación polinomial de segundo orden:

$$Y = a_0 + a_{T^{\circ}} T^{\circ} + a_t t + a_{T^{\circ} T^{\circ}} T^{\circ 2} + a_{tt} t^2 + a_{T^{\circ} t} T^{\circ} t$$

donde  $a_k$  son las constantes de regresión del modelo, Y representa el valor de cada atributo de calidad medido, y  $T^{\circ}$  y t son los factores codificados del diseño ( $-\sqrt{2}, -1, 0, +1, +\sqrt{2}$ ).

Se estimaron los criterios estadísticos que determinaron la escogencia de los parámetros de calidad que se ajustaron al modelo polinomial. Estos fueron: el coeficiente de determinación ( $R^2$ ) entre la respuesta obtenida y la predicha, la probabilidad ( $p_{fa}$ ) de que la falta de ajuste del modelo sea cero (Test F) y la probabilidad (p) de significancia del modelo. Las variables respuesta significativas para el modelo se graficaron por medio del programa Sigma Plot (v.10.0; Systat software, CA, USA).

Se llevó a cabo un análisis de componentes principales (PCA por sus siglas en inglés) con los resultados de los atributos de calidad de las hojuelas para identificar aquellos que fueron más influyentes en la aceptación por parte de los consumidores.

El PCA representa gráficamente a cada eje de las coordenadas x e y que corresponden a un componente principal, los vectores constituyen las variables y los puntos las muestras. Los vectores alineados a cada eje, así como su longitud, son los que permitieron explicar cada componente.

#### 5.3.3.7 Estudio de dos metodologías instrumentales de análisis de la crujencia: por medio de texturómetro y medición acústica

Se determinó la dureza instrumental de las hojuelas, en términos de la fuerza de penetración de una sonda en el producto, por medio de un texturómetro TA.XT Plus (Micro Systems Ltd., Godalming, Surrey, UK). Se realizó además una medición de la intensidad del sonido al quebrarse el producto (programa de grabación de sonido Cool Edit Pro 2.0).

El sistema de grabación de sonido se adaptó al texturómetro empleando un micrófono con el objeto de realizar las mediciones simultáneamente y correlacionar ambos métodos de medición de la crujencia. Cada determinación se llevó a cabo cinco veces y se calculó el promedio.

El pico de sonido máximo (medido en su sección superior e inferior de la banda) obtenido para cada muestra del estudio, se cuantificó en intensidad (decibeles) y se correlacionó con la dureza (N) (SAS System).

### 5.3.4 Resultados y discusión

#### 5.3.4.1 Atributos de calidad de las hojuelas con sabor a maracuyá, producidas por fritura hipobárica y presión atmosférica

La utilización de presión hipobárica durante la fritura permitió procesar los “snacks” de papaya a temperaturas menores ( $T \leq 127,0$  °C) que las aplicadas durante la fritura a presión atmosférica ( $T \leq 154,1$  °C), obteniéndose además productos con menor contenido de humedad y valores inferiores de  $A_w$  (cuadros 5.3.1 y 5.3.2). Ambos procesos de fritura pueden ser aplicados para la elaboración de hojuelas con sabor a maracuyá que corresponden a un producto de baja humedad y estable microbiológicamente a temperatura ambiente, los cuales, de acuerdo con Moreira *et al.* (1999) deben tener una humedad  $\leq 10$  % y un valor de  $A_w \leq 0,35$ .

El empleo de temperaturas menores que las regularmente aplicadas cuando se fríe a presión atmosférica implica grandes ventajas en la calidad sensorial y nutricional de los productos procesados a presiones hipobáricas. Los productos de frutas y vegetales fritos a vacío presentaron una aceptación significativamente mayor que los elaborados a presión atmosférica (Da Silva y Moreira, 2008; Troncoso *et al.* 2009), por su textura, color, sabor y calidad global. El contenido de antocianinas de los “chips” de papa morada, así como el de carotenoides de los “chips” de vainicas, mango y camote fueron significativamente superiores al aplicar fritura al vacío, en comparación con los obtenidos mediante un proceso de fritura tradicional (Da Silva y Moreira, 2008).

Los porcentajes de grasa en los “chips” de papaya verde con sabor a maracuyá fueron menores en el producto obtenido con fritura a presión atmosférica (cuadros 5.3.1 y 5.3.2), dado que en general el contenido de grasa fue inferior al 18,1% b.s con fritura hipobárica y menor a 12,0% b.s al aplicar fritura a presión atmosférica. Estos resultados concuerdan con lo reportado por otros autores quienes encontraron que el contenido de grasa de los productos elaborados por fritura al vacío fue superior en el caso de “chips” de papa (Troncoso *et al.*, 2009), papa morada y mango (Da Silva y Moreira, (2008), donas (Tan y Mittal, 2006) y chips de papas pre-tratadas (Troncoso y Pedreschi, 2009). Sin embargo, Shyu *et al.* (2005) encontraron que la fritura al vacío a temperaturas moderadas (90 - 100 °C) permite la producción de “chips” de zanahoria con bajo contenido de aceite. Asimismo, la fritura al vacío permitió la obtención de productos con menor absorción de grasa en el caso de “chips” de manzana (Shyu y Hwang, 2001; Mariscal y Bouchon, 2008), camote y vainicas (Da Silva y Moreira, 2008) y papa (Garayo y Moreira, 2002).

La elaboración de productos fritos con mayor contenido de grasa al usar fritura al vacío podría relacionarse con la forma en que los productos se enfriaron, dado que el sistema de recolección de muestras fritas (frasco receptor) usado en el presente estudio favorece que ocurra el fenómeno de absorción de grasa a través de los capilares de la hojuela durante el enfriamiento. En estas circunstancias la presión del gas dentro de los poros del producto es menor que fuera de ellos, lo que ocasiona una absorción del aceite que se encuentra en la superficie (Moreira y Barrufet, 1998; Ufheil y Escher, 1996). Garayo y Moreira (2002) indican que el mecanismo de absorción de grasa en condiciones hipobáricas no está completamente dilucidado y seguiría un mecanismo de transporte más complejo que el asociado con la fritura a presión atmosférica, por lo que actualmente es tema de estudio (Troncoso y Pedreschi, 2009).

En el caso de la fritura a presión hipobárica, el producto se dejó enfriar en el frasco receptor dentro del equipo a baja presión, mientras que al freír a presión atmosférica el producto final se secó con toallas absorbentes inmediatamente después de su fritura, es decir en caliente. Esto provocaría una reducción del aceite superficial, lo que se ve reflejado en los resultados de porcentaje de aceite de las hojuelas. Sin embargo, el contenido de grasa de los productos, inferior a 18,1 % b.s al emplear fritura al vacío y menor a 12,0 % b.s con la fritura tradicional, fue aceptable para un producto tipo "snack", el cual se podría considerar de bajo contenido graso si contiene menos de 20 % en su composición (Pszczola, 2002).

El producto obtenido presentó una forma y un color intensamente amarillo que resultó atractivo al consumidor, de acuerdo con la aceptación medida (cuadro 5.3.1). Los resultados de aceptación sensorial fueron buenos, considerando que se utilizó una escala de nivel de agrado general de 15 cm y que la mayoría de las respuestas superaron el valor de 8 cm.

El total de jueces pudo ser dividido en tres segmentos o conglomerados ("clusters") de acuerdo con su aceptación de las hojuelas sabor a maracuyá con fritura hipobárica, la cual fue diferente en cada conglomerado. En el cuadro 5.3.1 se observa que para el grupo de consumidores correspondientes al conglomerado 3, la aceptación fue mayor para las muestras del punto central del diseño experimental ( $T= 119\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $t= 6\text{ min}$ ). Estas muestras presentaron colores amarillos intensos y un sabor a maracuyá definido de acuerdo con los comentarios que hicieron al final de la evaluación. Estas características fueron decisivas para este grupo de consumidores, mientras que al conglomerado 2 le agradaron todos los productos.

Cuadro 5.3.1 Resultados de los atributos de calidad obtenidos para las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá, con fritura hipobárica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental.

Temperatura fritura <sup>a</sup> (°C)	Tiempo fritura <sup>a</sup> (min)	# Muestra	Aw	Humedad (%)	Grasa <sup>b</sup> (% b.s.)	Color L*	Color C*	Color H*	Dureza (N)	Aceptación general	Aceptación Cluster <sup>c</sup> 1 n=57	Aceptación Cluster <sup>c</sup> 2 n=14	Aceptación Cluster <sup>c</sup> 3 n=15
110,5 (-√2)	6,0 (0)	10	0,38	5,3	18,09	77,7	33,1	85,5	1,7	7,27	6,66	11,19	5,95
113,0 (-1)	5,0 (-1)	6	0,34	5,6	17,09	73,3	37,9	84,1	5,2	8,15	7,21	12,24	7,91
113,0 (-1)	7,0 (+1)	11	0,40	5,2	17,18	71,5	35,3	82,4	12,1	9,10	8,22	10,75	10,93
119,0 (0)	4,6 (-√2)	2	0,31	3,1	10,90	65,9	37,4	79,3	6,0	8,65	7,87	11,89	8,57
119,0 (0)	6,0 (0)	3	0,28	3,4	13,25	66,5	37,4	80,3	5,1	9,65	8,93	11,25	11,85
119,0 (0)	6,0 (0)	4	0,28	3,1	13,02	69,3	36,6	80,7	6,1	8,47	7,16	10,76	11,28
119,0 (0)	6,0 (0)	8	0,31	3,5	11,97	72,4	36,6	82,2	5,8	9,18	8,22	10,56	11,58
119,0 (0)	6,0 (0)	12	0,30	3,2	12,90	68,5	36,6	78,5	5,7	9,20	7,90	11,69	11,99
119,0 (0)	7,4 (+√2)	7	0,27	2,8	10,21	57,2	36,1	74,5	5,4	8,10	7,54	10,02	8,45
125,0 (+1)	5,0 (-1)	9	0,28	2,2	11,22	56,3	38,5	74,4	3,6	9,84	9,22	11,70	10,45
125,0 (+1)	7,0 (+1)	5	0,27	2,5	17,59	45,3	34,6	68,6	5,1	5,21	3,91	8,24	7,31
127,0 (+√2)	6,0 (0)	1	0,27	1,5	17,10	51,4	34,8	70,9	2,4	4,08	3,44	8,10	2,73

<sup>a</sup> Valores codificados de cada factor en paréntesis.

<sup>b</sup> b.s: Base seca

<sup>c</sup> Segmentos de consumidores con patrones de aceptación diferenciados (clusters).

Cuadro 5.3.2 Resultados de los atributos de calidad obtenidos para las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá, con fritura a presión atmosférica, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental.

Temperatura fritura <sup>a</sup> (°C)	Tiempo fritura <sup>a</sup> (min)	# Muestra	Aw	Humedad (%)	Grasa <sup>b</sup> (% b.s.)	Color L*	Color C*	Color H*	Dureza (N)
125,9 (- $\sqrt{2}$ )	4,5 (0)	3	0,52	9,5	7,74	76,0	32,5	85,9	0,9
130,0 (- 1)	3,0 (- 1)	9	0,72	12,7	8,34	76,7	30,3	88,8	0,6
130,0 (- 1)	6,0 (+1)	11	0,39	5,8	10,95	74,6	34,1	86,1	5,6
140,0 (0)	2,4 (- $\sqrt{2}$ )	8	0,44	7,2	9,46	80,2	28,6	84,6	3,3
140,0 (0)	4,5 (0)	1	0,32	3,8	8,79	72,2	34,8	84,0	3,6
140,0 (0)	4,5 (0)	2	0,32	3,8	10,28	74,1	34,1	80,7	4,9
140,0 (0)	4,5 (0)	4	0,32	4,0	9,06	74,1	34,6	80,9	3,1
140,0 (0)	4,5 (0)	6	0,33	3,7	10,67	73,4	35,3	80,0	4,4
140,0 (0)	6,6 (+ $\sqrt{2}$ )	7	0,30	3,1	8,89	64,8	37,9	76,2	4,3
150,0 (+1)	3,0 (-1)	5	0,31	1,8	11,47	70,4	36,7	79,0	4,6
150,0 (+1)	6,0 (+1)	12	0,30	2,9	9,85	52,4	37,5	73,7	4,2
154,1 (+ $\sqrt{2}$ )	4,5 (0)	10	0,30	1,8	11,98	53,1	35,9	73,1	3,3

<sup>a</sup> Valores codificados de cada factor en paréntesis.

<sup>b</sup> b.s: Base seca

#### 5.3.4.2 Efectos de las variables independientes, temperatura (T) y tiempo (t), sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá.

Los coeficientes de regresión del modelo, que representan los efectos de los factores, y sus respectivos niveles de significancia ( $p$ ) se presentan en los cuadros 5.3.3 y 5.3.4 para ambas metodologías de fritura de las hojuelas con sabor a maracuyá. Para efectos del presente estudio se consideró que existe una adecuación del modelo si el coeficiente de determinación,  $R^2$ , es superior a 0,75 (Henika, 1982) y la probabilidad de la falta de ajuste es superior a 10 % (Thompson, 1982).

En el caso de las hojuelas de papaya con sabor a maracuyá producidas mediante fritura hipobárica, los modelos generados fueron adecuados para el  $A_w$ , la humedad, el contenido de grasa (b.s), los parámetros de color  $L^*$ ,  $H^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$  y la aceptación sensorial para el grupo de consumidores 2 (cuadro 5.3.3, variables-respuesta señaladas en negrita). La textura, expresada en este caso por la dureza (N), es un atributo muy importante para los productos tipo 'snacks'; sin embargo el efecto de la temperatura y tiempo de fritura no fue significativo para las hojuelas sabor a maracuyá con fritura hipobárica. Shyu y Hwang (2001) encontraron para hojuelas de manzana fritas por medio de un sistema al vacío, una correlación significativa entre los efectos de humedad, contenido de grasa y las variables independientes del tiempo y la temperatura de fritura.

Los modelos matemáticos generados para la fritura a presión atmosférica de las hojuelas de maracuyá fueron adecuados para las variables  $A_w$ , humedad y parámetros de color  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $H^*$  (cuadro 5.3.4, variables señaladas en negrita).

Las respuestas obtenidas para cada diseño experimental se expresaron como gráficos de contorno de iso-respuestas (figuras 5.3.1, 5.3.2, 5.3.3) y las condiciones óptimas del proceso fueron identificadas a partir de éstos.

Cuadro 5.3.3 Efectos de las variables independientes temperatura ( $T^{\circ}$ ) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá, con fritura hipobárica.

Variable	Aw	Humedad (%)	Grasa (% b.s.)	Color L*	Color C*	Color H*	Dureza (N)	Aceptación general
$a_0$	0,292 ***	3,28 ***	12,786 ***	69,175 ***	36,807 ***	80,4375 ***	5,669	9,125 ***
$a_{T^{\circ}}$	-0,0428 **	-1,417 ***	-0,858	-10,062 ***	0,292	-5,504 ***	-0,943	-0,839 *
$a_t$	-0,0017	-0,063	0,686	-3,136	-1,041	-1,788	0,948	-0,557
$a_{T^{\circ}t}$	0,0211	0,237	2,828 *	-2,665	-1,12	-1,1519	-1,157	-1,462
$a_{tt}$	0,0041	0,0378	-0,692	-4,155	0,288	-1,809	0,683	-0,112
$a_{T^{\circ}t}$	-0,015	0,169	1,571	-2,275	-0,307	-1,02	-1,373	-1,395
$R^2$	0,879	0,934	0,839	0,975	0,735	0,973	0,5	0,865
p	0,01	0,0017	0,0227	<0,0001	0,0875	0,0001	0,4150	0,0137
p fa> F	0,282	0,027	0,025	0,709	0,0367	0,929	0,0028	0,0975

p > |t| : \*\*\* : <0,0001; \*\* : <0,001 ; \* : <0,01  
 p fa> F probabilidad de la falta de ajuste al modelo

Cuadro 5.3.4 Efectos de las variables independientes: temperatura (T°) y tiempo (t) sobre los atributos de calidad de las hojuelas de papaya, sabor a maracuyá, con fritura a presión atmosférica.

Variable	Aw	Humedad (%)	Grasa (% b.s.)	Color L*	Color C*	Color H*	Dureza (N)
a <sub>0</sub>	0,3255 ***	3,8435 ***	9,6993 ***	73,4477 ***	34,7025 ***	81,4121 ***	4,0189 ***
a <sub>T°</sub>	-0,1419 **	-4,3536 ***	1,4187	-10,7522 ***	2,6016 *	-7,1261 **	1,0405
a <sub>t</sub>	-0,0976 **	-2,051 ***	0,0358	-7,4170 ***	3,1361	-3,5342	1,0774
a <sub>T°T°</sub>	0,1052 *	2,0197 **	0,4798	-8,9281 ***	-0,0238	-0,9457	-1,5124
a <sub>tt</sub>	0,0667	1,5113	-0,2050	-0,9347	-0,9784	-0,0455	0,2079
a <sub>T°t</sub>	0,1634 *	4,0118 **	-2,1114	-7,9668 ***	-1,5094	-1,3145	-2,6794
R <sup>2</sup>	0,942	0,986	0,7	0,995	0,824	0,923	0,813
p	0,0012	<0,0001	0,1246	<0,0001	0,0288	0,0027	0,0341
p fa> F	0,0012	0,007	0,425	0,506	0,0214	0,4283	0,4301

p > |t| : \*\*\* : <0,0001; \*\* : <0,001 ; \* : <0,01

p fa> F probabilidad de la falta de ajuste al modelo

Los valores más altos obtenidos en la evaluación de agrado para las hojuelas con fritura hipobárica se encontraron alrededor de 9 cm en la escala lineal y dentro de estos límites o contornos se determinó los valores que corresponden a los parámetros de color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $H^*$ .

El color es un parámetro muy importante para la aceptación de las hojuelas y se obtuvo que los “chips” con mayor aceptación tenían un color más claro. La figura 5.3.1 muestra que el valor de aceptación de 9 del producto se obtuvo cuando éste presentó una luminosidad ( $L^*$ ) entre 65 y 75. Los valores menores se encontraron en una zona de menor aceptación. Es decir, a los consumidores les gustó un producto claro y les desagradó un chip oscuro.

Da Silva y Moreira (2008) obtuvieron resultados similares en un estudio realizado con “chips” de mango, donde se determinó que el producto frito al vacío presentó valores significativamente más altos de luminosidad en comparación con el producido a condiciones atmosféricas. Esto indicó mayor claridad en el color y más aceptación en las hojuelas producidas con fritura hipobárica.

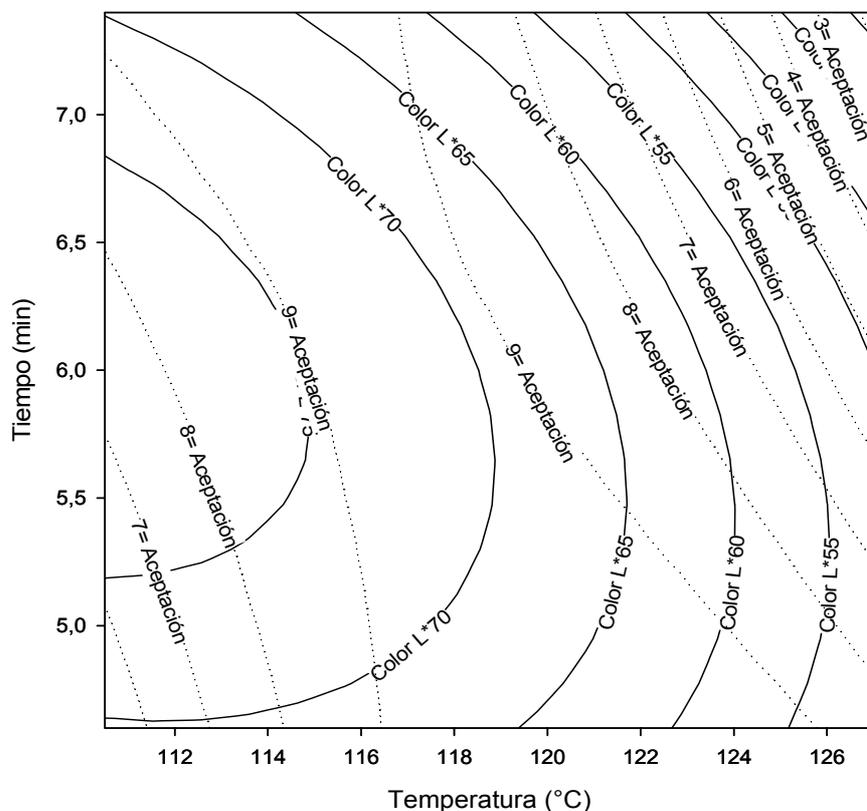


Figura 5.3.1 Gráfico de contorno de isorespuestas para la luminosidad ( $L^*$ ) y la aceptación de las hojuelas de maracuyá, elaboradas a presión hipobárica.

El contenido de grasa en forma de aceite es otro factor de importancia, considerando que el objetivo es obtener un “snack” saludable y por tanto con un nivel reducido de este componente. La figura 5.3.2 muestra que se obtuvo una aceptación de 9 en el producto con menores contenidos de grasa (12 -14 % b.s.). Las temperaturas del proceso necesarias para obtener dichos resultados se encuentran entre 118 y 120 °C, lo que concuerda con los puntos óptimos (cuadro 5.3.5).

Las hojuelas de papaya fritas al vacío presentaron un nivel relativamente bajo de aceite absorbido ( $\leq 18$  % de grasa) en todos los puntos experimentales, y puede ser catalogado como un producto de bajo contenido grasa. En un estudio similar donde se frió “chips” de papas por medio de fritura hipobárica se reportan porcentajes de grasa alcanzados de 26 % b.s. (Garayo y Moreira, 2002), mientras que Pérez-Tinoco *et al.* (2008) obtuvieron porcentajes de 20 % b.s. en hojuelas de piña.

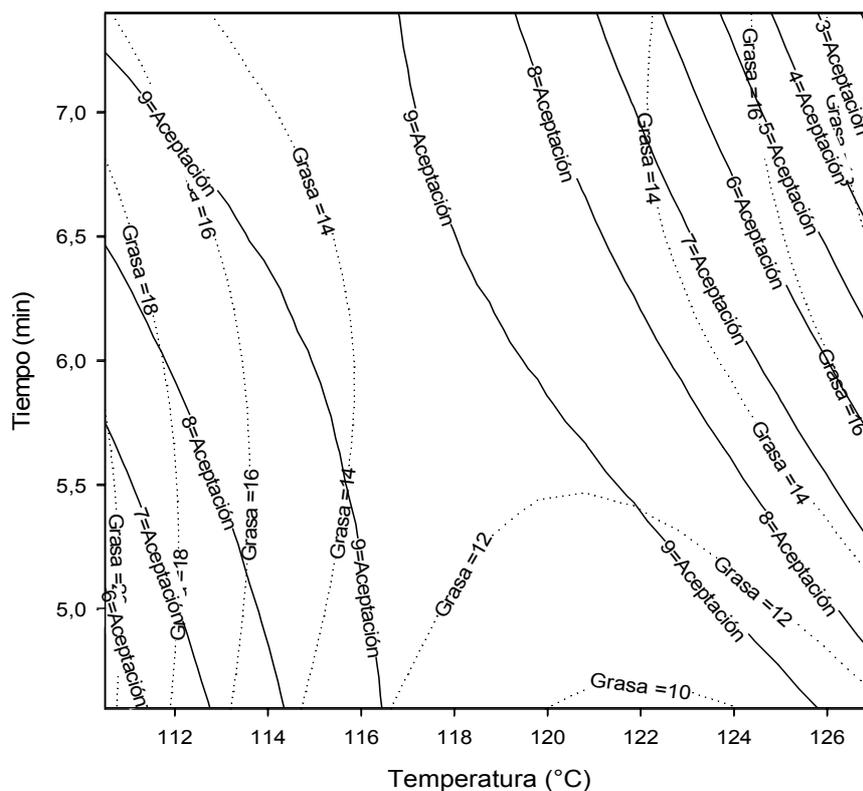


Figura 5.3.2 Gráfico de contorno de iso-respuestas para grasa (b.s) y aceptación de las hojuelas de maracuyá, elaboradas a presión hipobárica.

La crujencia es un parámetro complejo para su medición instrumental, sin embargo, en el caso de hojuelas fritas la fuerza de penetración (o dureza) determinada por medio de un texturómetro puede ser un buen indicador (Moreira *et al.*, 1999; Pérez-Tinoco *et al.*, 2008). Los “chips” de papaya fritos por medio de fritura a presión atmosférica en los que se aplicaron mayores temperaturas por tiempos largos, tendieron a presentar mayores valores de dureza. Se observa en la figura 5.3.3 que la temperatura de fritura tuvo un efecto significativo en la textura (o dureza) de las hojuelas con sabor a maracuyá fritos a presión atmosférica, la que aumentó al incrementarse la temperatura. Esto se vio reflejado en el Aw del producto, cuyos valores fueron menores al ser más duro el producto (figura 5.3.3).

Después de un cierto tiempo de fritura, la textura se torna dura debido a una deshidratación de las capas más externas del producto y a la formación de una costra. Pedreschi *et al.* (2001) encontraron que un valor de 1,9 N para la fuerza

de ruptura estaría asociado con la completa formación de dicha costra y el término óptimo del proceso de fritura de papas a la francesa.

Ayi (2008) reportó un valor  $8,3 \pm 1,5$  N para la fracturabilidad de un “snack” tipo tortilla, elaborado a partir de harina de maíz con un 50 % de sustitución de harina de pejibaye. Para una tortilla “chip” de maíz que se frió a  $190$  °C por 30 s se encontró una dureza de 6,5 N (Moreira *et al.*, 1995), mientras que una tortilla “chip” producida con sorgo fue más fracturable, dado que su dureza fue de  $10,6 \pm 1,7$  N (Cedillo, 2005). La diferencia en los valores de fracturabilidad de los productos fritos podría explicarse por diferencias a nivel del espesor, así como por los ingredientes o la composición físicoquímica. El cambio en la textura está influenciada por el contenido de almidón, el tamaño de gránulos de almidón, los polisacáridos de la pared celular vegetal, los polisacáridos no almidonosos y las sustancias pécticas (Nourian y Ramaswamy, 2003). El almidón presente en las papas tiende a provocar en el producto frito una separación de las células, mientras que las sustancias pécticas tienden a prevenir su separación, debido a su propiedad de cohesividad (Hindra y Baik, 2006).

Troncoso *et al.* (2009) así como Garayo y Moreira (2002) obtuvieron, de igual forma, que las temperaturas altas de fritura al vacío incrementaron la fuerza máxima de ruptura de los “chips” de papa al igual que su dureza. Este efecto se ve reflejado también en el  $A_w$ , cuyos valores fueron menores al ser más duro el producto, como se aprecia en la figura 5.3.3. Si se correlaciona la fuerza de penetración con la humedad se puede inferir que mientras más seco, el producto es más duro. Sin embargo, un  $A_w$  crítico puede establecerse en 0,3, ya que valores menores no fueron bien aceptados (cuadro 5.3.1).

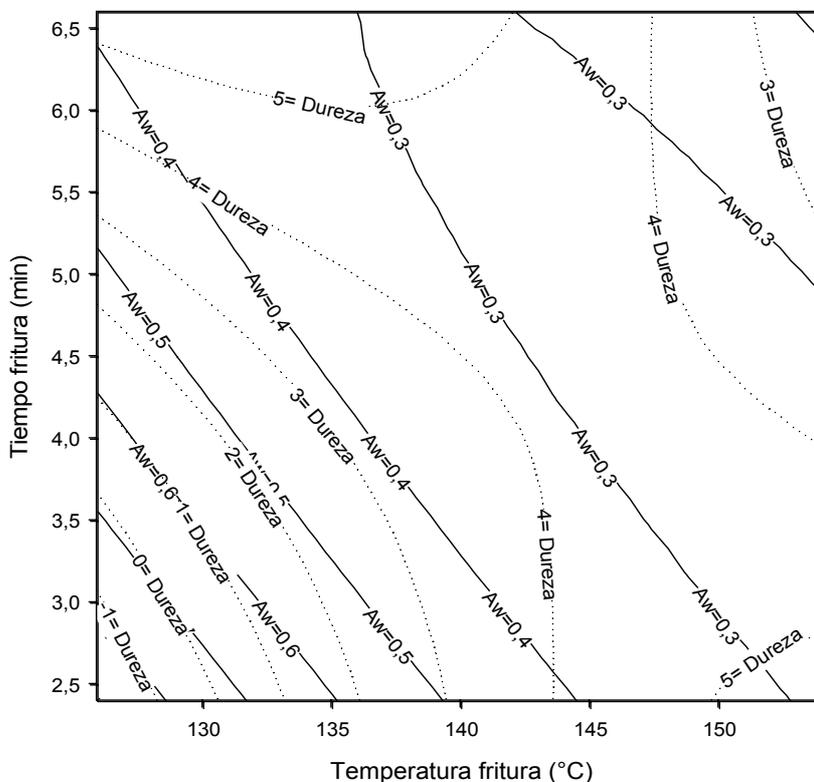


Figura 5.3.3 Gráfico de contorno para la isorespuesta de  $A_w$  y dureza de las hojuelas de maracuyá, elaboradas a presión atmosférica.

#### 5.3.4.3 Análisis de Componentes Principales (PCA).

Por medio del análisis de componentes principales (Stone y Sidel, 2004) es posible visualizar de forma gráfica la relación existente entre los resultados físicos, químicos y sensoriales de un experimento. De esta manera se comparó la aceptación sensorial obtenida para las hojuelas con los resultados de los análisis llevados a cabo y así fue factible identificar los atributos de calidad más influyentes en la decisión sensorial de los consumidores.

En la figura 5.3.4 se graficaron los componentes que explican un 77,5 % de la varianza de los resultados (componente principal 1) y un 12,8 % de la varianza (componente principal 2). Los puntos de la figura representan las muestras y los vectores los atributos de calidad medidos.

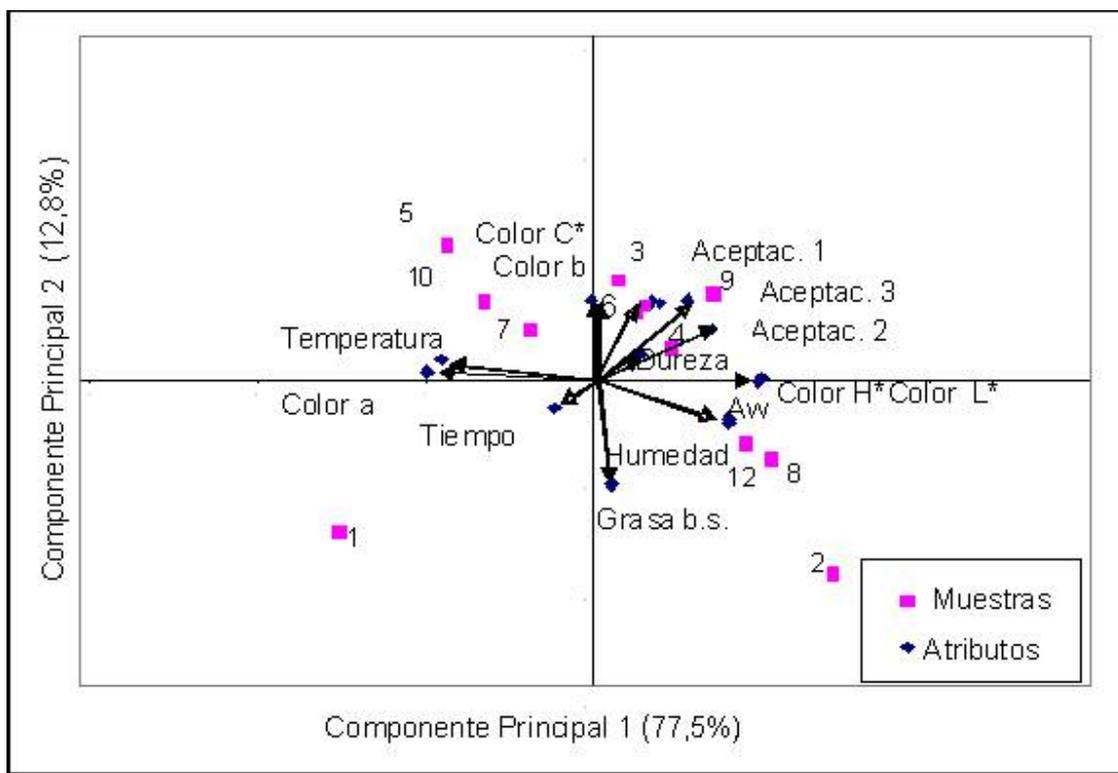


Figura 5.3.4 Análisis de componentes principales para las muestras (1-12) de hojuelas de maracuyá producidas con fritura a presión hipobárica. Los valores de tiempo y temperatura de fritura asociado a cada número de muestra se encuentran en el cuadro 5.3.1.

Los vectores de aceptación (denominados 1, 2 y 3 de acuerdo al “cluster” respectivo) se encontraron cercanos al eje del componente principal 1 al igual que el parámetro de color  $H^*$ , la luminosidad ( $L^*$ ), el  $A_w$  y la humedad de las hojuelas de maracuyá. En contraposición a estos vectores y, con una longitud parecida, se observaron el parámetro de color  $a$  y la temperatura de fritura. Es por esto que puede inferirse que la aceptación del producto estuvo determinada por la dureza, la tonalidad ( $H^*$ ) y la luminosidad ( $L^*$ ). Las temperaturas altas generaron productos más secos, más oscuros, más duros y con menos aceptación por los tres grupos (clusters) de consumidores.

El PCA puede utilizarse en este estudio para validar las condiciones óptimas de proceso calculadas por medio de la metodología de superficies de respuesta, ya que en el análisis de componentes principales se presentan las muestras evaluadas. Las muestras 3 y 4 se encuentran cercanas a los vectores de

aceptación y ambas fueron producidas con las condiciones de  $T= 119\text{ }^{\circ}\text{C}$  y  $t= 6,0$  min, representando así el proceso óptimo (cuadro 5.3.5) de acuerdo a una mayor aceptación.

En la figura 5.3.5 se graficaron los componentes que explicaron un 79,4 % de la varianza de los resultados (componente principal 1) y un 11,3 % de la varianza (componente principal 2), para las muestras de hojuelas con fritura a presión atmosférica. Se observa que valores altos de luminosidad ( $L^*$ ), de humedad y de  $A_w$  se encontraron opuestos a valores altos de temperatura y tiempo de fritura de las muestras. Esto se compara con los resultados a presión hipobárica, donde el producto oscuro se obtuvo al aumentar las condiciones de temperatura y tiempo, lo cual no fue aceptado por los consumidores.

Se trazó el gráfico de componentes principales para el producto de maracuyá obtenido con fritura a presión atmosférica (figura 5.3.5) a pesar de no contar con resultados de aceptación sensorial, ya que para este caso no se llevó a cabo el estudio con consumidores. Sin embargo, si se considera un comportamiento similar de aceptación tal como el de las hojuelas producidas con fritura a presión hipobárica, donde la preferencia se rigió por el color, la humedad y la dureza, es posible inferir que las muestras con mayor aceptación serían las 2 y 4, que se encuentran en posiciones similares en el PCA a las escogidas con fritura hipobárica. Estas muestras fueron producidas con una temperatura de fritura de  $140\text{ }^{\circ}\text{C}$  y un tiempo de 4,5 min (cuadro 5.3.5).

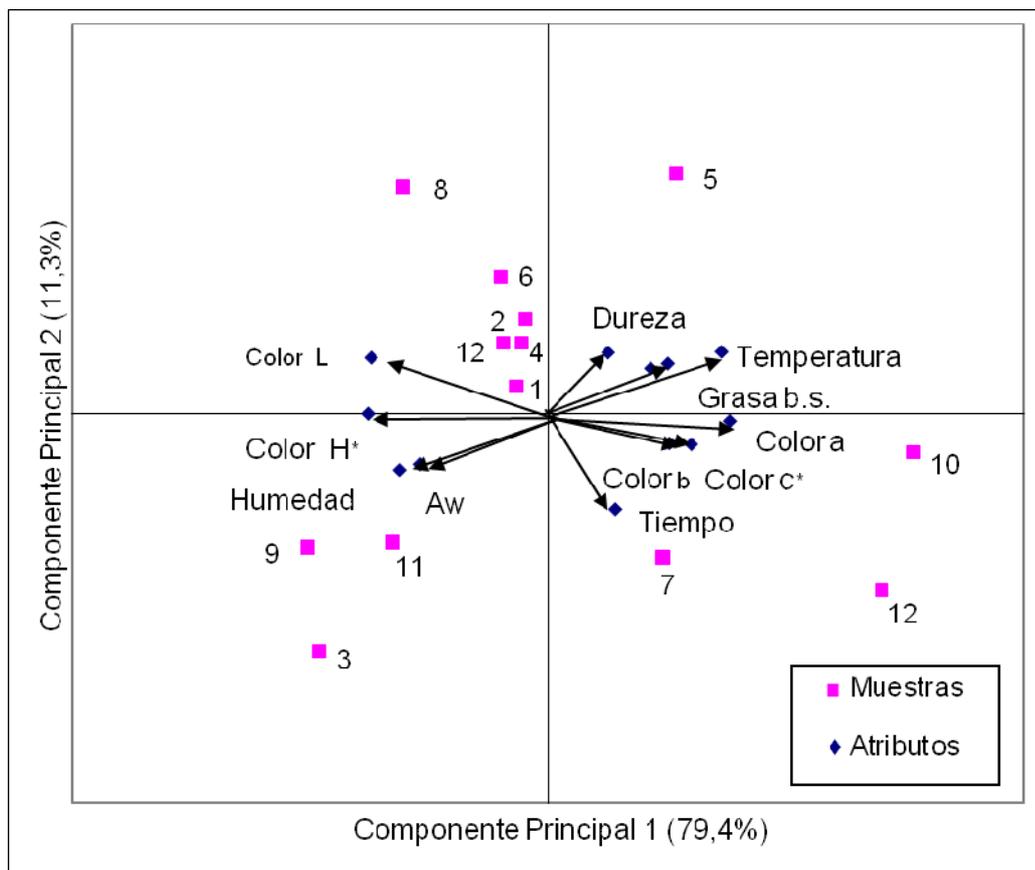


Figura 5.3.5 Análisis de componentes principales para las muestras de hojuelas de maracuyá producidas con fritura a presión atmosférica. Los valores de tiempo y temperatura de fritura asociados a cada número de muestra se encuentran en el cuadro 5.3.2.

#### 5.3.4.4 Puntos óptimos calculados a partir del diseño experimental de superficies de respuesta.

De acuerdo con los análisis de puntos óptimos determinados a partir de las superficies de respuesta se puede obtener cada par de temperatura y tiempo recomendados para la producción de las hojuelas con sabor a maracuyá fritas a presión hipobárica y a presión atmosférica (cuadro 5.3.5). La metodología de superficies de respuesta generó los puntos óptimos a partir del cálculo matemático utilizando el diseño experimental, se puede observar que estos resultados cercanos a los encontrados en el PCA para las muestras de mayor aceptación, por lo que se puede decir que fueron congruentes.

Las temperaturas óptimas de fritura hipobárica (118-119 °C) fueron inferiores en aproximadamente 20 °C a las temperaturas utilizadas bajo condiciones atmosféricas (139-140 °C); pero se requieren tiempos de fritura mayores. Shyu y Hwang (2001) obtuvieron condiciones óptimas de fritura, para hojuelas de manzana elaboradas con fritura hipobárica, de 100-110 °C por tiempos de 20-25 min, mientras que para Pérez-Tinoco *et al.* (2008), una temperatura de 112 °C y un tiempo de fritura de 6,9 min fueron los parámetros más adecuados para el procesamiento de hojuelas de piña. Estos resultados indicarían que la matriz de papaya utilizada en el presente estudio requirió para su fritura temperaturas mayores pero tiempos menores, con el sistema semi continuo de fritura hipobárica.

Cuadro 5.3.5 Comparación de puntos óptimos del diseño experimental.

<b>METODOLOGIA</b>	<b>Hojuelas con fritura hipobárica</b>	<b>Hojuelas con fritura a presión atmosférica</b>
Superficies de Respuestas (estimados)	T= 118,5 °C t= 6,2 min	T= 138,7 °C t= 5,3 min
PCA (muestra evaluada con mayor aceptación)	T= 119,0 °C t= 6,0 min	T= 140,0 °C t= 4,5 min

La concentración de grasa, el valor de  $A_w$  y la dureza de las hojuelas de maracuyá estimados a partir de los modelos matemáticos generados a las condiciones óptimas de fritura se presentan en el cuadro 5.3.6 con el fin de considerar las características físicoquímicas que se esperarían en este tipo de producto. Se observa que el contenido de grasa de las hojuelas de papaya con sabor a maracuyá obtenidas bajo condiciones optimizadas de fritura hipobárica (12,9 % b.s.) fue inferior al valor de 20 % b.s reportado por Pérez-Tinoco *et al.* (2008) en hojuelas de piña fritas al vacío.

Cuadro 5.3.6 Contenido de grasa, valor de  $A_w$  y de dureza de las hojuelas de maracuyá, para las condiciones óptimas de fritura, estimadas a partir del modelo matemático generado.

PRODUCTO	$A_w$	Grasa (b.s)	Dureza (N)
Hojuelas de maracuyá con <i>fritura a presión hipobárica</i> ( $T=118,2\text{ °C}$ , $t=6,1\text{ min}$ )	0,30	12,96	6,5
Hojuelas de maracuyá con <i>fritura a presión atmosférica</i> ( $T=137,0\text{ °C}$ , $t=5\text{ min}$ )	0,30	8,94	4,9

5.3.4.5 Dureza e intensidad de sonido emitido al quebrarse las hojuelas de papaya, de acuerdo a los parámetros de temperatura y tiempo del diseño experimental.

Las bandas de sonido máximas, obtenidas para cada muestra del presente estudio, se cuantificaron en intensidad (decibeles) y se correlacionaron con la dureza (N). Por los coeficientes de correlación que se observan en el cuadro 5.3.6, se concluye que la variación del sonido no fue explicada por la variación en la dureza de las hojuelas de papaya sabor a maracuyá. Sin embargo, las probabilidades ( $p= 0,0581$  y  $p= 0,0441$ ) indican que existe una tendencia a aumentar la intensidad del sonido al incrementarse la dureza. Es decir, mientras más dura sea la hojuela, mayor puede ser el sonido emitido al quebrarse.

Algunas investigaciones que combinan el análisis de grabaciones acústicas con mediciones mecánicas-instrumentales han sido satisfactorias para predecir la crujencia de diferentes alimentos y bocadillos (Duizer, 2001; Roudaut *et al.*, 2002; Duizer y Winger, 2003). Sin embargo a pesar de que la fuerza máxima de dureza se ha correlacionado con la crujencia a nivel sensorial, no se reporta lo mismo con las bandas de sonido aéreo que se obtienen por métodos de grabación acústica (Zdunek y Ranachowski, 2006).

Piazza *et al.* (2007) muestran en su estudio, con productos de panadería de baja humedad, que la medición de la energía acústica durante la fractura brinda un comportamiento que no necesariamente es explicado por las curvas de textura realizadas por el método mecánico.

Cuadro 5.3.6 Resultados de dureza e intensidad del sonido (para dos bandas graficadas) al fracturarse las hojuelas de papaya sabor a maracuyá, obtenidas por fritura hipobárica (n= 61).

Temperatura fritura (°C)	Tiempo fritura (min)	Fuerza máxima dureza (N)	Intensidad promedio sonido banda superior (decibeles)	Intensidad promedio sonido banda inferior (decibeles)
110,5 (-√2)	6,0 (0)	1,67	17,3	15,8
113,0 (-1)	5,0 (-1)	5,175	14,6	12,8
113,0 (-1)	7,0 (+1)	11,99	13,7	13,2
119,0 (0)	4,6 (-√2)	3,27	21,4	21,7
119,0 (0)	6,0 (0)	7,09	11,2	10,5
119,0 (0)	6,0 (0)	5,10	12,9	13,6
119,0 (0)	6,0 (0)	6,45	12,1	12,1
119,0 (0)	6,0 (0)	6,99	19,8	21,9
119,0 (0)	6,0 (0)	5,68	10,3	9,1
119,0 (0)	7,4 (+√2)	5,44	12,3	12,7
125,0 (+1)	5,0 (-1)	3,61	13,2	11,9
125,0 (+1)	7,0 (+1)	5,92	10,6	9,2
127,0 (+√2)	6,0 (0)	3,27	18,4	18,0
Coefficiente Correlación Dureza-Intensidad sonido			0,2440	0,2587
Coefficiente Determinación, R <sup>2</sup>			0,0595	0,0669
Probabilidad asociada (p)			0,0581	0,044

Con el fin de evaluar si el número de picos obtenidos en cada banda de sonido correlacionaba con la dureza, se cuantificó dicha cantidad y se efectuó un análisis de regresión (SAS System). Los resultados muestran una baja correlación entre la dureza y el número de picos ( $R^2 = 0,068$ ), sin embargo la probabilidad del modelo ( $p = 0,043$ ) indica una posible tendencia entre ellos (ver gráfico en Anexo 9). Al disminuir la dureza del producto se produce una mayor cantidad de picos, siendo algunos muy pequeños.

### 5.3.5 Conclusiones

La papaya verde es una matriz alimenticia que permite su impregnación con jugo pulposo de maracuyá de manera que el producto final obtenido por fritura presenta el sabor, aroma y color de esta fruta.

La aplicación de la fritura hipobárica permitió obtener valores de humedad y de  $A_w$  en las hojuelas con sabor a maracuyá que corresponden a los de un producto de baja humedad y estable a temperatura ambiente. El producto obtenido presentó una forma y un color intensamente amarillo que resultó atractivo al consumidor, de acuerdo al estudio de aceptación.

La fritura convencional, a presión atmosférica, también da como resultado un producto crujiente y de buena apariencia sin embargo, requiere mayores temperaturas de proceso y no logra extraer el agua del producto hasta los niveles que se alcanzan con la fritura hipobárica, a las condiciones estudiadas.

La aceptación del producto está determinada por la humedad y el color, el cual es óptimo al ser amarillo intenso como la fruta de origen. En cuanto a los parámetros del proceso, las temperaturas altas y los tiempos más largos generaron productos menos aceptados por el grupo de consumidores mayoritarios, para ambos procesos de fritura estudiadas.

Las condiciones óptimas para la fritura hipobárica de hojuelas con sabor a maracuyá fueron de 118,5 °C y 6,2 min y para la fritura a presión atmosférica 138,7 °C y 5,3 min.

Es posible validar los datos calculados por la metodología de superficies de respuesta con los obtenidos en el PCA donde se utilizan las muestras elaboradas.

La variación del sonido que se produce al fracturarse las hojuelas no es explicada por la variación en la dureza de las hojuelas de papaya.

### 5.3.6 Bibliografía Capítulo 5.3

AOAC. 1990. Official Methods of Analysis. 15 ed. Association of Official Analytical Chemists. Vol. 2. Virginia, USA.

AYI, D. 2008. Desarrollo de un snack tipo tortilla a base de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth). Proyecto final de graduación de licenciatura en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

BENDINI, A., CERRETANI, L., PIZZOLANTE, L. TOSCHI, T., GUZZO, F., CEOLDO, S., MARCONI, A., ANDREETTA, F. y LEVI, M. 2006. Phenol content related to antioxidant and antimicrobial activities of *Passiflora* spp. Extracts. *European Food Research and Technology*. 223: 102–109.

BERDANIER, C. 2002. Handbook of Nutrition and Food. CRC Press. New York. USA. p. 29-32

CEDILLO, G. 2005. Nutraceutical Tortillas and Tortilla Chips Prepared with Bran From Specialty Sorghums. Master Science Thesis. Texas A&M University. USA.

DA SILVA, P. y MOREIRA, R. 2008. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT - Food Science and Technology*. 41(10): 1758-1767.

DUIZER, L. 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. *Trends in Food Science & Technology*. 12 :17-24.

DUIZER, L. y WINGER, R. 2003. Objective techniques for measuring perception of crispness in extruded snacks. 5 th. Pangborn Sensory Sc. Symposium. July 20-24. Boston, USA.

FAN, L., ZHANG, M., XIAO, G., SUN, J. y TAO, Q. 2005 a. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. *International Journal of Food Science and Technology*. 40: 911–919.

FAN, L., ZHANG, M. y MUJUMDAR, A. 2005 b. Vacuum Frying of Carrot Chips. *Drying Technology*. 23(3):645- 656.

FOOD INFO NET. 2007. Healthy Snacking: Future Trends & New Insights. Datamonitor. En: [www.foodinfonet.com](http://www.foodinfonet.com)

GARAYO, J. y MOREIRA, R. 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*. 55 (2): 181-191.

GRANDA, C., MOREIRA, R. y TICHY, S. 2004. Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying. *Journal of Food Science*. 69(8): E405-E411.

GRUPO NUMAR. 2005 a. Información Corporativa. En: [www.numar.net/esp/info.html](http://www.numar.net/esp/info.html)

GRUPO NUMAR. 2005 b. Especificaciones de Calidad del Producto D'Orofrit 5 ®. Compañía Numar S.A. Costa Rica.

HENIKA, R. 1982. Use of Response Surface Methodology in Sensory Evaluation. *Food Technology*. 36: 96-102.

HINDRA, F. y BAIK, O-D. 2006. Kinetics of quality changes during food frying. *Critical Reviews in Food Science and nutrition*. 46: 239-258.

HUNTER Associates Laboratory. 1992. User's Manual for D25 DP-9000 Systems. Manual Version 1.3 . USA.

LEATHERHEAD FOOD INTERNATIONAL. 2006. The International Market for Fruit Snacks- Trends and Developments in fruit bars, canned fruit and ambient fruit snacks, dried fruit snacks and chilled fruit snacks. En: [www.researchandmarkets.com/reportinfo](http://www.researchandmarkets.com/reportinfo)

MARISCAL, M. y BOUCHON, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry* 107: 1561-1569.

MELA, D. 2005. Food, diet and obesity. CRC Press. Boca Raton, USA. 126-131.

MOREIRA, R., PALAU, J. y SUN, X. 1995. Deep-Fat Frying or Tortilla Chips: An Engineering Approach. *Food Technology*. 49(4):146-150.

MOREIRA, R.G. y BARRUFET, M.A. 1998. A new approach to describe oil adsorption in fried foods: a simulation study. *Journal of Food Engineering*. 35:1-22.

MOREIRA, R.G., CASTELL-PEREZ, M.E. y BARRUFET, M.A. 1999. Deep-fat frying: Fundamentals and Applications. Aspen Publisher, Gaithersburg, Maryland, USA.

NOURIAN, F. y RAMASWAMY, H.S. 2003. Kinetics of quality change during cooking and frying of potatoes; Part I. Texture. *Journal of Food Process Engineering*. 26: 395-411.

PEDRESCHI, F., AGUILERA, J.M. y PYLE, L. 2001. Textural characterization and kinetics of potato strips during frying. *Journal of Food Science*. 66:314-318.

PEDRESCHI, F., BUSTOS, O., MERY, D., MOYANO, P., KAACK, K., GRANBY, K. 2006. Color kinetics and acrylamide formation in NaCl soaked potato chips. *Journal of Food Engineering*. 79(3): 989-997.

PÉREZ-TINOCO, M.R., PÉREZ, A., SALGADO-CERVANTES, M., REYNES, M. y VAILLANT, F. 2008. Effect of vacuum frying on main physicochemical and nutritional quality parameters of pineapple chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88: 945-953.

PIAZZA, L. GIGLI, J. y BENEDETTI, S. 2007. Study of structure and flavour release relationships in low moisture bakery products by means of the acoustic-mechanical combined technique and the electric nose. *Journal of Cereal Science*. 48(2): 413-419.

PSZCZOLA D. 2002. *Snack Foods: Ingredient Concept to Munch*. Food Technology 56:82-96.

PULPAS DEL ZURQUÍ. 2004. Ficha técnica para pulpa de mora y de maracuyá.

ROUDAUT, G., DACREMONT, C., VALLES, P., COLAS, B. y LE MESTE, M. 2002. Crispness: A critical review on sensory and material science approaches. *Trends in Food Science & Technology*. 13 : 217-227.

SHAHIDI, F. y NACZK, M. 2004. *Phenolics in Food and Nutraceuticals*. CRC Press. Florida, USA.

SHYU, S. y HWANG, L. 2001. Effects of the processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. *Food Research International*. 34: 133-142.

SHYU, S., HAU, L. y HWANG, L. 2005. Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 85:1903–1908.

STONE, H. y SIDEL, J. 2004. *Sensory Evaluation Practices*. 3ra edición. Elsevier Academic Press. California, USA.

TAN, K.J. y MITTAL, G.S. 2006. Physicochemical properties changes of donuts during vacuum frying. *International Journal of Food Properties*. 9: 85-98.

THOMPSON, D. 1982. Response Surface Experimentation. Journal of Food Processing. 6: 155-162.

TRONCOSO, E. y PEDRESCHI, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. LWT - Food Science and Technology. 1-10. doi:10.1016/j.lwt.2009.01.008

TRONCOSO, E., PEDRESCHI, F. Y ZÚÑIGA, R.N. 2009. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. LWT- Food Science and Technology. 42: 187-195.

UFHEIL, G. y ESCHER, F. 1996. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. Food Science and Technology 29:287-294.

ZDUNECK, A. y RANACHOWSKI, Z. 2006. Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 9(4). En: [www.ejpau.media.pl](http://www.ejpau.media.pl)

## CAPÍTULO 6. CONCLUSIONES GENERALES

La papaya verde es una matriz alimenticia que permite su impregnación con jugos pulposos de mora y de maracuyá, de manera que el producto final obtenido por fritura presenta el sabor, aroma y color de estas frutas.

La aplicación de la fritura hipobárica permitió obtener valores de humedad y de  $A_w$  en las hojuelas ( $H \leq 10\%$ ,  $A_w \leq 0,35$ ) que corresponden a los de un producto de baja humedad y estable a temperatura ambiente. El producto obtenido fue crujiente y presentó una forma y un color intenso que resultó atractivo al consumidor, de acuerdo al estudio de aceptación.

La fritura convencional, a presión atmosférica, también da como resultado un producto crujiente y de buena apariencia sin embargo requiere mayores temperaturas de proceso (126-154 °C comparado a 110-127 °C para fritura hipobárica) y no logra extraer el agua del producto hasta los niveles que se alcanzan con la fritura hipobárica, bajo las condiciones estudiadas.

La aceptación del producto está determinada por la humedad y el color, el cual es óptimo al ser intenso como la fruta de origen. En cuanto a los parámetros del proceso, las temperaturas altas y los tiempos más largos generan productos menos aceptados por el grupo de consumidores mayoritarios, para ambas metodologías de fritura estudiadas y para ambos productos elaborados a base de mora y de maracuyá.

Las condiciones óptimas para la fritura hipobárica de hojuelas con sabor a mora fueron de 118,2 °C por 6,1 min, las cuales fueron similares para las de sabor a maracuyá, 118,5 °C durante 6,2 min. Las mejores condiciones obtenidas con la fritura a presión atmosférica fueron de 137,0 °C y 5 minutos para las hojuelas sabor a mora y de 138,7 °C y 5,3 minutos para las de maracuyá. Estos resultados permiten concluir que la diferencia de composición física (sabor a mora o maracuyá) del jugo pulposo con que se impregnó las hojuelas de papaya verde no influye en las condiciones del proceso de fritura.

Es posible validar los datos calculados por la metodología de superficies de respuesta con los obtenidos en el PCA donde se utilizan las muestras elaboradas.

La variación del sonido que se produjo al fracturarse las hojuelas no fue explicada por la variación en la dureza de las hojuelas de papaya. Sin embargo, las probabilidades obtenidas indican que existe una tendencia a aumentar la intensidad del sonido con el incremento de la fuerza de fracturabilidad.

## **CAPÍTULO 7. RECOMENDACIONES GENERALES**

Llevar a cabo ensayos de obtención de los productos a las condiciones óptimas determinadas, para validar los resultados obtenidos con el modelo matemático.

Determinar el contenido de antioxidantes (antocianinas, carotenoides) y la capacidad antioxidante total de los productos, elaborados con las condiciones óptimas de proceso.

Realizar un estudio de vida útil de los productos elaborados bajo las condiciones óptimas de proceso.

Acoplar al proceso de producción de “chips” de fruta un sistema para reducir el contenido de grasa del producto posterior a la fritura hipobárica, como por ejemplo por medio de centrifugación.

Realizar una evaluación de los costos del proceso de fritura hipobárica para determinar su aplicabilidad a nivel industrial.

Estudiar si existe relación entre la dureza instrumental y la crujencia determinada sensorialmente.

## CAPÍTULO 8. BIBLIOGRAFIA GENERAL

ALZAMORA, S., SALVATORI, D., TAPIA, M., LOPEZ-MALO, A., WELTI-CHANES, J. y FITO, P. 2005. Novel functional foods from vegetable matrices impregnated with biologically active compounds. *Journal of Food Engineering*. 67(1): 205-214.

AMREIN, T., LIMACHER, A., CONDE-PETIT, B., AMADO, R. y ESCHER, F. 2006. Influence of thermal processing conditions on acrylamide generation and browning in a potato model system. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 54(16): 5910-5916.

AOAC. 1990. *Official Methods of Analysis*. 15 ed. Association of Official Analytical Chemists. Vol. 2. Virginia, USA.

AYI, D. 2008. Desarrollo de un snack tipo tortilla a base de fruto de pejibaye (*Bactris gasipaes* Kunth). Proyecto final de graduación de licenciatura en Tecnología de Alimentos. Universidad de Costa Rica. Costa Rica.

BARAT, J.M., CHIRALT, A. y FITO, P. 2001. Effect of osmotic solution concentration, temperature and vacuum impregnation pretreatment on osmotic dehydration kinetics of apple slices. *Food Science and Technology International*. 7(5): 451-456

BELITZ, H. y GROSCH, W. 1997. *Química de los Alimentos*. Acribia. 2da edición. España.

BENDINI, A., CERRETANI, L., PIZZOLANTE, L. TOSCHI, T., GUZZO, F., CEOLDO, S., MARCONI, A., ANDREETTA, F. y LEVI, M. 2006. Phenol content related to antioxidant and antimicrobial activities of *Passiflora* spp. Extracts. *European Food Research and Technology*. 223: 102-109.

BERDANIER, C. 2002. *Handbook of Nutrition and Food*. CRC Press. New York. USA. 29-32

BLUMENTHAL, M. y STIER, R. 1991. Optimization of deep-fat frying operations. *Trends in Food Science & Technology*. 6: 144-148.

BLUMENTHAL, M. 1991. A New Look at the Chemistry and Physics of Deep Fat Frying. *Food Technology*. 2: 68-70.

BOUCHON, P. y AGUILERA, J.M. 2001. Microstructural analysis of frying of potatoes. *International Journal of Science and Technology*. 36: 669-676.

BUSTAMANTE, M. y RODRÍGUEZ, A. 1995. Secado de frutas tropicales. Programa Cooperativo Universidad de Costa Rica y Ministerio de Agricultura y Ganadería. Centro Nacional de Tecnología de Alimentos, CITA, Universidad de Costa Rica.

CEDILLO, G. 2005. Nutraceutical Tortillas and Tortilla Chips Prepared with Bran From Specialty Sorghums. Master Science Thesis. Texas A&M University. USA.

CHIRIFE, J. 1982. Principios de la deshidratación osmótica de frutas. Anales Asociación Química de Argentina. 70: 913-932.

CHOE, E. y MIN, D.B. 2007. Chemistry of Deep-Fat Frying Oils. Journal of Food Science. 72(5):R77- R86.

CNP. 2004. Papaya: Mercado Internacional y Oferta Nacional. En: <http://www.mercanet.cnp.go.cr>

CYTED-D. 1992. An Ibero-American Project on Intermediate Moisture Foods and Combined Methods Technology. Research International (25): 33-41.

DA SILVA, P. y MOREIRA, R. 2008. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. LWT - Food Science and Technology. 41(10): 1758-1767.

DERMESONLOUOGLU, E., GIANNAKOUREU, M. y TAOUKIS, P. 2007. Kinetic modelling of the quality degradation of frozen watermelon tissue: effect of the osmotic dehydration as a pre-treatment. International Journal of Food Science and Technology. 42(7): 790-798.

DUIZER, L. 2001. A review of acoustic research for studying the sensory perception of crisp, crunchy and crackly textures. Trends in Food Science & Technology. 12:17-24.

DUIZER, L. y WINGER, R. 2003. Objective techniques for measuring perception of crispness in extruded snacks. 5th Pangborn Sensory Sc. Symposium. July 20-24. Boston, USA.

DUXBURY, D. 2004. Acrylamide in Food: Cancer Risk or Mystery? Food Technology. 58(12): 91-93.

FAN, L., ZHANG, M., XIAO, G., SUN, J. y TAO, Q. 2005 a. The optimization of vacuum frying to dehydrate carrot chips. International Journal of Food Science and Technology. 40: 911-919.

- FAN, L., ZHANG, M. y MUJUMDAR, A. 2005 b. Vacuum Frying of Carrot Chips. *Drying Technology*. 23(3):645- 656.
- FAN-CHIANG, H. y WROLSTAD, R. 2005. Anthocyanin Pigment Composition of Blackberries. *Journal of Food Science*. 70 (3): 198-202.
- FAO. 2007. Importancia del sector hortofrutícola en América Latina. En: [www.fao.org/docrep/007](http://www.fao.org/docrep/007)
- FAO-OMS. 2005. Joint FAO/WHO Expert Comitee on Food Additives. Informe de la Reunión. 64: 8-17 de febrero. Roma, Italia.
- FEDEPALMA. Federación Nacional de Cultivadores de Palma de Aceite. 2009. La Palma de Aceite. En: [www.fedepalma.org/palma.htm](http://www.fedepalma.org/palma.htm) Bogotá, Colombia.
- FELLOWS, P. 1994. Tecnología del procesado de los alimentos: Principios y Prácticas. Acribia. Zaragoza, España.
- FILLION, L. y KILCAST, D. 2002. Consumer perception of crispness and crunchiness in fruits and vegetables. *Food Quality and Preference*. 13: 23-29.
- FITO, P., CHIRALT, A., BARAT, J., SPIESS, W. y BEHSNILIAN, D. 2001. Osmotic Dehydration and Vacuum Impregnation. *Food Preservation Technology Series*. Technomic Publishing, Lancaster, USA.
- FOOD INFO NET. 2007. Healthy Snacking: Future Trends & New Insights. Datamonitor. En: [www.foodinfonet.com](http://www.foodinfonet.com)
- GACULA, M. y SINGH, J. 1984. *Statistical Methods in Food and Consumer Research*. Academic Press. Florida, USA.
- GARAYO, J. y MOREIRA, R. 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*. 55 (2): 181-191.
- GARCIA, L. 1993. Deshidratación osmótica al vacío de papaya, Estudio de variables de proceso. Tesis de Licenciatura en Ingeniería Química. Universidad Nacional de Ingeniería. Managua, Nicaragua.
- GIOVANNI, M. 1983. Response Surface Methodology and Product Optimization. *Food Technology*. 37 (11): 41-45.
- GÓMEZ, M., LAJOLO, F. y CORDENUNSI, B. 2002. Evolution of soluble sugars during ripening of papaya fruit and its relation to sweet taste. *Journal of Food Science*. 67(1): 442-447

GRANDA, C., MOREIRA, R. y TICHY, S. 2004. Reduction of Acrylamide Formation in Potato Chips by Low-temperature Vacuum Frying. *Journal of Food Science*. 69(8): E405-E411.

GRUPO NUMAR. 2005 a. Información Corporativa. En: [www.numar.net/esp/info.html](http://www.numar.net/esp/info.html)

GRUPO NUMAR. 2005 b. Especificaciones de Calidad del Producto D'Orofrit 5 ®. Compañía Numar S.A. Costa Rica.

GUZMAN, G. 1998. *Carica Papaya* Caricaceae. Boletín informativo del CNP. [www.mercanet.cnp.go.cr](http://www.mercanet.cnp.go.cr)

HENG, K., GUILBERT, S. y CUQ, J. 1990. Osmotic dehydration of papaya: Influence of process variables on the product quality. *Sciences des Aliments* 10: 831-847.

HENIKA, R. 1982. Use of Response Surface Methodology in Sensory Evaluation. *Food Technology*. 36: 96-102.

HINDRA, F. y BAIK, O-D. 2006. Kinetics of quality changes during food frying. *Critical Reviews in Food Science and Nutrition*. 46: 239-258.

HOLLINGSWORTH, P. 2000. Marketing Trends Fueling Healthful Foods Success. *Food Technology*. 54 (10): 45-59.

HUNTER Associates Laboratory. 1992. User's Manual for D25 DP-9000 Systems. Manual Version 1.3. USA.

KROKIDA, M., OREOPOULOU, V., MAROULIS, Z. y KOURIS, D. 2001. Effect of osmotic dehydration pretreatment on quality of French fries. *Journal of Food Engineering*. 49 (4): 339-345.

LAWLESS, H. y HEYMANN, H. 1999. *Sensory Evaluation of Food. Principles and Practices*. Aspen Publications. Maryland, USA.

LAWSON, H. 1994. *Aceites y Grasas Alimentarios: Tecnología, utilización y nutrición*. Acribia. Zaragoza, España.

LAZAN, H. , ALID, Z. y SELAMAT, M. 2004. The Underlying Biochemistry of the Effect of Modified Atmosphere and Storage Temperature on Firmness Decrease in Papaya. *Acta Horticulturae* 343: Physiological Basis of Postharvest Technologies. [www.actahort.org](http://www.actahort.org)

LE MAGUER, M. 1988. Osmotic Dehydration: Review and Future Directions. Proceedings of the International Symposium on Progress in Food Preservation Processes. Centre for Education and Research of Food and Chemical Industries. Brussels, Belgium.

LEATHERHEAD FOOD INTERNATIONAL. 2006. The International Market for Fruit Snacks- Trends and Developments in fruit bars, canned fruit and ambient fruit snacks, dried fruit snacks and chilled fruit snacks. En: [www.researchandmarkets.com/reportinfo](http://www.researchandmarkets.com/reportinfo)

MAG. MINISTERIO DE AGRONOMIA Y GANADERIA. 2001. Identificación de Mercados y Tecnología para Productos Agrícolas tradicionales de Exportación. Convenio MAG-IICA. Subprograma de Cooperación Técnica. San José, Costa Rica.

MANRIQUE, G. y LAJOLO, F. 2004. Cell-wall polysaccharide modifications during postharvest ripening of papaya fruit (*Carica papaya*). Postharvest Biology and Technology. 33(1):11-26.

MARISCAL, M. y BOUCHON, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. Food Chemistry 107: 1561-1569.

MELA, D. 2005. Food, diet and obesity. CRC Press. Boca Raton, USA. p.126-131.

MONTGOMERY, D. 1991. Diseño y Análisis de Experimentos. Editorial Iberoamericana. México.

MORA, E. y BOGANTES, A. 2004. Evaluación de híbridos de papaya (*Carica papaya L.*) en Pococí, Limón, Costa Rica. Agronomía mesoamericana. 15(01): 39-44.

MOREIRA, R., PALAU, J. y SUN, X. 1995. Deep-Fat Frying or Tortilla Chips: An Engineering Approach. Food Technology. 49(4):146-150.

MOREIRA, R.G. y BARRUFET, M.A. 1998. A new approach to describe oil adsorption in fried foods: a simulation study. Journal of Food Engineering. 35:1-22.

MOREIRA, R.G, CASTELL-PEREZ, M.E y BARRUFET, M.A, 1999. Deep-fat frying: Fundamentals and Applications. Aspen publisher, Gaithersburg, Maryland.

MORENO, M.C. y BOUCHON, P. 2008. A different perspective to study the effect of freeze, air and osmotic drying on oil absorption during potato frying. Journal of Food Science. 73(3): 122-128.

MORTON, J. 1987. Fruits of warm climates. Florida, USA. p.336-346. [www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/index.html](http://www.hort.purdue.edu/newcrop/morton/index.html)

NOURIAN, F. y RAMASWAMY, H.S. 2003. Kinetics of quality change during cooking and frying of potatoes; Part I. Texture. *Journal of Food Process Engineering*. 26: 395-411.

PANTZARIS, T. y ELIAS, B. 1996. The Role of Palm Oil in Oils & Fats. *Food Technology in Europe*. 3 (2): 71-74.

PEDRESCHI, F., AGUILERA, J.M. y PYLE, L. 2001. Textural characterization and kinetics of potato strips during frying. *Journal of Food Science*. 66:314-318.

PEDRESCHI, F., BUSTOS, O., MERY, D., MOYANO, P., KAACK, K. y GRANBY, K. 2006. Color kinetics and acrylamide formation in NaCl soaked potato chips. *Journal of Food Engineering*. 79(3): 989-997.

PEIRÓ-MENA, R., CAMACHO, M. y MARTÍNEZ-NAVARRETE, N. 2006. Compositional and physicochemical changes associated to successive osmodehydration cycles of pineapple (*Ananas comosus*). *Journal of Food Engineering*. 79(3): 842-849.

PÉREZ-TINOCO, M.R. 2000. Efecto del deshidratado osmótico sobre los cambios de color en rodajas de papaya (*Carica papaya*). Tesis de Maestría en Ciencia de Alimentos. Instituto Tecnológico de Veracruz, México.

PÉREZ-TINOCO, M.R., PÉREZ, A., SALGADO-CERVANTES, M., REYNES, M. y VAILLANT, F. 2008. Effect of vacuum frying on main physicochemical and nutritional quality parameters of pineapple chips. *Journal of the Science of Food and Agriculture*. 88: 945-953.

PIAZZA, L., GIGLI, J. y BENEDETTI, S. 2008. Study of structure and flavour release relationships in low moisture bakery products by means of the acoustic-mechanical combined technique and the electric nose. *Journal of Cereal Science*. 48(2): 413-419.

PSZCZOLA, D., KATZ, F. y GIESE, J. 2000. Research Trends in Healthful Foods. *Food Technology*. 54 (10):45-59.

PSZCZOLA D. 2002. Snack Foods: Ingredient Concept to Munch. *Food Technology* 56:82-96.

PULPAS DEL ZURQUÍ. 2004. Ficha técnica para pulpa de mora y de maracuyá.

RAOULT-WACK, A.L, LAFONT, F. y GUILBERT, S. 1988. Osmotic Dehydration: Study of Mass Transfer in Terms of Engineering Properties. Sixth International Drying Symposium IDS' 88 Versailles, Francia: OP 601-OP 608.

RAOULT-WACK, A.L. 1994. Advances in osmotic dehydration. Trends in Food Science and Technology. 5: 255–260.

REYES- CARMONA, J., YOUSEF, G., MARTINEZ-PENICHE, R. y LILA, M. 2005. Antioxidant Capacity of Fruit Extracts of Blackberry (*Rubus* sp.) produced in Different Climatic Regions. Journal of Food Science. 70 (7): 497-502.

ROUDAUT, G., DACREMONT, C., VALLES, P., COLAS, B. y LE MESTE, M. 2002. Crispness: A critical review on sensory and material science approaches. Trends in Food Science & Technology. 13: 217-227.

SAGUY, S. y PINTHUS, E. 1995. Oil Uptake during Deep-Fat Frying: Factors and Mechanism. Food Technology 4: 142-145.

SAGUY, S. 1997. Deep Fat Frying: Basic Principles and Applications. En: Récents Progrès en Génie des Procédés. La Friture: Maitrise du procédé et de la qualité des produits. 11 (59).

SAGUY, S. y DANA, D. 2003. Integrated approach to deep fat frying: engineering, nutrition, health and consumer aspects. Journal of Food Engineering. 56 (2): 143-152.

SHAHIDI, F. y NACZK, M. 2004. Phenolics in Food and Nutraceuticals. CRC Press. Florida, USA.

SHI, J. y LE MAGUER, M. 2002. Osmotic dehydration of Foods: Mass transfer and modeling aspects. Food Reviews International.18 (4): 305–335. Marcel Dekker, Inc. New York.

SHYU, S. y HWANG, L. 2001. Effects of the processing conditions on the quality of vacuum fried apple chips. Food Research International. 34: 133-142.

SHYU, S., HAU, L. y HWANG, L. 2005. Effects of processing conditions on the quality of vacuum-fried carrot chips. Journal of the Science of Food and Agriculture. 85:1903–1908.

SIETSEMA, T. 2003. Green Papaya. Washington Post Magazine. Sunday, October 19. En: [www.washingtonpost.com](http://www.washingtonpost.com)

SINGH, P. 1995. Heat and Mass Transfer in Foods During Deep-Fat Frying. Food Technology 4: 134-137.

SINGH, B., PANESAR, P., GUPTA, A.K. y KENNEDY, J.F. 2007. Optimisation of osmotic dehydration of carrot cubes in sucrose-salt solutions using response surface methodology. *European Food Research and Technology*. 225:157–165.

SIRIWOHARN, T., WROLSTAD, R.E., FINN, C.E. y PEREIRA, C. 2004. Influence of cultivar, maturity, and sampling on blackberry (*Rubus* L. Hybrids) anthocyanins, polyphenolics, and antioxidant properties. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 52: 8021-8030.

SOLARTE, A. y PARRA, M. 1999. Optimización de pretratamientos en la producción de piña deshidratada por fritura bajo vacío. Tesis de Ingeniería Química. Universidad del Valle. Facultad de Ingeniería. Cali, Colombia.

STONE, H. y SIDEL, J. 2004. *Sensory Evaluation Practices*. 3ra edición. Elsevier Academic Press. California, USA.

THOMPSON, D. 1982. Response Surface Experimentation. *Journal of Food Processing*. 6: 155-162.

TRONCOSO, E. y PEDRESCHI, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT-Food Science and Technology*. 1-10. doi:10.101016/j.lwt.2009.01.008

TRONCOSO, E., PEDRESCHI, F. y ZÚÑIGA, R.N. 2009. Comparative study of physical and sensory properties of pre-treated potato slices during vacuum and atmospheric frying. *LWT- Food Science and Technology*. 42: 187-195.

UFHEIL, G. y ESCHER, F. 1996. Dynamics of oil uptake during deep-fat frying of potato slices. *Food Science and Technology* 29:287-294.

VARELA, P., CHEN, J., FISZMAN, S. y POVEY, M.J.W. 2006. Crispness assessment of roasted almonds by an integrated approach to texture description: texture, acoustics, sensory and structure. *Journal of Chemometrics*; 20: 311–320.

WANG, S. y LIN, H.S. 2000. Antioxidant Activity in Fruits and Leaves of Blackberry, Raspberry, and Strawberry Varies with Cultivar and Developmental Stage. *Journal of Agriculture and Food Chemistry*. 48 (2):140-146.

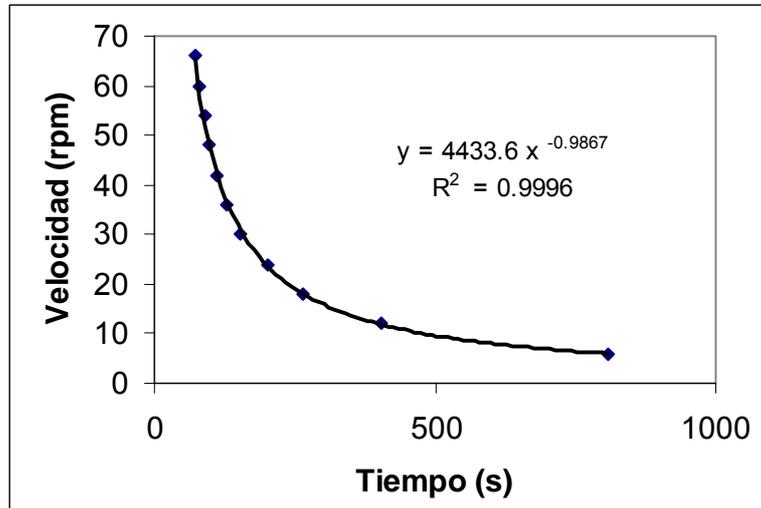
WHITE, P. 1991. Methods for Measuring Changes in Deep-Fat Frying Oils. *Food Technology*. 2: 75-80.

ZAPATA, J., CARVAJAL, L. y OSPINA, N. 2002. Efectos de la concentración de solutos y la relación jarabe/fruta sobre la cinética de deshidratación osmótica de papaya en láminas. En: *Interciencia*. 27(5): 236-242. Bireme. Brasil.

ZDUNECK, A. y RANACHOWSKI, Z. 2006. Acoustic emission in puncture test of apples during shelf-life. Electronic Journal of Polish Agricultural Universities. 9(4). En: [www.ejpau.media.pl](http://www.ejpau.media.pl)

**ANEXOS**

**Anexo 1.** Curva de velocidad de la banda del freidor hipobárico contra el tiempo de inmersión del producto.



**Anexo 2.** Resultados obtenidos para el diseño experimental de hojuelas de mora, fritura a presión hipobárica.

MUESTRA	TEMP	TIEMPO	COLOR L*	COLOR a*	COLOR b*	COLOR c*	COLOR h	FRACTURAB	GRASA	Grasa (base seca)	AW	HUMEDAD
1	127.4	6	33.9	14.81	18.26	23.53	50.88	5.5606	11.1033	11.6683	0.269	1.9696
10	110.5	6	36.46	37.28	11.61	39.05	17.34	4.3552	15.2256	15.5834	0.347	4.8188
2	119	4.5	33.8	23.92	12.35	26.89	27.39	6.486	12.7324	13.0596	0.345	2.7243
3	119	6	38.59	24.39	15.55	28.91	26.48	11.332	10.9583	11.4097	0.284	2.3324
9	125	5	39.88	20.02	16.34	28.4	39.21	5.4428	10.2232	10.4288	0.231	2.2214
4	119	6	37.09	23.32	12.93	26.7	32.59	5.9434	10.4836	11.2818	0.3	2.6745
12	119	6	38.11	25.5	11.96	28.31	28.88	7.5985	9.8011	10.0265	0.312	2.9686
6	113	5	35.83	30.12	9.79	31.67	18.00	4.547	14.9569	15.3137	0.419	4.468
7	119	7.4	42.29	15.53	20.36	25.61	52.76	6.623	12.8297	13.5276	0.263	2.689
8	119	6	38.55	25.31	11.88	27.56	24.67	5.2541	8.9856	9.2314	0.286	2.9718
11	113	7	42.91	28.16	12.15	30.66	23.39	10.9700	14.9469	15.4306	0.365	4.7186
5	125	7	38.18	15.06	24.12	28.4	58.06	16.6896	13.2616	13.828	0.216	2.1427

MUESTRA	TEMP	TIEMPO	ACEPTA PROM	ACEPTA Cluster 1	ACEPTA Cluster 2	ACEPTA Cluster 3
1	127.4853	6	5.64	4.44967	5.3645	7.352
10	110.5147	6	8.47	11.2467	4.4129	10.152
2	119	4.585786	9.36	10.47	7.5774	10.248
3	119	6	9.78	9.91	8.3581	11.392
9	125	5	8.02	8.1733	6.4129	9.82
4	119	6	9.74	9.9867	8.0581	11.536
12	119	6	9.36	9.6933	9.229	9.224
6	113	5	8.1	10.1433	5.5903	8.756
7	119	7.414214	5.9	4.38	4.3065	9.708
8	119	6	9.23	9.86	7.0226	11.204
11	113	7	9.25	10.3433	6.2226	11.696
5	125	7	4.35	2.7367	3.9581	6.768

**Anexo 3. Resultados obtenidos para el diseño experimental de hojuelas de mora, fritura a presión atmosférica.**

MUESTRA	TEMP	TIEMPO	COLOR L*	COLOR a*	COLOR b*	COLOR c*	COLOR h	AW	HUMEDAD	FRACTURAB	GRASA	Grasa (base seca)
1	140	4.5	41.55	29.74	10.4	31.53	19.22	0.302	3.1039	16.265	5.6294	5.809
2	140	4.5	40.96	25.99	10.17	27.93	21.32	0.309	4.0240	13.498	5.9849	6.2356
3	125.8	4.5	30.41	33.55	11.21	35.38	18.5	0.455	8.8225	0.872	4.2375	4.6476
4	140	4.5	39.68	29.26	10.32	31.05	19.4	0.312	3.1124	17.172	5.0668	5.2301
5	150	3	40.42	24.43	9.75	26.27	21.76	0.289	2.9052	4.847	5.403	5.8038
6	140	4.5	39.93	29.13	10.61	31	20.02	0.297	4.1290	17.551	7.1279	7.435
7	140	6.6	43.79	18.9	17.94	26.09	43.26	0.319	3.5726	10.002	6.4889	6.7298
8	140	2.3	35	38.72	11.95	40.59	17.11	0.351	6.0928	4.358	5.1979	5.5352
9	130	3	30.1	29.78	9.75	31.34	18.14	0.542	10.583	0.706	3.9243	4.3888
10	154.1	4.5	39.21	14.45	21.23	25.68	55.7	0.281	2.3555	3.865	9.0992	9.3188
11	130	6	41.32	28.97	9.77	30.54	18.68	0.37	4.7685	3.172	7.2481	7.5129
12	150	6	39.69	14.6	22.07	26.46	56.28	0.312	3.0216	4.249	8.2392	8.496

#	MUESTRA	TEMP	TIEMPO	ACEPTA PROM	ACEPTA Cluster 1	ACEPTA Cluster 2
	1	140	4.5	8.03	9.3	6.72
	2	140	4.5	8.42	9.7	6.59
	3	125.8	4.5	7.85	10.28	5.36
	4	140	4.5	8.11	9.38	6.8
	5	150	3	10.66	11.42	9.88
	6	140	4.5	8.14	9.66	6.59
	7	140	6.6	9.32	10.59	8.03
	8	140	2.3	6.95	9.62	4.21
	9	130	3	7.36	9.37	5.3
	10	154.1	4.5	8.9	9.88	7.9
	11	130	6	7.35	9.58	5.06
	12	150	6	9.18	10.34	8

**Anexo 4.** Resultados obtenidos para el diseño experimental de hojuelas de maracuyá, fritura a presión hipobárica.

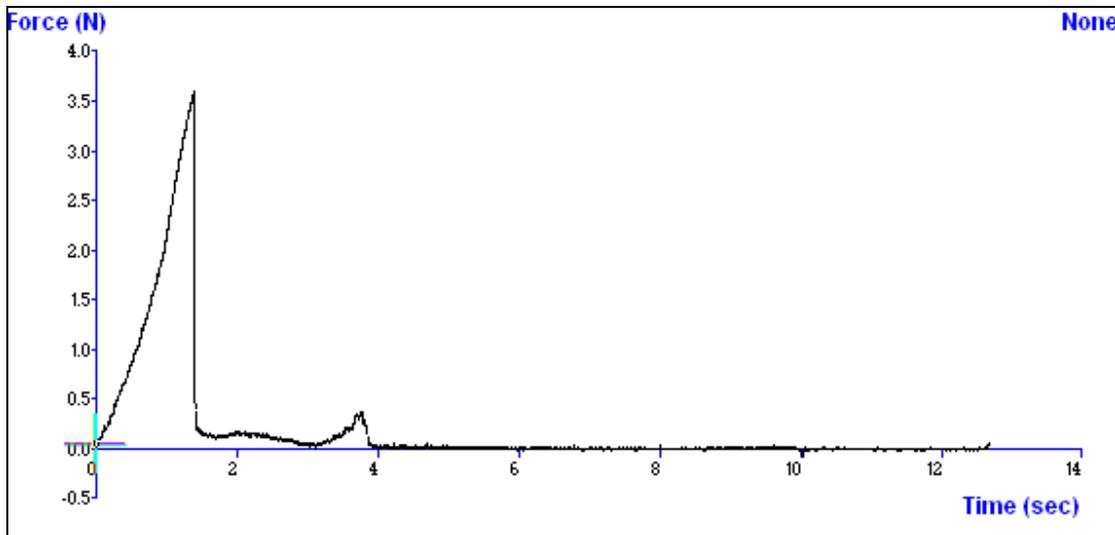
MUESTRA	TEMP	TIEMPO	COLOR L*	COLOR a*	COLOR b*	COLOR c*	COLOR h	AW	HUMEDAD	FRACTURAB	GRASA	Grasa (base seca)
1	127.4	6	51.41	11.39	32.91	34.84	70.91	0.274	1.5453	2.4388	16.7145	17.0976
10	110.5	6	77.74	2.62	32.98	33.07	85.54	0.383	5.2584	1.6724	17.8928	18.0924
2	119	4.5	65.96	7.02	36.77	37.44	79.31	0.315	3.1506	6.027	10.5309	10.8993
3	119	6	69.32	5.92	36.13	36.62	80.74	0.313	3.3539	8.156	12.8903	13.2528
9	125	5	56.27	10.32	37.07	38.46	74.45	0.28	2.2384	3.6068	10.883	11.2164
4	119	6	66.53	6.31	36.95	37.45	80.3	0.276	3.1419	5.0972	12.6087	13.0176
12	119	6	72.37	4.82	35.29	36.61	82.23	0.282	3.4673	6.0578	11.4346	11.97
6	113	5	73.35	3.89	37.76	37.93	84.08	0.344	5.6202	5.175	16.8116	17.0872
7	119	7.4	57.23	9.73	34.77	36.1	74.51	0.274	2.8562	5.442	9.991	10.211
8	119	6	68.48	7.13	35.93	36.55	78.48	0.297	3.1587	5.678	12.463	12.9023
11	113	7	71.53	4.73	35.06	35.33	82.36	0.396	5.2383	12.128	16.8967	17.1763
5	125	7	45.35	12.66	32.26	34.63	68.65	0.272	2.5340	5.068	17.0452	17.5881

#	MUESTRA	TEMP	TIEMPO	ACEPTA PROM	ACEPTA Cluster 1	ACEPTA Cluster 2	ACEPTA Cluster 3
	1	127.4	6	4.08	3.4421	8.1	2.727
	10	110.5	6	7.27	6.6579	11.1929	5.953
	2	119	4.5	8.65	7.8719	11.8857	8.573
	3	119	6	9.65	8.9281	11.25	11.853
	9	125	5	9.84	9.2193	11.7	10.447
	4	119	6	8.47	7.1632	10.7571	11.28
	12	119	6	9.18	8.2158	10.5571	11.58
	6	113	5	8.15	7.2123	12.2357	7.913
	7	119	7.4	8.1	7.5386	10.0214	8.453
	8	119	6	9.2	7.8596	11.6857	11.993
	11	113	7	9.1	8.2175	10.75	10.933
	5	125	7	5.21	3.9088	8.2357	7.307

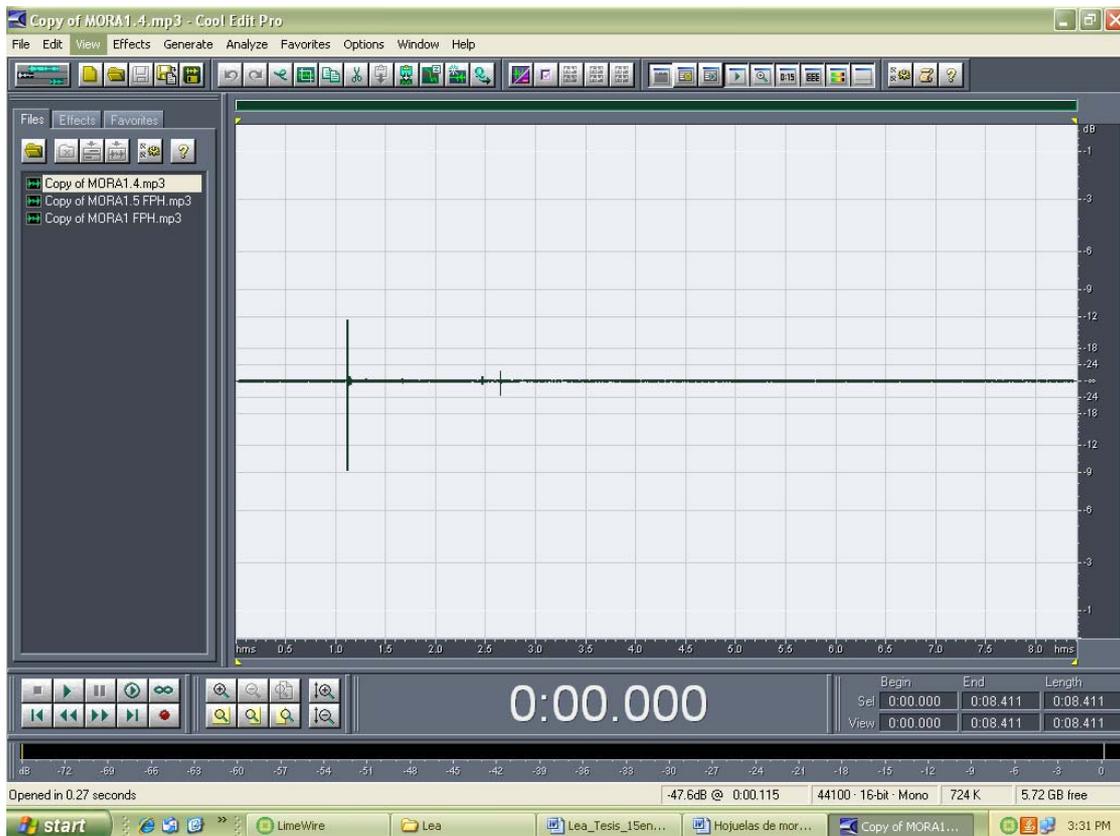
**Anexo 5.** Resultados obtenidos para el diseño experimental de hojuelas de maracuyá, fritura a presión atmosférica.

MUESTRA	TEMP	TIEMPO	COLOR L*	COLOR a*	COLOR b*	COLOR c*	COLOR h	AW	HUMEDAD	FRACTURAB	GRASA	Grasa (base seca)
1	140	4.5	72.22	3.6	34.66	34.81	84.01	0.325	3.7826	3.639	9.8497	10.2784
2	140	4.5	74.06	5.46	33.63	34.08	80.67	0.323	4.0022	3.078	8.7302	9.0586
3	125.8	4.5	75.97	2.23	32.51	32.5	85.87	0.519	9.4659	0.917	7.0094	7.7422
4	140	4.5	74.09	5.4	34.17	34.58	80.96	0.321	3.8545	4.969	8.4546	8.7936
5	150	3	70.44	6.95	36.09	36.75	79.04	0.312	1.7787	4.577	11.2643	11.4683
6	140	4.5	73.42	2.79	35.24	35.34	80.01	0.333	3.7347	4.391	10.2688	10.6673
7	140	6.6	64.82	9.07	36.86	37.91	76.16	0.3	3.0844	4.352	8.6211	8.8953
8	140	2.3	80.21	2.67	28.54	28.6	84.58	0.445	7.2205	3.307	8.7747	9.4576
9	130	3	76.69	0.59	30.3	30.3	88.83	0.724	12.7238	0.641	7.2808	8.341
10	154.1	4.5	53.07	10.46	34.36	35.92	73.07	0.303	1.8551	3.303	11.7587	11.9811
11	130	6	74.56	2.3	34.07	34.1	86.1	0.387	5.8322	5.63	10.3132	10.9518
12	150	6	52.37	10.55	36.06	37.53	73.68	0.302	2.9138	4.205	9.5713	9.8547

**Anexo 6.** Muestra de medición de dureza (N) y de sonido (dB) de la muestra #1 de hojuelas de mora con fritura hipobárica,  $T= 127\text{ }^{\circ}\text{C}$  ,  $t= 6\text{ min}$



Mora 1 FPH1



**Anexo 7. Hoja de respuesta para el análisis sensorial de las hojuelas fritas y encuesta para los panelistas.**

**HOJA DE RESPUESTA**

**NOMBRE:**

**FECHA:**

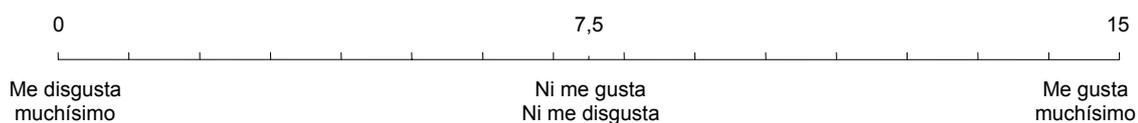
**SET:**

**INDICACIONES:**

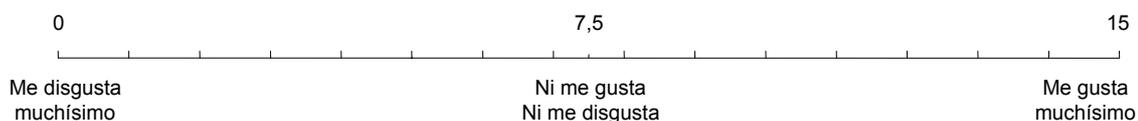
A continuación se le presentarán muestras de “chips” de frutas. Muerda una rodaja entera e indique (por medio de una pequeña línea vertical) cuánto le agrada cada una en la siguiente escala lineal.

Enjuáguese con agua dos veces entre cada muestra.

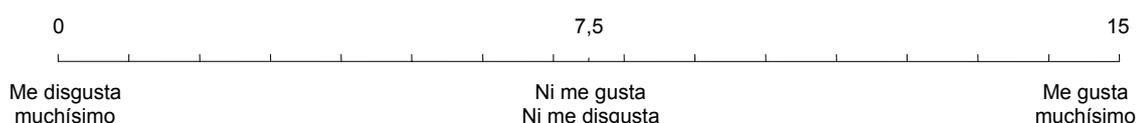
**Muestra:**



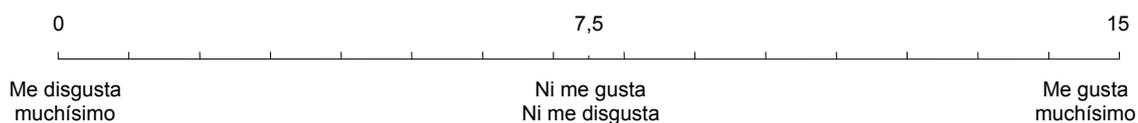
**Muestra:**



**Muestra:**



**Muestra:**



**ENCUESTA PARA LOS PANELISTAS****NOMBRE:** \_\_\_\_\_**OCUPACION:** \_\_\_\_\_**LUGAR DE RESIDENCIA:** \_\_\_\_\_**EDAD:**

\_\_\_\_ 15 a 24 años

\_\_\_\_ 45 a 54 años

\_\_\_\_ 25 a 34 años

\_\_\_\_ 55 a 65 años

\_\_\_\_ 35 a 44 años

\_\_\_\_ 65 a 85 años

**Qué tipo de productos tipo “snack” consume ?**

\_\_\_\_ Barras de frutas y granola

\_\_\_\_ Yucas tostadas

\_\_\_\_ Frutas secas

\_\_\_\_ Doritos

\_\_\_\_ Papas tostadas

\_\_\_\_ Otros:

\_\_\_\_ Plátanos tostados

**Con qué frecuencia consume productos tipo “snack” ?**

\_\_\_\_ 1 vez al día

\_\_\_\_ 2-3 veces a la semana

\_\_\_\_ 2-3 veces al mes

**Compraría usted el producto que más le gustó entre los que se le han presentado durante este panel sensorial?**

\_\_\_\_ SI      \_\_\_\_ NO      Por qué?

**Cuáles frutas preferiría usted para los chips de frutas?****Comente qué le gustó o qué le desagradó del color, de la crujencia y del sabor de los “chips” :**

\_\_\_\_\_

\_\_\_\_\_

MUCHAS GRACIAS POR SU COLABORACION

## Anexo 8. Análisis de regresión textura- sonido para las muestras de hojuelas de mora con fritura a presión hipobárica.

Fuerza vs. sonido izquierdo  
(superior)  
Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,117686795
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,013850182
R <sup>2</sup> ajustado	-0,004079815
Error típico	6,294588667
Observaciones	57

### ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	30,60623946	30,60623946	0,772458686	0,383281253
Residuos	55	2179,201556	39,62184648		
Total	56	2209,807796			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	10,15129914	2,025087923	5,01276958	5,91788E-06	6,092933249	14,209665	6,0929332	14,20966503
SONIDO IZQ	-0,111283162	0,126616944	-0,878896288	0,383281253	-0,365029125	0,1424628	-0,3650291	0,142462801

Fuerza = SonidoIzq.\*-  
0.11128316 + 10.1512991

Fuerza vs. sonido derecho  
(inferior)  
Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,03507834
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,00123049
R <sup>2</sup> ajustado	-0,016928956
Error típico	6,334736343
Observaciones	57

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	2,719146314	2,719146314	0,067760326	0,795598181
Residuos	55	2207,08865	40,12888454		
Total	56	2209,807796			

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	8,051234079	2,019124686	3,987487318	0,000198747	4,00481878	12,097649	4,0048188	12,09764938
SONIDO DER	0,034545712	0,132710841	0,260308137	0,795598181	-0,231412692	0,3005041	-0,2314127	0,300504115

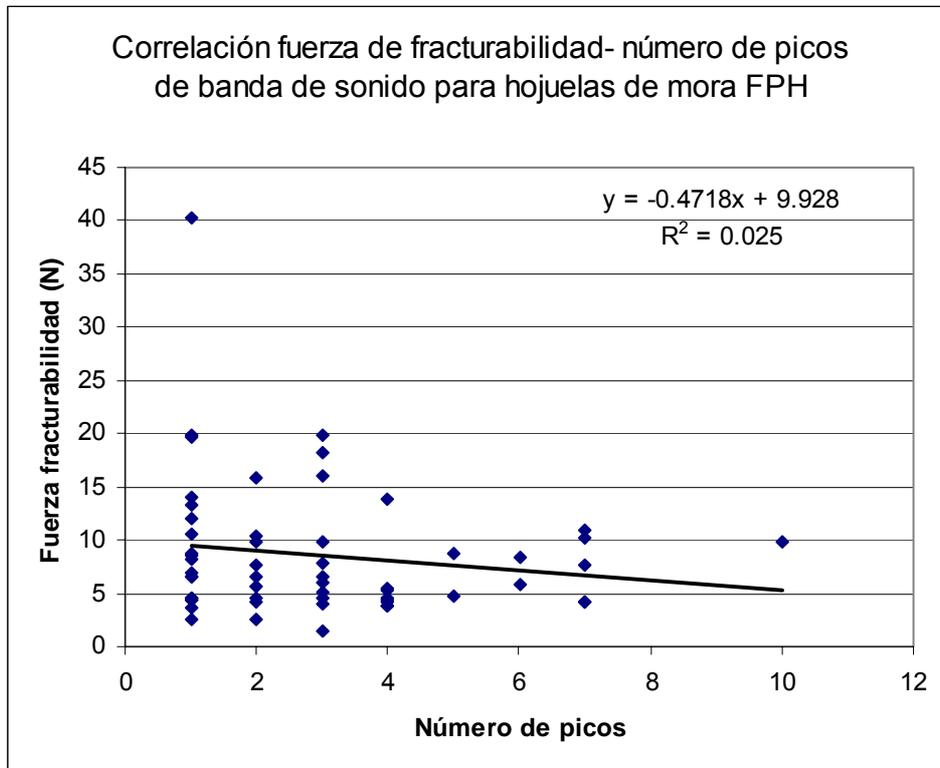
Fuerza vs. No. Picos  
Resumen

Estadísticas de la regresión	
Coeficiente de correlación múltiple	0,158020006
Coeficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,024970322
R <sup>2</sup> ajustado	0,00724251
Error típico	6,258998153
Observaciones	57

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	55,17961267	55,17961267	1,408539404	0,240400097
Residuos	55	2154,628183	39,17505788		
Total	56	2209,807796			

	Coeficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	Inferior 95.0%	Superior 95.0%
Intercepción	9,928037574	1,440933432	6,890004321	5,71147E-09	7,040343157	12,815732	7,0403432	12,81573199
Numero de picos en banda de sonido	-0,471764152	0,397503024	-1,186819027	0,240400097	-1,268377818	0,3248495	-1,2683778	0,324849513



**Anexo 9.** Análisis de regresión textura- sonido para las muestras de hojuelas de maracuyá con fritura a presión hipobárica.

Fuerza vs. sonido izquierdo (superior)

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,243971234
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,059521963
R <sup>2</sup> ajustado	0,043581657
Error típico	2,922151334
Observaciones	61

ANÁLISIS DE VARIANZA

	<i>Grados de libertad</i>	<i>Suma de cuadrados</i>	<i>Promedio de los cuadrados</i>	<i>F</i>	<i>Valor crítico de F</i>
Regresión	1	31,88496948	31,88496948	3,734054034	0,058119269
Residuos	59	503,7991368	8,538968421		
Total	60	535,6841063			

	<i>Coefficientes</i>	<i>Error típico</i>	<i>Estadístico t</i>	<i>Probabilidad</i>	<i>Inferior 95%</i>	<i>Superior 95%</i>	<i>95.0%</i>	<i>95.0%</i>
Intercepción	3,904989156	1,001134623	3,900563486	0,000248453	1,901721294	5,908257017	1,9017213	5,908257
SONIDO IZQ	0,121014551	0,062624936	1,932370056	0,058119269	-0,004297788	0,24632689	-0,004298	0,2463269

Fuerza vs. sonido derecho (inferior)

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,258661714
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,066905882
R <sup>2</sup> ajustado	0,051090728
Error típico	2,910657473
Observaciones	61

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	35,84041786	35,84041786	4,230491857	0,044134037
Residuos	59	499,8436885	8,471926923		
Total	60	535,6841063			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	95.0%	95.0%
Intercepción	3,996282126	0,90802498	4,401070691	4,58624E-05	2,179326426	5,813237826	2,1793264	5,8132378
SONIDO DER	0,119097547	0,057903843	2,056815951	0,044134037	0,003232104	0,23496299	0,0032321	0,234963

Fuerza vs. No. Picos

Resumen

<i>Estadísticas de la regresión</i>	
Coefficiente de correlación múltiple	0,260302725
Coefficiente de determinación R <sup>2</sup>	0,067757509
R <sup>2</sup> ajustado	0,051956788
Error típico	2,909328905
Observaciones	61

ANÁLISIS DE VARIANZA

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Promedio de los cuadrados	F	Valor crítico de F
Regresión	1	36,29662045	36,29662045	4,288254445	0,042760372
Residuos	59	499,3874859	8,464194676		
Total	60	535,6841063			

	Coefficientes	Error típico	Estadístico t	Probabilidad	Inferior 95%	Superior 95%	95.0%	95.0%
Intercepción	6,802283189	0,649935602	10,46608798	4,53895E-15	5,501763686	8,102802692	5,5017637	8,1028027
Numero de picos en banda de sonido	-0,314379788	0,151814881	-2,070810094	0,042760372	-0,618160982	-0,010598593	-0,618161	-0,010599

