

UNIVERSIDAD DE COSTA RICA  
FACULTAD DE CIENCIAS AGROALIMENTARIAS  
ESCUELA DE TECNOLOGÍA DE ALIMENTOS

Proyecto Final de Graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos para  
optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos

Evaluación del efecto del grado de madurez y de las condiciones de  
proceso para la obtención de un snack de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí  
mediante fritura al vacío

Elaborado por:  
Mariana Brenes Cordero  
Carné: B11113

Ciudad Universitaria Rodrigo Facio  
San José, Costa Rica  
2017

## TRIBUNAL EXAMINADOR

Proyecto de graduación presentado a la Escuela de Tecnología de Alimentos como requisito parcial para optar por el grado de Licenciatura en Ingeniería de Alimentos.

Elaborado por:

Mariana Brenes Cordero

Aprobado por:



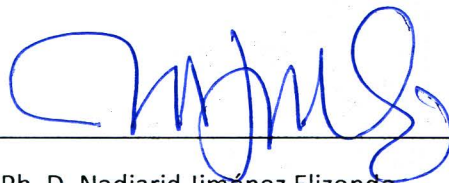
---

M. Sc. María Lourdes Pineda Castro  
Presidenta del Tribunal



---

M. Sc. Marvin Soto Retana  
Director del Proyecto



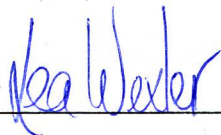
---

Ph. D. Nadiarid Jiménez Elizondo  
Asesora del Proyecto



---

Ph.D. Gerardina Umaña Rojas  
Asesora del Proyecto



---

M. Sc. Lea Wexler Goering  
Profesora Designada

## **DERECHOS DE PROPIEDAD INTELECTUAL**

El presente proyecto de graduación posee un nivel de confidencialidad parcial. El documento se publica restringiendo y codificando información por el potencial de transferencia de la tecnología.

## DEDICATORIA

A Dios y a mi familia.

A mis papás, por ser siempre mi máximo apoyo y creer en mí en todo momento.

Nana, porque cuando el desarrollo del proyecto estuvo pesado nos asustaste, prometí que lo terminaba por vos.

## AGRADECIMIENTOS

Este proyecto no se hubiera logrado sin la ayuda de muchas personas que llegaron a ser una luz en el camino.

Primero agradezco a mi comité asesor; Profe Marvin Soto, la mención de honor es también para usted, el proyecto no hubiera sido igual sin usted y su guía. Gracias por estar siempre pendiente y dispuesto a ayudarme, tanto en planta como al analizar resultados y demás, de corazón muchas gracias. Profe Nadiarid Jiménez, no tengo palabras para agradecerle toda su ayuda y comprensión. Gracias infinitas por su disponibilidad en todo momento, por ayudarme siempre con el transporte de las papayas, por estar pendiente, preocuparse y por escucharme cuando más lo necesite. Doña Gerardina Umaña, gracias por ser una excelente guía para el desarrollo del proyecto, fue un gusto poder trabajar y aprender tantas cosas de usted. Gracias en general a todas personas en el Laboratorio de Poscosecha, por su trato siempre tan amable y no dudar nunca en ayudarme durante la caracterización de las papayas.

Agradezco a la empresa OROFRUT, en especial a Don Geovanny, por su ayuda con la materia prima, por ser siempre tan servicial y atento.

A Camacho, Alonso, Giova y Luis; por su ayuda incondicional en planta o en el laboratorio, gracias por estar siempre dispuestos a ayudar en cualquier situación. También a todos los que trabajan en el laboratorio del CITA, gracias por atender siempre mis dudas y por su amable disposición. Gracias a todos por hacer que el ambiente fuera siempre agradable.

Gracias a mis amigos que estuvieron ahí para mí siempre; Caro, Gre, Pri, Nati, Sol, Marie, Fabi, Vale, Eu y David, ustedes hicieron que todos estos años en TA fueran los mejores. Me ayudaron inclusive en el desarrollo del proyecto, ya sea en la parte experiencial o como apoyo fundamental en la redacción y por siempre se los voy a agradecer. Les deseo puros éxitos en su vida, estoy segura de que van a ser excelentes profesionales, los quiero mucho a cada uno de ustedes y tengo los mejores recuerdos, gracias.

A Gerardo, por ser un apoyo increíble desde que empecé con esto, por escucharme semana a semana hablar de la tesis, de cada reto o dificultad y siempre lograr hacerme sentir capaz. Gracias por estudiar conmigo para la defensa, por ayudarme inclusive en el análisis de mis resultados, sos la mejor persona que pudo llegar a mi vida, gran parte de esto es gracias a vos.

Dani y Fer, mis amigas de siempre y para siempre, gracias por estar pendientes e interesadas, por alegrarse conmigo y por ser un gran apoyo durante todos estos años.

Gracias a toda mi familia, a mi papá y a mi mamá por darme los mejores principios para desarrollarme como profesional, por escucharme y aprender de fritura al vacío conmigo; ustedes se gradúan como ingenieros en alimentos también. A mis hermanos y a Joha, ustedes junto con papi y mami son mi ejemplo a seguir, gracias por estar siempre pendientes de mí e impulsarme a lograr mis metas. Gracias también a mis sobrinos, Jime, Santi, Noe y Lu; ustedes son mi felicidad diaria, aunque tal vez no entiendan mucho lo que pasa son gran parte de esto.

Gracias de corazón a todos.

## ÍNDICE GENERAL

RESUMEN .....	xiii
1. JUSTIFICACIÓN .....	1
2. OBJETIVOS.....	5
2.1. Objetivo General .....	5
2.2. Objetivos específicos .....	5
3. MARCO TEÓRICO.....	6
3.1. Mecanismo del proceso de fritura convencional.....	6
3.1. Fritura al vacío .....	7
3.1.1. Principios de fritura al vacío .....	7
3.1.2. Efecto de las condiciones de proceso sobre los productos fritos al vacío .....	8
3.2. Absorción de grasa en procesos de fritura al vacío .....	9
3.2.1. Mecanismos de absorción de grasa.....	9
3.2.2. Presurización .....	11
3.3. Ventajas de la fritura al vacío .....	13
3.4. Sabor desarrollado en productos fritos .....	14
3.5. Vida útil y preservación de productos fritos .....	15
3.6. Papaya .....	16
3.6.1. Maduración de la papaya .....	17
3.6.2. Perfil sensorial de la papaya .....	19
3.7. Papaya híbrido Pococí .....	19
3.8. Pruebas sensoriales afectivas .....	20
3.8.1. Principio de las pruebas afectivas.....	20
3.8.2. Métodos cuantitativos.....	21
3.9. Análisis por conglomerados (Cluster) .....	21
4. MATERIALES Y MÉTODOS ANALÍTICOS.....	22
4.1. Localización del proyecto .....	22
4.2. Materias Primas.....	22
4.2.1. Papaya .....	22
4.2.2. Aditivos.....	23
4.3. Equipo utilizado en el procesamiento de la papaya .....	23
4.4. Métodos Analíticos.....	25
4.4.1. Firmeza de la cáscara.....	25

4.4.2.	Firmeza de la pulpa.....	25
4.4.3.	Determinación de sólidos solubles .....	25
4.4.4.	Determinación de parámetros de color (L*, °h y C*) en papaya fresca .....	26
4.4.5.	Determinación de composición proximal .....	26
4.4.6.	Cuantificación de carotenoides .....	28
4.4.7.	Determinación de rendimientos en el proceso.....	29
4.4.8.	Determinación de aw .....	30
4.4.9.	Determinación de parámetros de color (L*, °h, C* y ΔE) en los chips de papaya .....	30
4.4.10.	Panel sensorial de agrado .....	30
5.	PRUEBAS PRELIMINARES .....	31
5.1.	Evaluación del potencial de la papaya variedad Maradol para la elaboración de chips ...	31
5.2.	Evaluación de diferentes estados de madurez con la escala de color comercial .....	31
5.3.	Evaluación de la inmersión en soluciones de ácido cítrico o ácido málico como pretratamientos para la elaboración de chips de papaya .....	32
5.3.1.	Panel informal para la escogencia del tipo de ácido del pretratamiento .....	33
5.4.	Determinación de los porcentajes de ácido málico a analizar como pretratamiento.....	33
5.5.	Verificación de la estabilidad de los productos desarrollados en las pruebas preliminares	33
6.	OBJETIVO 1: Caracterización de los diferentes estados de madurez de la papaya híbrido Pococí que serán utilizadas en el proceso de fritura al vacío. ....	34
6.1.	Metodología .....	34
6.1.1.	Escala de madurez por porcentaje de color amarillo.....	34
6.1.2.	Caracterización de papayas de Estado 3, Estado 4 y Estado 5 .....	35
6.1.3.	Diseño experimental y análisis estadístico .....	36
6.2.	Resultados y discusión.....	36
6.2.1.	Caracterización del color de la pulpa de la papaya híbrido Pococí a diferentes estados de madurez .....	38
6.2.2.	Caracterización de la fuerza de penetración de la cáscara y la pulpa de la papaya híbrido Pococí a diferentes estados de madurez.....	40
6.2.3.	Caracterización de la composición química de la pulpa de la papaya a diferentes estados de madurez .....	42
7.	OBJETIVO 2. Evaluación del efecto del estado de madurez de la papaya híbrido Pococí y de la adición de ácido málico sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y rendimiento de proceso del producto frito al vacío. ....	50
7.1.	Metodología .....	50



7.1.1.	Determinación de condiciones de proceso.....	50
7.1.2.	Diseño experimental y análisis estadístico .....	52
7.2.	Resultados y discusión.....	53
7.2.1.	Evaluación del efecto del estado de madurez sobre los rendimientos de pelado y rebanado	54
7.2.2.	Evaluación del efecto del estado de madurez y la concentración de ácido málico sobre el rendimiento de fritura .....	55
7.2.3.	Evaluación del efecto del estado de madurez y la concentración de ácido málico sobre el color de los chips de papaya .....	59
8.	OBJETIVO 3: Determinación de las condiciones óptimas del proceso de fritura al vacío para el desarrollo de un producto frito de papaya con características fisicoquímicas deseables. ....	74
8.1.	Metodología .....	74
8.1.1.	Determinación de condiciones de proceso a evaluar .....	74
8.1.2.	Diseño experimental y análisis estadístico .....	75
8.2.	Resultados y discusión.....	77
8.2.1.	Zonas Óptimas.....	87
8.2.2.	Validación de los modelos generados .....	88
9.	Conclusiones .....	92
10.	Recomendaciones .....	93
11.	Bibliografía .....	94
12.	Anexos.....	105

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	Esquema de un equipo de fritura al vacío con sus componentes principales para su funcionamiento. Adaptado de Rosana (2012).....	9
Figura 2.	Imagen comparativa con valores de color ( $L^*$ , $a^*$ , $b^*$ ) entre procesos de fritura al vacío (FV) y fritura convencional (FC) en productos como zanahoria (a), papa (b) y manzana (c), utilizando diferentes temperaturas de aceite ( $T_a$ ). Adaptado de Dueik y Bouchon (2011) .....	13
Figura 3.	Imagen de un fruto de papaya con franjas longitudinales de color amarillo, también llamados “pintas” (Salazar, 2012). .....	18

Figura 4. Escala hedónica híbrida empleada en las pruebas con consumidores para evaluación del agrado general de los chips de papaya fritos al vacío. ....	20
Figura 5. Diagrama esquemático del equipo de fritura al vacío: 1) vista del equipo con la canasta en posición “Abajo”; 2) vista del equipo con la canasta en posición “Arriba” (Elaborado por Marvin Soto) .....	24
Figura 6. Determinación de la fuerza de penetración en las papayas híbrido Pococí utilizando un penetrómetro marca Chantillon y una punta en forma de diente. ....	25
Figura 7. Corte de papaya variedad Maradol utilizada para el desarrollo de pruebas preliminares.	31
Figura 8. Fotografías de los chips realizados con una disolución al 1 % (m/v) de ácido málico o cítrico para el desarrollo de pruebas preliminares. *No se incluye muestra del Estado 5 con ácido cítrico por falta de material a la hora de realizar la prueba. ....	33
Figura 9. Escala de color de la papaya híbrido Pococí (Salazar, 2012). ....	35
Figura 10. Papayas híbrido Pococí utilizadas para el análisis de fuerza de penetración de cáscara y pulpa, sólidos solubles y color. (a) Papayas en estado de madurez 3. (b) Papayas en estado de madurez 4. (c) Papayas en estado de madurez 5. ....	37
Figura 11. Valores de fuerza de penetración en cáscara y pulpa en función de los estados de madurez analizados en papayas híbrido Pococí. (Barras indican intervalos de confianza al 95 %, n=25). Barras con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05). ....	41
Figura 12. Flujo del procesamiento de chips de papaya fritos al vacío con condiciones codificadas, realizando una inmersión en ácido málico como pretratamiento.....	51
Figura 13. Gráfico de vinculación de panelistas en el panel de agrado de chips de papaya. ....	67
Figura 14. Dendograma generado a partir de la prueba de agrado general de chips de papaya. ....	68
Figura 15. Valores de agrado promedio de los chips de papaya de acuerdo con los grupos de panelistas identificados del análisis de Clusters obtenidos mediante la técnica de k-means. ....	69
Figura 16. Valores de agrado de los chips de papaya obtenidos en el Cluster 3 en función de la concentración de ácido málico utilizado como pretratamiento y del estado de madurez de las papayas. Barras indican intervalos de confianza al 95 % (n=26) .....	73
Figura 17. Superficie de respuesta generada a partir de los resultados de aw obtenidos analizando los factores de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación. (a) Efecto de los factores tiempo de fritura y temperatura. (b) Efecto de los factores velocidad de centrifugación y temperatura de fritura. (c) Efecto de los factores velocidad de centrifugación y tiempo de fritura.	

Rojo: mayor valor de $a_w$ ; Verde: menor valor de $a_w$ . El tercer factor en cada gráfico se fijó en el valor del punto central. ....	84
Figura 18. Superficie de respuesta generada a partir de los resultados de $\Delta E$ obtenidos analizando los factores de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación. (a) Efecto de los factores tiempo de fritura y temperatura. (b) Efecto de los factores velocidad de centrifugación y temperatura de fritura. (c) Efecto de los factores velocidad de centrifugación y tiempo de fritura. Rojo: mayor valor de $\Delta E$ ; Verde: menor valor $\Delta E$ . El tercer factor en cada gráfico se fijó en el valor del punto central. ....	86
Figura 19. Flujo del proceso de chips de papaya fritos al vacío bajo las condiciones óptimas de proceso. ....	90

## ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro I. Resumen de los principales factores relacionados con la absorción de aceite en la fritura al vacío. ....	12
Cuadro II. Probabilidades asociadas a los valores del análisis de color, fuerza de penetración, sólidos solubles y análisis proximal de las papayas frescas con diferente estado de madurez. ....	38
Cuadro III. Promedios del valor de $L^*$ , $C^*$ y $^{\circ}h$ de la pulpa de las papayas de estado de madurez 3, estado 4 y estado 5. ....	39
Cuadro IV. Valores de sólidos solubles presentes en la pulpa de la papaya para tres diferentes estados de madurez. ....	42
Cuadro V. Probabilidades asociadas a los valores del contenido de ácido cítrico, ácido succínico, glucosa, fructosa y diferentes carotenoides en las papayas frescas con diferente estado de madurez. ....	44
Cuadro VI. Contenido de humedad, de cenizas, proteína y fibra dietética en papayas del estado 3, estado 4 y estado 5 provenientes de tres lotes de producción. ....	45
Cuadro VII. Contenido de ácido cítrico, ácido succínico, fructosa y glucosa en papayas del estado 3, estado 4 y estado 5, provenientes de tres lotes de producción. ....	47
Cuadro VIII. Concentración de carotenoides presentes en las papayas de los estados de madurez 3, 4 y 5. ....	48
Cuadro IX. Probabilidades asociadas a las variables respuesta de rendimiento de pelado y rendimiento de rebanado en el procesamiento de chips de papaya con diferentes estados de madurez. ....	53

Cuadro X. Probabilidades asociadas al rendimiento de fritura, así como a los valores de color y a los resultados del panel de agrado realizado a los chips al variar el estado de madurez de papaya y la concentración de la disolución de ácido málico utilizado como pretratamiento. ....	53
Cuadro XI. Rendimiento de pelado y rendimiento de rebanado según el estado de madurez de la papaya.....	55
Cuadro XII. Rendimiento de fritura según el estado de madurez de la papaya. ....	56
Cuadro XIII. Actividad de agua y contenido de grasa de los chips según el estado de madurez de la papaya.....	56
Cuadro XIV. Rendimiento de fritura según la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento.....	58
Cuadro XV. Actividad de agua ( $a_w$ ) y contenido de grasa en los chips procesados según la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento. ....	59
Cuadro XVI. Valores de los parámetros de color de $L^*$ , $C^*$ y $^{\circ}h$ de los chips de papaya según el estado de madurez de las papayas. ....	60
Cuadro XVII. Parámetros de color de $L^*$ , $C^*$ y $^{\circ}h$ según la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento en la elaboración de chips de papaya. ....	61
Cuadro XVIII. Imágenes de los chips de papaya al vacío obtenidos en cada tratamiento, así como la tonalidad asociada a cada uno de ellos, a partir de sus valores de $L^*$ , $a^*$ y $b^*$ . ....	62
Cuadro XIX. Valores de agrado promedio obtenidos a partir de la evaluación sensorial con consumidores según el estado de madurez de las papayas utilizadas para la elaboración de los chips. ....	64
Cuadro XX. Valores de agrado promedio obtenidos a partir de la evaluación sensorial con consumidores según la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento para la elaboración de chips de papaya. ....	65
Cuadro XXI. Características de los tres grupos formados a partir del análisis por agrupamiento de los resultados de la evaluación sensorial de agrado general de chips de papaya, y el número de personas que conforman cada grupo. ....	70
Cuadro XXII. Valores de agrado promedio obtenidos para el Cluster 1 según el estado de madurez de las papayas utilizadas en la elaboración de los chips. ....	71
Cuadro XXIII. Valores de agrado promedio obtenidos para el Cluster 2 según la concentración de ácido málico utilizada en el pretratamiento.....	72

Cuadro XXIV. Diseño central compuesto rotatable para la evaluación de diferentes condiciones codificadas de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación en el proceso de fritura al vacío. ....	76
Cuadro XXV. Variables independientes codificadas y variables respuesta (humedad, grasa, aw, rendimientos y color) para la optimización del proceso de fritura al vacío de papaya. ....	77
Cuadro XXVI. Parámetros de ajuste y bondad al generar los diferentes modelos de las variables analizadas aplicando el diseño de superficie de respuesta. ....	80
Cuadro XXVII. Rangos de los factores de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación para la obtención de la zona óptima de aw y valor de $\Delta E$ en los chips de papaya fritos al vacío. ....	87
Cuadro XXVIII. Valores estimados de aw y $\Delta E$ a partir de los modelos de superficie de respuesta generados y valores experimentales obtenidos. ....	89

## ABREVIATURAS

**L\***: luminosidad

**C\***: chroma

**°h**: ángulo de hue

**aw**: actividad de agua

**HPLC**: Cromatografía líquida de alto desempeño

**MTBE**: Metil tert-butil éter

**HPLC-DAD**: Cromatografía líquida de alto desempeño acoplado a un detector de arreglo de diodos

**R<sup>2</sup>**: Coeficiente de determinación

**R<sup>2</sup> adj**: Coeficiente de determinación ajustado

**p**: Probabilidad del modelo

**pfa**: Probabilidad de falta de ajuste

**Rpm**: Revoluciones por minuto

## RESUMEN

El objetivo de este estudio fue evaluar cómo las características de la papaya híbrido Pococí en diferentes estados de madurez afectan las características de los chips de papaya obtenidos mediante fritura al vacío. Otro factor que se evaluó, con el fin de mejorar el perfil sensorial de los chips, fue la adición de ácido málico como pretratamiento en disoluciones a diferentes concentraciones. Además, se establecieron puntos óptimos de condiciones de proceso para el desarrollo de chips de papaya con características deseables, mediante el método de superficie de respuesta.

Al realizar la caracterización fisicoquímica de las papayas híbrido Pococí en tres diferentes estados de madurez se encontraron diferencias principalmente en factores como color, fuerza de penetración y contenido de carotenoides. En general, se dan disminuciones en los parámetros de  $L^*$  y  $C^*$  conforme avanza la maduración de las papayas, además de disminuciones en la fuerza de penetración tanto en cáscara como pulpa. El contenido de carotenoides por su parte presenta valores mayores en el estado de madurez más avanzado.

Al evaluar el efecto del estado de madurez y de la adición de ácido málico sobre las características de los chips se encontraron diferencias en rendimientos de pelado en papayas de diferente estado de madurez, así como en rendimientos de fritura dependiendo de la concentración de ácido en la disolución utilizada como pretratamiento. Además, se encontraron diferencias en el agrado general de los chips dependiendo del estado de madurez de las papayas y de la concentración de ácido málico. En general, se dan valores de agrado mayores en los estados de madurez 4 y 5, en donde la adición de ácido málico no influye sobre el sabor de los chips, pero sí cuando las papayas presentan un estado de madurez 3.

Se determinó un punto óptimo de condiciones de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación, bajo el cual se obtienen chips de papaya híbrido Pococí con los valores de  $a_w$  y  $\Delta E$  establecidos como deseables. Estas condiciones óptimas de proceso fueron: temperatura codificada del aceite de 0, tiempo de fritura codificado de 1 y velocidad de centrifugación codificada de 0. El producto desarrollado durante este proyecto posee el potencial para llegar a posicionarse en el mercado, y así representar un producto de competencia frente a los snacks tradicionales y ser una alternativa para los productores de papaya para generar valor en el procesamiento de dicha fruta.

## 1. JUSTIFICACIÓN

Según el reporte global sobre snacks realizado por Nielsen en el año 2014, los consumidores alrededor del mundo gastaron \$US 347 mil millones de dólares en estos productos, esto entre el año 2013 y 2014, con un incremento de 2 % año contra año. En el caso de Latinoamérica, este incremento en las ventas de snacks fue de un 9 %, en donde se consumieron productos como yogurt, queso, chocolate, helado, fruta fresca, pan o sándwich, vegetales, palomitas de maíz, galletas o panecillos salados y dulces, frituras y gelatina (Nielsen, 2014).

Además, el estudio realizado por Global Industry Analysts (2015) estimó que el mercado mundial para snacks en el año 2020 va a exceder los \$US 630 billones; con una principal demanda por alimentos funcionales, fortificados con proteína, orgánicos y snacks basados en ingredientes naturales. Actualmente, según este mismo estudio, Europa representa el mayor mercado de snacks a nivel mundial; sin embargo, se espera un mayor crecimiento en el sector impulsado por el desarrollo de nuevas tecnologías, compañías innovadoras, consciencia creciente del consumidor sobre la salud y la lucha creciente contra la obesidad y otros desórdenes alimenticios.

Los estilos de vida ocupados llevan a la necesidad de consumir comidas rápidas, las cuales pueden ser altas en calorías y con pocos beneficios a la salud, por lo que existe una gran oportunidad para los fabricantes de snacks en crear alternativas nutritivas y prácticas para el consumidor actual (Nielsen, 2014). Bajo este contexto los snacks han ganado importancia en el consumo actual, principalmente por sus características de practicidad y de conveniencia para personas con poco tiempo para preparar sus alimentos. Según Global Industry Analysts (2015), estos alimentos experimentan un crecimiento rápido, principalmente aquellos como barras, chips, galletas y yogurt; con la creciente popularidad de productos fortificados con proteína, orgánicos y snacks naturales.

En este estudio realizado por Nielsen los snacks a base de ingredientes naturales son calificados como muy importantes por el 45 % de los encuestados globales y como moderadamente importantes por 32 %. Características como ausencia de colorantes artificiales son calificadas como muy importantes para un 44 % de los encuestados, mientras la ausencia de sabores artificiales se calificó en un 42 % (Nielsen, 2014).

En las últimas décadas se han dado grandes cambios en el estilo de vida de las personas y su dieta, debido principalmente al desarrollo económico mundial, la mecanización y la globalización de mercado. Esto da como resultado la necesidad del consumidor por productos de fácil transporte

y con una larga vida útil; razón por la cual las frituras han llegado a posicionarse dentro del mercado mundial (Gadiraju *et al.*, 2015). Además, durante los procesos de fritura se imparten sabores deseados por el consumidor, los cuales no pueden ser desarrollados mediante otros métodos como por ejemplo el horneado (Kathleen, 2008), por lo que son productos de gran aceptación. Según Devahastin (2011), los productos fritos siguen situándose entre los alimentos de mayor consumo, con una gran demanda de mercado.

La fritura en la actualidad es uno de los métodos de preparación y manufactura de alimentos más utilizados a nivel mundial. Esto debido principalmente a la preferencia por parte de los consumidores actuales por los alimentos por conveniencia, el crecimiento de la industria de los snacks y el aumento en los locales de venta de alimentos fritos (Sikorski & Kolakowska, 2010). Sin embargo, debido a la continua expansión de este mercado es necesario el desarrollo de tecnologías eficientes e innovadoras para mejorar la calidad de estos alimentos.

El consumo de aceite y grasa saturada, en particular, se relaciona con problemas en la salud, incluyendo enfermedades coronarias, cáncer, diabetes e hipertensión arterial. Según Mozaffarian (2016), el principal factor de riesgo de muerte y discapacidad en los Estados Unidos es la calidad de la dieta, ya que por ejemplo en el 2010 este factor resultó en 678 000 muertes en este país. El sobrepeso es una de las principales causas de muerte en el mundo, con una carga que se espera que aumente en los próximos años con el estilo de vida y dieta que se ha adoptado en las últimas décadas.

Por lo tanto, en la actualidad los productos con poca grasa han adquirido un alto nivel de importancia en la industria de snacks. La absorción de aceite es uno de los parámetros de mayor importancia en la calidad de los alimentos fritos; sin embargo, según Dueik *et al.* (2013) esto es incompatible con las últimas tendencias de consumo, que buscan alimentos más saludables y productos bajos en grasa. Además, estos consumidores preocupados por su salud no están dispuestos a sacrificar las propiedades sensoriales de estos productos; por lo tanto, toma relevancia el desarrollo de snacks “saludables” que presenten características sensoriales atractivas (Dueik *et al.*, 2013).

Como ya se explicó, a partir de la demanda de snacks nutritivos y que satisfagan las exigencias del consumidor actual surge la necesidad de desarrollar productos nuevos mediante tecnologías innovadoras. Así como lo explican Gulum Sumnu y Sahin (2008), debido a problemas de salud como los anteriormente mencionados, las demandas por parte del consumidor para reducir



el contenido de aceite de los alimentos fritos están creciendo cada vez más. Además, también se busca desarrollar maneras de reducir la formación de acrilamida, compuesto generalmente formado en procesos de fritura convencional, el cual se ha encontrado que es cancerígeno a partir de estudios realizados con ratas de laboratorio (Granda *et al.*, 2004). Por estas razones durante los últimos años se han investigado otras alternativas de la fritura convencional como, por ejemplo, fritura a presión, fritura por microondas y fritura al vacío.

La fritura al vacío es la única tecnología de fritura que se puede utilizar para productos con alto contenido de azúcares y pigmentos como frutas y vegetales, debido principalmente a la utilización de bajas temperaturas de proceso y una menor oxidación, lo que permite una mayor retención de pigmentos y sabores (Rosana, 2012). Además, se ha encontrado que al utilizar esta tecnología es posible disminuir significativamente el contenido de acrilamida en los productos (Granda *et al.*, 2004). Entonces, el desarrollo de snacks fritos al vacío representa una alternativa para el consumidor, en donde este podría responder a sus necesidades actuales. Según Moreira (2012), las frutas y vegetales fritos al vacío han ganado gran popularidad en el sureste asiático; y podría representar una alternativa exitosa para introducir en el mercado centroamericano.

Entre una amplia variedad de frutas tropicales, la papaya se considera uno de los frutos más económicos, que no sólo se cultiva aproximadamente en 60 países, sino que también se comercializa en todo el mundo. *Carica papaya* L. es una fruta ampliamente cultivada en los trópicos y subtrópicos, es conocida generalmente como papaya o como “paw paw”, y se originó en las tierras bajas de América Central (Annegowda & Bhat, 2016). Durante las últimas dos décadas se han reportado aumentos en la tasa mundial de producción de papaya; en general esta se ha triplicado desde 1990 al 2009 (FAO, 2009).

La fruta ya madura es consumida frecuentemente en culturas occidentales a pesar de tener una vida útil corta; su contenido de ácido ascórbico y carotenoides es mucho mayor que en la fruta sin madurar (Hernández *et al.*, 2006). Las frutas comercialmente maduras encuentran posibles aplicaciones en la preparación de jarabes, frutos secos, yogurt, mermelada, jaleas, néctares y dulces, entre otros alimentos (Annegowda & Bhat, 2016).

Según el estudio “Tendencias de Consumo de Frutas y Hortalizas, Pescado y Mariscos en las Familias de Costa Rica” presentado por el Programa Integral de Mercadeo Agropecuario (PIMA, 2012), la papaya se encuentra dentro de las seis primeras frutas de mayor consumo, en donde su consumo per cápita durante el año 2012 fue de 18,88 (kg/hab-año). Sin embargo, se ha reportado

una baja en el nivel de consumo de esta fruta, que se debe básicamente a la pobre calidad sensorial de las variedades cultivadas. Esto hace que el mercado fácilmente se llegue a saturar, provocando bajas en los precios para productores y una crisis casi permanente en este sector (Mora & Bogantes, 2004). En este contexto fue desarrollada la papaya híbrido Pococí, con el fin de estimular el consumo de la fruta, lo que incrementó la producción y comercialización de la papaya a nivel nacional (Umaña *et al.*, 2011).

Esta es una fruta altamente perecedera y alrededor del 30 % de la producción se ve comprometida (Albertini *et al.*, 2016), por lo que según Annegowda y Bhat (2016), la aplicación de métodos tecnológicos de preservación es de suma importancia para la producción de esta fruta.

Los carotenoides son de suma importancia para la salud, debido a que gran parte de estos compuestos son precursores de la vitamina A, de gran importancia en la dieta del ser humano. Deficiencias en esta vitamina se relacionan con problemas de ceguera nocturna (Schweiggert *et al.*, 2012b), xeroftalmia y anemia en donde comúnmente se ven afectados mujeres, bebés y niños pequeños (Schweiggert *et al.*, 2011b). Además, los carotenoides que no son precursores de vitamina A, de igual manera, son de gran importancia en la salud humana; por ejemplo, el licopeno es un carotenoide con efectos beneficiosos para la salud, ya que se ha reportado que este reduce la incidencia de enfermedades degenerativas y el cáncer (Schweiggert *et al.*, 2011a, Schweiggert *et al.*, 2012b)

Bajo ese contexto, el presente proyecto de investigación se enfocó en el desarrollo de un producto con grandes oportunidades en el mercado, utilizando como materia prima una fruta de gran consumo y producción en Costa Rica, como lo es la papaya. Para lograr esto se evaluó el efecto del estado de madurez de las papayas y las condiciones de proceso de fritura al vacío sobre las características de *snacks* de papaya desarrollados.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo General**

- Evaluar el efecto del estado de madurez y las condiciones de proceso sobre las características de los snacks de papaya (*Carica papaya* L., híbrido Pococí) obtenidos mediante el proceso de fritura al vacío.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Caracterizar fisicoquímicamente los diferentes estados de madurez de la papaya híbrido Pococí con potencial para ser utilizadas en el proceso de fritura al vacío.
- Evaluar el efecto del estado de madurez de la papaya híbrido Pococí y de la adición de ácido málico sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y de rendimiento de proceso del producto frito al vacío.
- Determinar las condiciones óptimas de proceso de fritura al vacío para el desarrollo de un producto frito de papaya con características fisicoquímicas deseables.

### 3. MARCO TEÓRICO

#### 3.1. Mecanismo del proceso de fritura convencional

La fritura es un proceso de transferencia de calor y masa en el que la humedad sale del alimento en forma de vapor, mientras que cierta cantidad de aceite se absorbe de forma simultánea (LiuPing *et al.*, 2009). Durante este proceso se utiliza aceite a temperaturas elevadas, entre 150 °C y 200 °C, mucho mayores que la temperatura de ebullición del agua (Teruel *et al.*, 2014). El calor se transfiere por convección del aceite al alimento, y por conducción dentro del alimento (Vassiliki *et al.*, 2014). Por lo tanto, en este proceso es el aceite el que trabaja como medio de transferencia de calor, en donde al migrar hacia el alimento proporciona nutrientes y sabor (LiuPing *et al.*, 2009). El agua del alimento se evapora y se transfiere al aceite, así como otros componentes del alimento, los cuales también pueden difundirse y disolverse en el aceite.

Según Vassiliki *et al.* (2014), el proceso de fritura se basa en cuatro etapas principales, primero en una etapa de calentamiento inicial, en donde la temperatura de la superficie del alimento llega a igualarse a la temperatura de saturación del agua a la presión de trabajo, lo cual se da en pocos segundos. En una segunda etapa ocurre la evaporación del agua, donde se da la formación de burbujas, las cuales provocan un cambio de convección natural a convección forzada; además, se empieza a dar la formación de la corteza del producto. Posteriormente, en una tercera etapa, una mayor cantidad de humedad sale del producto y la corteza se hace más gruesa, hasta llegar a una etapa final, conocida como el punto final de burbuja. En este punto no se da la salida de más burbujas, debido a la eliminación de la humedad del producto (Vassiliki *et al.*, 2014). Durante el proceso se dan también otros cambios físico-químicos, como la gelatinización del almidón y la desnaturalización de proteínas, además de cambios en el aceite de fritura. La corteza que se ha formado empieza a moverse hacia el interior del alimento y la temperatura de las regiones secas del producto empieza a aumentar por encima del punto de ebullición del agua (Vassiliki *et al.*, 2014).

En la fritura convencional la absorción de aceite se ve afectada por la porosidad del producto, la cual aumenta durante el proceso; además, conforme mayor sea el tiempo de fritura, más uniformes serán los poros (Vassiliki *et al.*, 2014). Durante los primeros 10-15 segundos de fritura, el almidón gelatiniza y la humedad se evapora a una alta velocidad, lo que da como resultado la expansión de los poros capilares (Moreira *et al.*, 1997). Según Pinthus y Sam Saguy (1994), mientras el agua se evapora del producto durante la fritura convencional, la tasa de absorción de aceite aumenta, debido a una reducción en la presión interna de los poros. Además, de acuerdo a

Moreira *et al.* (1997), en un estudio con papas fritas, se obtuvo que durante la fritura solamente un 20 % del contenido total de aceite fue absorbido por el producto, mientras que el 80 % restante permanece en la superficie. Una vez que se da el enfriamiento del producto, el 64 % del aceite total es absorbido, mientras que solo un 36 % permanece en la superficie del chip.

### **3.1. Fritura al vacío**

#### *3.1.1. Principios de fritura al vacío*

En los procesos de fritura convencional se utilizan temperaturas muy elevadas, con el fin de proporcionar una cocción más rápida y velocidades altas de deshidratación, lo que resulta en un producto con la porosidad, el color, el contenido de aceite y el sabor deseados. Sin embargo, la aplicación de altas temperaturas tiene un efecto negativo sobre la calidad del aceite y el freír a temperaturas más bajas en las freidoras tradicionales no es factible, ya que genera productos con atributos indeseables (Moreira, 1999). La fritura al vacío es una tecnología innovadora, donde el proceso se lleva a cabo a presiones muy por debajo de los niveles atmosféricos, preferiblemente por debajo de 50 Torr, o bien, 6,65 kPa (Rosana, 2012). Estas bajas presiones reducen el punto de ebullición del agua, por lo que es posible reducir la temperatura de fritura sustancialmente (LiuPing *et al.*, 2009),

Bajo condiciones hipobáricas, el punto de ebullición del agua en el alimento se reduce, la temperatura de la superficie del alimento se eleva rápidamente al estar sumergido dentro del aceite caliente y el agua libre en dicha superficie se pierde en forma de vapor y, por ende, la superficie del alimento se deshidrata y el aceite se adhiere a esta (LiuPing *et al.*, 2009). En diferentes estudios se ha observado cómo entre mayor sea el nivel de vacío que se aplica en el proceso mayor será la tasa de evaporación de agua del producto (Liu-ping *et al.*, 2005). Además, la temperatura de fritura disminuye a medida que la evaporación avanza, debido a que el aceite debe aportar la energía requerida para el cambio de fase (calor latente de vaporización).

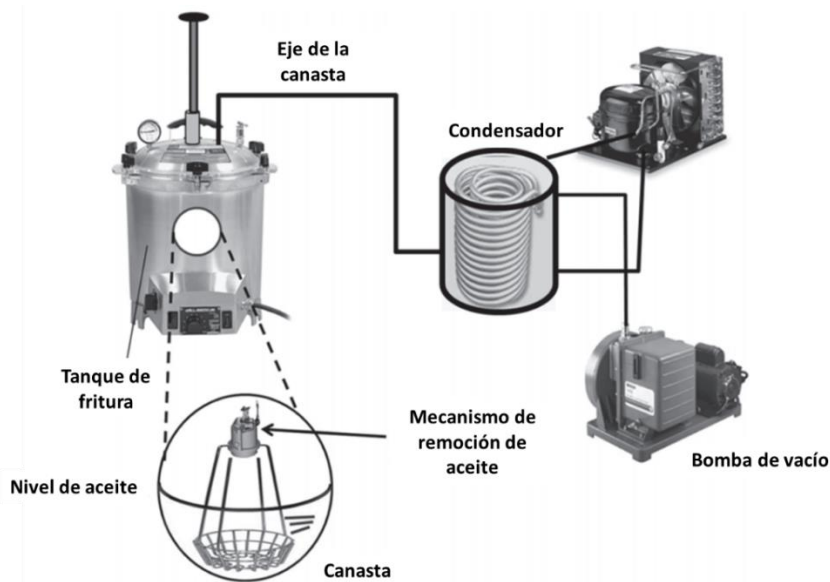
Según Garayo y Moreira (2002), el proceso de fritura al vacío se divide en tres diferentes etapas. Durante la primera el producto empieza a perder humedad rápidamente, ya que al estar en un ambiente a baja presión la temperatura de ebullición será menor y por ende el producto llega a esa temperatura en poco tiempo. Posteriormente, en una segunda etapa se da un período de tasa constante, en donde la superficie del alimento se mantiene con cierta cantidad de humedad. Finalmente, en la tercera etapa la tasa de evaporación del agua del alimento disminuye y la cantidad de humedad en él es baja.

En la fritura al vacío, al utilizarse temperaturas más bajas que las utilizadas en fritura convencional, se da un cambio microestructural diferente, lo que puede dificultar la salida de agua del producto (Dueik *et al.*, 2013). Además, la acumulación de vapor de agua en el espacio de cabeza del equipo de fritura al vacío podría afectar la tasa de pérdida de humedad en el producto (Mariscal & Bouchon, 2008). El cambio en la velocidad de difusión provoca que los procesos de deshidratación en la fritura al vacío lleguen a ser más lentos que los de fritura convencional para lograr productos con la misma humedad (Dueik *et al.*, 2013). Según Dueik *et al.* (2012), una de las diferencias más importantes entre el tejido de papa frita por el método convencional y al vacío es la presencia de gránulos de almidón no gelatinizado en los fritos al vacío, ya que la hinchazón y gelatinización del almidón requiere la presencia de agua y temperatura. La etapa de despresurización previa al proceso de fritura al vacío puede inducir una deshidratación rápida, lo que limita la cantidad de agua requerida para iniciar la gelatinización del almidón (Dueik *et al.*, 2012).

Según Diamante *et al.* (2015), no es recomendable disminuir en gran medida la temperatura, ya que los cambios estructurales y sensoriales requeridos en un producto frito podrían no suceder a temperaturas muy bajas. Según Choe y Min (2007), los alimentos fritos a una temperatura más baja o un tiempo de fritura más corto que el óptimo poseen un color blanco o ligeramente marrón en el borde, además de almidón no gelatinizado o parcialmente cocido en el centro. Estos alimentos no tienen un sabor frito deseable, ni buen color o textura crujiente. Los alimentos fritos sobrecocinados a temperaturas más altas y tiempo de fritura mayores desarrollan superficies oscuras y endurecidas, además de una textura grasa debido a la absorción excesiva de aceite.

### 3.1.2. Efecto de las condiciones de proceso sobre los productos fritos al vacío

El proceso de fritura al vacío requiere como un primer paso el calentamiento del aceite a la temperatura establecida. Se coloca el producto crudo en la cámara, pero suspendido sin estar en contacto con el aceite, ya que, una vez que la cámara alcance la presión de vacío requerida, el producto es inmerso en el aceite y el proceso de fritura inicia por el tiempo establecido. Una vez que ha finalizado el tiempo de fritura, el producto es elevado nuevamente, donde se da una centrifugación si el equipo que se utiliza lo permite (Diamante *et al.*, 2015). En la **Figura 1** se observa un diagrama que ejemplifica un equipo de fritura al vacío.



**Figura 1.** Esquema de un equipo de fritura al vacío con sus componentes principales para su funcionamiento. Adaptado de Rosana (2012).

Las condiciones de proceso, como la temperatura de fritura, el tiempo y la presión de vacío afectan directamente las características del producto final. La temperatura del aceite de fritura es uno de los factores clave relacionados con la tasa de deshidratación, el sabor, el color y el valor nutricional del producto, donde al aumentar la temperatura de fritura a un mismo nivel de vacío disminuye el tiempo de fritura y mejora la tasa de secado. Según Da Silva y Moreira (2008), características del producto crudo, como la composición y la forma, van a afectar la selección del tiempo y temperatura correctas para un proceso de fritura al vacío.

### 3.2. Absorción de grasa en procesos de fritura al vacío

#### 3.2.1. Mecanismos de absorción de grasa

La absorción de aceite en los procesos de fritura está fuertemente ligada a la pérdida de humedad, al grado de formación de la corteza y, por tanto, al volumen disponible para la infiltración del aceite (Dueik *et al.*, 2013). La absorción de aceite en la fritura al vacío depende en gran manera de la presión utilizada, ya que, según Garayo y Moreira (2002), al aumentar el nivel de vacío la temperatura de ebullición del agua disminuye, por lo que el agua del alimento empieza a evaporarse rápidamente y esto provoca una rápida formación de corteza, lo que lleva a una mayor absorción de aceite.

De acuerdo a Dueik *et al.* (2012), existe una relación lineal entre la porosidad del producto y la absorción de aceite, tanto en la fritura convencional como en la fritura al vacío. En un estudio realizado por Li *et al.* (2009) se observó que, al aumentar el nivel de vacío durante la deshidratación de una película polimérica porosa, había un aumento en el diámetro de poro. El desarrollo de poros de mayor tamaño en productos fritos al vacío puede estar relacionado con el mayor volumen específico de vapor de agua a baja presión (Dueik *et al.*, 2012). Ahora bien, al comparar la absorción de aceite de tres diferentes matrices, manzanas (alta porosidad y bajo contenido de almidón), zanahorias (baja porosidad y bajo contenido de almidón) y papas (baja porosidad y alto contenido de almidón), se dan resultados diferentes, según el estudio realizado por Dueik *et al.* (2012). De acuerdo a este estudio, al freír al vacío las manzanas se reduce la absorción de aceite un 16 % en comparación con las manzanas fritas por el método tradicional. Mientras que las zanahorias y papas fritas al vacío redujeron la absorción de aceite en 45,3 % y 49,7 %, respectivamente, en comparación con sus contrapartes procesadas a presión atmosférica. Estos resultados se explican por diferencias en los tamaños de los poros en los productos, ya que los productos fritos bajo condiciones atmosféricas mostraron una mayor proporción de poros pequeños, es decir, mayor superficie disponible y, por ende, mayor absorción de aceite. Además, las características de la materia prima influyen en gran medida; en la manzana, por ejemplo, se encontró la mayor área superficial disponible, lo que se relaciona a su alta porosidad, en donde se obtienen resultados de absorción de grasa mayores que en zanahoria y papa. El tamaño de los poros, entonces, se relaciona inversamente con la presión capilar (Dueik *et al.*, 2012). Además, según Mariscal y Bouchon (2008), los productos fritos al vacío sufren cambios estructurales más ligeros en comparación con los fritos por el método convencional, un aspecto que puede reducir la absorción de aceite. Las temperaturas más elevadas, como las utilizadas en fritura convencional, inducen cambios estructurales como consecuencia de la degradación de los tejidos, lo que aumenta la absorción de grasa (Mariscal & Bouchon, 2008).

Si el alimento a freír contiene más humedad se prevendrá que el aceite entre en el espacio poroso, ya que, de acuerdo a Garayo y Moreira (2002), la absorción de aceite en el producto es mayor cuando hay una mayor cantidad de espacios libres disponibles. Estos espacios disponibles se dan cuando la cantidad de agua libre es pequeña, además de, que al darse la pérdida de humedad en el producto y formarse la corteza, se pierde la característica hidrofílica del material crudo y por lo tanto, el aceite puede entrar en el producto con mayor facilidad. Entonces, así como se lo explican Mariscal y Bouchon (2008), la reducción en la absorción de aceite en procesos de fritura al vacío se



da principalmente debido a una disminución en la tasa de pérdida de humedad (dada por cambios microestructurales) lo que, como ya se explicó, dificulta la entrada de aceite en el producto.

### 3.2.2. Presurización

Al remover los productos de la freidora, es decir, llevarlos de condiciones de vacío a atmosféricas, la presión en los poros del producto aumenta rápidamente a los niveles atmosféricos. Este cambio de presión provoca que el vapor dentro de los poros se condense y la diferencia de presión entre el entorno y el poro hace que el aceite que se adhiera a la superficie sea absorbido (LiuPing *et al.*, 2009). Entonces, la absorción de aceite superficial en productos fritos al vacío aumenta debido a esta etapa de presurización, en donde, según Troncoso y Pedreschi (2009), el contenido de aceite puede llegar a ser mayor que en productos fritos de manera convencional para la misma temperatura de trabajo.

Moreira *et al.* (2009) consideran la cantidad de aceite superficial presente en el momento de la presurización como un aspecto determinante para el contenido final de aceite en el producto, por lo que se debe utilizar un mecanismo de remoción de aceite de la superficie después del proceso de fritura al vacío. Además, de acuerdo con Moreira *et al.* (2009), el 14 % del contenido total de aceite en papas fritas se encuentra en el núcleo (aceite interno), mientras que el 86 % del contenido de aceite en ellas es aceite superficial. En ese estudio se utilizó un sistema de centrifugación en el proceso para lograr retirar el aceite superficial antes de la etapa de presurización, en donde es posible reducir el contenido de aceite total en aproximadamente 80-90 %. Sin embargo, según Dueik *et al.* (2012), esta reducción de aceite por centrifugación va a depender también de la temperatura a la que se encuentra el aceite de fritura, ya que a mayores temperaturas la viscosidad del aceite es menor, lo que facilita su drenaje.

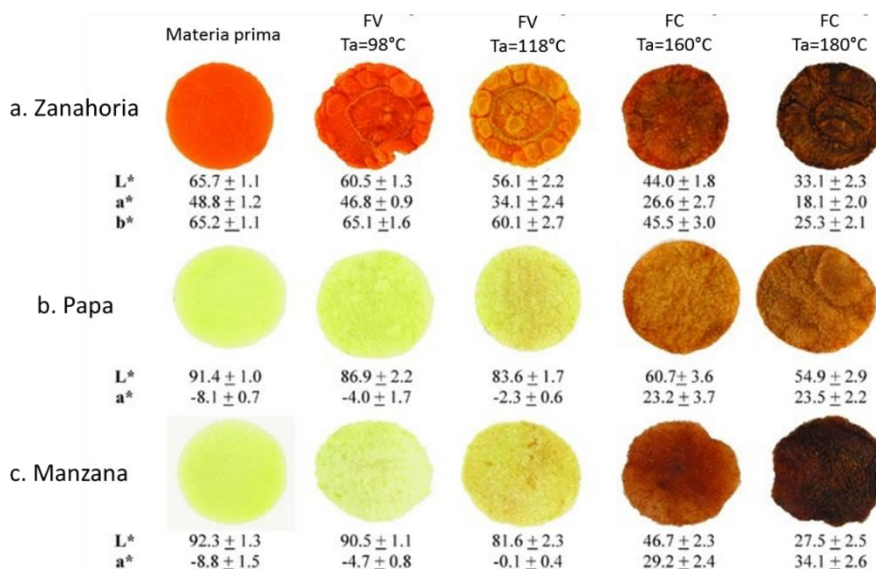
La absorción de grasa es un fenómeno complejo, que se ve afectado por el contenido de agua inicial y el tamaño de poro, así como por la distribución de poros que queda después de la evaporación del agua, además de otros factores, como la composición del alimento, los pretratamientos y las condiciones de fritura (LiuPing *et al.*, 2009). A continuación, en el **Cuadro I** se presenta un cuadro resumen sobre los factores que influyen en la absorción de aceite durante la fritura al vacío.

**Cuadro I.** Resumen de los principales factores relacionados con la absorción de aceite en la fritura al vacío.

<b>Factor</b>	<b>Explicación</b>	<b>Referencia</b>
<b>Presión utilizada</b>	Mayor nivel de vacío mayor absorción de aceite debido a una rápida formación de corteza.	Garayo y Moreira (2002)
<b>Porosidad del producto</b>	En productos fritos al vacío se desarrollan poros de mayor tamaño, por lo que van a mostrar menor área superficial en el producto y por ende menor absorción de aceite.	Dueik <i>et al.</i> (2012) Li <i>et al.</i> (2009)
<b>Cambios estructurales</b>	Los productos fritos al vacío sufren cambios estructurales más ligeros, se reduce la absorción de aceite.	Mariscal y Bouchon (2008) Dueik <i>et al.</i> (2012)
<b>Contenido de humedad en el producto</b>	Mayor cantidad de humedad impide que gran cantidad de aceite entre en el poro.	Garayo y Moreira (2002) Mariscal y Bouchon (2008)
<b>Etapas de presurización</b>	Cambio de presión que provoca la absorción del aceite que se encontraba adherido al producto.	LiuPing <i>et al.</i> (2009) Troncoso y Pedreschi (2009)
<b>Centrifugación</b>	Al reducir la cantidad de aceite superficial en el producto antes de la presurización se logra disminuir la absorción de aceite final. Mayor temperatura del aceite disminuye la viscosidad del mismo, lo que facilita la eliminación de aceite superficial.	Moreira <i>et al.</i> (2009) Dueik <i>et al.</i> (2012) LiuPing <i>et al.</i> (2009)

### 3.3. Ventajas de la fritura al vacío

La fritura al vacío es la única tecnología de fritura que se puede utilizar para productos con alto contenido de azúcares y pigmentos como lo son las frutas y vegetales. En general, los productos fritos al vacío retienen más sus pigmentos y sabores naturales debido a una menor oxidación y menor temperatura de fritura (Rosana, 2012). Debido a que es un proceso a baja temperatura, la fritura al vacío se puede utilizar para productos sensibles al calor. Es una excelente tecnología para la producción de chips de frutas y verduras con el necesario grado de deshidratación sin un oscurecimiento excesivo. En la **Figura 2** se observa una imagen comparativa entre procesos de fritura al vacío y fritura convencional.



**Figura 2.** Imagen comparativa con valores de color (L\*, a\*, b\*) entre procesos de fritura al vacío (FV) y fritura convencional (FC) en productos como zanahoria (a), papa (b) y manzana (c), utilizando diferentes temperaturas de aceite (T<sub>a</sub>). Adaptado de Dueik y Bouchon (2011)

Además, los productos fritos al vacío tienen una mayor retención de compuestos nutricionales (alta presencia de vitamina C residual, además de compuestos fenólicos y otros compuestos antioxidantes), una mejor retención del color debido a una menor oxidación, y la degradación del aceite es menor en comparación con la fritura convencional (Rosana, 2012). La ausencia de aire durante la fritura al vacío inhibe o desacelera algunas reacciones químicas indeseables, incluyendo la oxidación de lípidos y el pardeamiento enzimático (LiuPing *et al.*, 2009).

Sin embargo, las reacciones de caramelización y de Maillard suceden si la temperatura es mayor a 100 °C (Teruel *et al.*, 2014).

La acrilamida, un compuesto formado en alimentos ricos en carbohidratos y en el aminoácido asparagina, se ha encontrado que es cancerígeno en ensayos realizados con ratas de laboratorio. Su formación se da en productos que han sido cocinados a altas temperaturas, principalmente arriba de 120 °C (Granda *et al.*, 2004). En aceites muy degradados ocurre la formación de este compuesto, lo que provoca, además, sabores acres (Kathleen, 2008). Al disminuir la temperatura de fritura en los procesos al vacío se logra disminuir efectivamente la cantidad de acrilamida en estos productos. Según Granda *et al.* (2004), es posible reducir hasta un 97 % en el contenido de acrilamida en papas fritas obtenidas mediante la tecnología al vacío, en comparación con los chips tradicionales.

### **3.4. Sabor desarrollado en productos fritos**

Durante la fritura se imparten sabores deseables, los cuales no pueden ser desarrollados mediante otros métodos como el horneado (Kathleen, 2008). El sabor único y la textura generados en el alimento durante la fritura hace que sea de gran interés el desarrollo de productos de esta índole con el fin de introducirlos en el mercado (Vassiliki *et al.*, 2014). El desarrollo de sabores por la descomposición de ácidos grasos es el efecto más significativo en el cambio de sabor del producto (Kathleen, 2008). Sin embargo, este sabor se ve modificado por combinaciones de compuestos volátiles formados gracias a la interacción entre los productos de la oxidación del aceite y componentes en los productos fritos (Boskou & Elmadfa, 2016). Los lípidos presentes en los productos fritos influyen en el sabor, debido a su efecto en la percepción (sensación en boca), la estabilidad y su generación del sabor (Heldman, 2003). Algunos aceites desarrollan el sabor característico antes que otros, lo que va a depender del contenido de ácido linoleico en el aceite, cuya oxidación es de suma importancia para el desarrollo del sabor (Kathleen, 2008). Según Akoh y Min (2008), al utilizar aceites con un contenido entre 50 % y 55 % de ácido linoleico para la fritura de papas se obtiene un producto con un mayor sabor característico a fritura. Los aceites con alto contenido en ácido oleico limitan la intensidad del sabor relacionado a fritura, ya que poseen un bajo contenido de ácido linoleico. Sin embargo, altos niveles de oxidación de ácido linoleico producen sabores desagradables (Sumnu & Sahin, 2008).

El objetivo principal del proceso de fritura es desarrollar un sabor distintivo relacionado con el proceso, además de una textura crujiente en el alimento (Kathleen, 2008). Una textura crujiente

en los productos fritos, de acuerdo con Heldman (2003), es una cualidad altamente valorada que hace referencia a la frescura y alta calidad del producto.

Según Akoh y Min (2008), las pruebas sensoriales, ya sea discriminativas o descriptivas, son analizadas utilizando paneles entrenados, o bien, realizando pruebas con consumidores, son de suma importancia para el análisis de los productos fritos y el aceite utilizado. El color de estos productos, además del sabor, influye en el nivel de agrado de un alimento para los consumidores en las pruebas sensoriales. El color, por su parte, está fuertemente influenciado por la reacción de Maillard (Heldman, 2003), además de otras como descomposición de carotenoides o demás compuestos que influyen en el color, dependiendo de la materia prima (Dueik *et al.*, 2013)

### **3.5. Vida útil y preservación de productos fritos**

La fritura provee un efecto de preservación, al destruir microorganismos, enzimas y disminuir considerablemente la actividad de agua (aw) del alimento. La vida útil de productos de esta índole está dada principalmente por el porcentaje de humedad resultante luego de la fritura, o bien, esta puede ser limitada por el deterioro de la calidad del aceite absorbido que provoca el desarrollo de olores y sabores a rancio, ya que se pueden dar reacciones hidrolíticas u oxidativas (Vassiliki *et al.*, 2014). Las reacciones hidrolíticas se dan por lipasas en presencia de humedad; mientras que las reacciones de oxidación se dan por la presencia de oxígeno, y se aceleran por altas temperaturas o presencia de luz. Entonces, el control de las condiciones en el proceso con el fin de inactivar enzimas y controlar la humedad durante el almacenamiento es crucial para la vida útil del producto frito (Mujumdar, 2014). Además, entre mayor sea el aw del producto frito mayor será la tasa de oxidación de éste, en donde, según Labuza (1982), valores de aw entre 0,4 y 0,5 hacen referencia a un producto no aceptable, debido a la pérdida de crujencia.

De acuerdo con Labuza (1982), por cuestiones de vida útil, el porcentaje de humedad final en un producto frito debe ser entre 2 % y 3 %, mientras que valores de aw entre 0,4 y 0,5 hacen referencia a un producto no aceptable, por lo que al disminuir este valor su estabilidad aumenta. En cuanto a las propiedades sensoriales de los productos fritos, como el color, el sabor y la crujencia, estas van a depender de las características de la materia prima fresca, del medio de fritura y de las condiciones de proceso (Labuza, 1982). Por ejemplo, la temperatura de transición vítrea hace referencia al proceso que ocurre bajo un enfriamiento rápido, cuando un material de estructura elástica (*rubbery*) se convierte en un material amorfo (*glassy*) extremadamente viscoso, en donde mecánicamente se comporta como un sólido. Este concepto ayuda a explicar los cambios que se

producen durante el procesamiento y almacenamiento de productos fritos, como por ejemplo, la pegajosidad, el apelmazamiento, el ablandamiento y el endurecimiento (Abbas *et al.*, 2010).

### 3.6. Papaya

Según Gebhardt y Thomas (2002), la papaya está catalogada como una de las frutas de mayor contenido de ácido ascórbico, con un rango promedio entre 45 y 60 mg/100 g de peso fresco, pero se han reportado valores de hasta 154 mg /100 g de peso fresco. De acuerdo con Hernández *et al.* (2006), el valor de ácido ascórbico para la papaya madura es de  $151 \pm 13$  mg /100 g de peso fresco, lo que supera a frutas como la naranja ( $68 \pm 6$  mg /100 g de masa húmeda). La variación de los cultivares, el lugar de cultivo, la exposición a la luz solar, las prácticas agrícolas, el estado de madurez y el manejo poscosecha pueden tener efectos significativos sobre la composición química de la papaya (Gayosso-García Sancho *et al.*, 2011).

El color característico de la fruta es conferido por el nivel y los tipos de carotenoides presentes, en donde la intensidad del color juega un papel vital en la aceptabilidad por los consumidores de frutas (Ikram *et al.*, 2015). Este color que se da en la papaya se relaciona con el desarrollo de plástidos encargados del pigmento, ya que, de acuerdo con Schweiggert *et al.* (2011a), a partir de proplástidos sin color, amiloplastos y cloroplastos se forman cromoplastos coloreados.

La  $\beta$ -criptoxantina y el  $\beta$ -caroteno se encuentran en todos los tipos de cultivares de papaya que conducen a tonos amarillos y anaranjados (Gayosso-García Sancho *et al.*, 2011); además, los dos presentan potencial de provitamina A. La  $\beta$ -criptoxantina, además de ser un carotenoide de provitamina A, posee funciones antioxidantes (Landrum *et al.*, 2002); sin embargo, es afectada por la luz, el calor y el oxígeno, principalmente debido a reacciones de isomerización (Acton, 2013). Este carotenoide presente en diferentes frutas y vegetales como la papaya se puede encontrar en su forma libre o esterificada, en donde ésteres de ácidos grasos son comunes; por ejemplo, laurato, miristato y palmitato, los cuales son hidrolizados antes o durante la absorción (Breithaupt *et al.*, 2003).

Según Schweiggert *et al.* (2011a), el contenido de licopeno es significativamente mayor en las papayas con una coloración más rojiza, como es el caso del híbrido Pococí, esto debido a interferencias enzimáticas en su conversión a  $\beta$ -caroteno (Schweiggert *et al.*, 2011b). La papaya es considerada como una buena fuente de este carotenoide, con valores promedio entre 0,36 mg/100 g y 3,4 mg/100 g de peso fresco. Esta fruta se posiciona como número cuatro en la lista de alimentos con mayor contenido de licopeno, de acuerdo con la base de datos de nutrientes de

USDA, después de la guayaba roja, sandía y tomate (U.S. Department of Agriculture Agricultural Research Service, 2014). Además, la variedad “Pococi” se destaca entre otras variedades, como “Criolla” y “Sunset”, por su alto contenido tanto de licopeno como de carotenoides provitamina A (Schweiggert *et al.*, 2012b).

Según Schweiggert *et al.* (2014) la bioaccesibilidad del  $\beta$ - caroteno en las papayas es 3 veces mayor que en tomate y zanahoria, y 2,6 veces mayor en el caso del licopeno. Además, la bioaccesibilidad de la  $\beta$ - criptoxantina en la papaya es 2,9 veces mayor que en el caso del  $\beta$ - caroteno y 2,3 veces mayor que en licopeno. Se recomiendan dosis de 500  $\mu$ g de retinol al día para las mujeres y de 600  $\mu$ g de retinol al día para los hombres (19-65 años) (FAO/WHO, 2002), por lo que según Schweiggert *et al.* (2011b), aproximadamente 300 a 454 gramos de papaya fresca son suficientes para cubrir estos requerimientos.

### 3.6.1. Maduración de la papaya

La maduración de las frutas, según Pareek (2016), se debe a una serie de reacciones catabólicas asociadas con cambios en la permeabilidad de la membrana y una disminución en la integridad estructural de la célula, lo que resulta en la liberación o activación de enzimas hidrolíticas. La papaya es un fruto tropical climatérico, es decir, que puede alcanzar su máximo sabor, aroma y textura en la etapa de almacenamiento luego de la cosecha (Enciso *et al.*, 2003); además, esta fruta madura generalmente de adentro hacia afuera (Annegowda & Bhat, 2016). En frutos climatéricos se da un aumento en la síntesis de etileno en etapas tempranas de la madurez, donde este pico de máxima producción es proporcional a la máxima respiración de la fruta. Estos aumentos en la tasa de respiración y en la síntesis de etileno suceden aún antes de los cambios en el color o la textura de la fruta (Pareek, 2016). Para frutos de esta índole se debe tomar en cuenta tanto la madurez fisiológica como la madurez de consumo. La primera se refiere al estado de la papaya óptimo para la recolección, es decir, cuando el fruto ha alcanzado su máximo desarrollo fisiológico; en este punto empiezan a aparecer líneas amarillas en la papaya, desde la base hasta el ápice o la punta. La madurez de consumo se da cuando el fruto está listo para ser consumido, es decir, cuando la cáscara de la papaya se torna completamente amarilla (Enciso *et al.*, 2003). De acuerdo a Hernández *et al.* (2006), la papaya experimenta cambios en el color, la textura y la composición durante su maduración.

Según Umaña *et al.* (2011), “En Costa Rica el criterio más común para la cosecha de papaya es la presencia de fajas longitudinales de coloración amarilla (también llamadas rayas, franjas o

pintas) que inician y se concentran en el ápice de la fruta” (**Figura 3**). Los cambios en el color se dan debido a la degradación de la clorofila y la aparición o síntesis de pigmentos amarillos y rojos (Yahia & Ornelas-Paz, 2009). Esta síntesis de carotenoides inicia una vez que la fruta alcance su máximo crecimiento; además, durante la maduración el contenido de carotenoides esterificados aumenta, lo que permite que estos se integren más rápidamente en las membranas. Esto a su vez aumenta la intensidad del color de la fruta y su acumulación en cromoplastos (Yahia & Ornelas-Paz, 2009). De acuerdo a Souza *et al.* (2008) la papaya posee una concentración de carotenoides entre 1,5 mg/100 g y 3 mg/100 g de fruta fresca.



**Figura 3.** Imagen de un fruto de papaya con franjas longitudinales de color amarillo, también llamados “pintas” (Salazar, 2012).

Ahora bien, la pérdida de firmeza se debe a una degradación de pectina y celulosa y a la transformación del almidón en azúcares, lo que puede contribuir a un cambio en la textura y a un aumento en la dulzura de los frutos. Según Pareek (2016), las enzimas responsables del ablandamiento de la fruta presentes en la pared celular de la papaya son la  $\beta$ -galactosidasa, glucanasa, poligalacturonasa y pectin metil esterasa. La poligalacturonasa y la  $\beta$ -galactosidasa, desempeñan un papel central en la solubilización de la pectina durante la maduración de la papaya. Además, las enzimas endoxilanasas son responsables de la solubilización de la parte hemicelulosa de la fruta (Fabi *et al.*, 2014), en donde, de acuerdo con Annegowda y Bhat (2016), la composición fitoquímica de la cáscara de la papaya se basa principalmente en cisteína-proteasas, papaína, quimopapaína, glicil endopeptidasa y caricaina.

Alteraciones en el metabolismo de los ácidos orgánicos y la generación de compuestos que producen el aroma son comunes en la papaya madura (Pareek, 2016). Así como lo explican Beaulieu



y Baldwin (2002), a medida que la maduración en frutas climatéricas inicia, los niveles de metionina aumentan, así como la síntesis de etileno, lo que se asocia con un aumento de la reserva libre de aminoácidos y la producción de compuestos volátiles importantes en el aroma.

### 3.6.2. Perfil sensorial de la papaya

En cuanto al perfil sensorial de la papaya, el ácido cítrico y el ácido málico son los principales ácidos que contribuyen al sabor característico de la fruta. Entre los 106 compuestos volátiles importantes en el sabor de la papaya se encuentra el linalool, además de ésteres, que son responsables de los sabores frutales. El bencil isotiocianato, por su parte, es responsable de un sabor pungente, mientras que lactonas,  $\beta$ -ionona y la presencia de otros ácidos como el butírico, hexanoico y octanoico también son importantes para el sabor y aroma característicos de la papaya (Sinha *et al.*, 2012). Según Annegowda y Bhat (2016), la presencia y concentración de los compuestos responsables del sabor va a depender de la locación geográfica y tipo de cultivar de esta fruta.

### 3.7. Papaya híbrido Pococí

De acuerdo con Montero (2005), este híbrido es producto del cruce entre la variedad criolla y la Hawaiana, presenta entre 11 y 14 °Brix, un tamaño regular con masas entre 1 kg y 1,5 kg, buen grosor de pulpa y buena resistencia al manejo poscosecha; además, según Bogantes y Mora (2006), este híbrido se caracteriza por ser homogéneo y de alto rendimiento. Las papayas consumidas en Costa Rica generalmente se sitúan entre los 8,5 y 10 °Brix, mientras que los valores obtenidos con el híbrido Pococí son relativamente más altos (Mora & Bogantes, 2004).

Otras de las variedades de importante producción en Costa Rica son “Lucía” y “Parriteña”, además de las variedades del grupo “Solo” (“Sunset” y “Sunrise”) y la variedad “Maradol” originaria de Cuba. Sin embargo, en el caso de las variedades “Lucía”, “Parriteña” y “Maradol”, estas son relativamente susceptibles a la esterilidad femenina, en especial las dos primeras. La papaya híbrido Pococí, por su parte, es principalmente susceptible a complicaciones por las condiciones climáticas y de manejo (Bogantes *et al.*, 2011). En cuanto a la producción nacional, en el 2013 el volumen comercializado de papaya en el CENADA (Centro Nacional de Abastecimiento y Distribución de Alimentos) fue de 4.875.900 kg, mientras que en el año 2015 fue de 4.951.100 kg y en el 2016 fue de 3.838.400 kg (Mena, 2016).

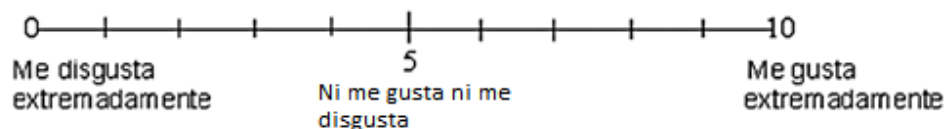
### 3.8. Pruebas sensoriales afectivas

#### 3.8.1. Principio de las pruebas afectivas

Las pruebas sensoriales pueden ser divididas en dos grupos, las pruebas analíticas y las afectivas (Lawless & Heymann, 2010). El principal propósito de las pruebas sensoriales afectivas es evaluar la respuesta personal, ya sea preferencia o aceptación, por los consumidores hacia una idea de producto o características específicas de un producto (Meilgaard *et al.*, 2006). Estas pruebas buscan cuantificar el grado de agrado o desagrado de un producto, por lo que también pueden ser conocidas como pruebas hedónicas (Lawless & Heymann, 2010) o pruebas de consumidores (Lawless, 2013).

En las pruebas afectivas los participantes perciben el producto como un todo, sin embargo, su atención es usualmente capturada por un aspecto específico del producto, principalmente si es un mal sabor o una mala sensación. Las reacciones de los participantes a los productos son inmediatas, basadas en un patrón integrado de percepciones, por lo que la selección de los panelistas es de suma importancia. Se debe asegurar que los resultados del panel van a generalizar a la población de interés, y los participantes deben estar familiarizados con el producto (Lawless & Heymann, 2010).

Durante el desarrollo de productos la aplicación de estas pruebas es de suma importancia en varias etapas del proceso, en donde a partir de los resultados que se obtienen se decide cómo modificar el producto en desarrollo (Meilgaard *et al.*, 2006). El uso de la escala hedónica de 9 puntos es indispensable durante estas pruebas. Esta es una escala balanceada en donde cada intervalo es relativo a cambios de igual magnitud, ya sea a un mayor agrado o menor agrado; en la **Figura 4** se puede observar un ejemplo. Además, en una prueba de este tipo es importante incluir una gran cantidad de personas, esto para asegurar la sensibilidad de la prueba debido a la gran variabilidad dada por las preferencias individuales (Lawless & Heymann, 2010).



**Figura 4.** Escala hedónica híbrida empleada en las pruebas con consumidores para evaluación del agrado general de los chips de papaya fritos al vacío.

### 3.8.2. Métodos cuantitativos

Las pruebas afectivas se pueden clasificar en dos grandes grupos de pruebas cuantitativas; de preferencia y de aceptación (Meilgaard *et al.*, 2006). La prueba de preferencia obliga a elegir un elemento sobre otro u otros; sin embargo, no es posible de esta manera conocer el nivel de agrado sobre esos productos analizados. En las pruebas de aceptación, por su parte, se busca conocer el nivel de agrado en los participantes sobre un producto en especial. En estas pruebas se utilizan escalas balanceadas, es decir, con igual número de categorías negativas y positivas (Meilgaard *et al.*, 2006).

De acuerdo con Lopetcharat y McDaniel (2011), en muchos casos las pruebas de aceptación y las de agrado general son confundidas como la misma prueba; sin embargo, estas son diferentes y utilizadas en diferentes escenarios. Como ya se explicó, las pruebas de aceptación son utilizadas para medir niveles de aceptación de un producto, mientras que las de agrado general por su parte, miden cuánto le gusta el producto al panelista, en donde generalmente se utiliza una escala hedónica de 9 puntos.

### 3.9. Análisis por conglomerados (*Cluster*)

El análisis por conglomerados es una técnica estadística útil para organizar la información de las variables de interés para formar grupos homogéneos, llamados *clusters*. Estos grupos que se obtienen se forman por ser internamente homogéneos y externamente heterogéneos, es decir, los miembros del grupo son parecidos pero diferentes a los miembros de los otros grupos (González & Felpeto, 2006). Según Rodríguez *et al.* (2013), el análisis de *cluster* es una técnica descriptiva, no explicativa, en donde los grupos que se forman deben ser exclusivos y selectivamente exhaustivos.

Así como lo explica Gallego (2003), los dos tipos principales de análisis de *cluster* son los no jerárquicos y los jerárquicos, en donde en los no jerárquicos los datos se agrupan en un único nivel y a partir de un grupo principal se separan otros. En los jerárquicos, por su parte, los grupos se forman en varios niveles, dependiendo del grado de correlación entre ellos. Además, las estrategias de agrupamiento en estos últimos pueden ser aglomerativos o disociativos (Gallego, 2003).

En las técnicas jerárquicas aglomerativas se inicia con un solo individuo, el cual representa un *cluster* de un solo miembro y partir de diferentes métodos se procede a agrupar *clusters*. Por otra parte, en las técnicas disociativas se parte de todo el conjunto de individuos como un solo grupo y luego se procede a dividirlo en diferentes *clusters*. Para poder agrupar los datos en *clusters* es

necesario utilizar distancias como medidas de similitud, en donde se buscan distancias cortas para poder agruparlos (Galbraith, 2008).

Según Mirkin (2005b), los principales métodos para la determinación de distancias en técnicas aglomerativas son de distancia mínima, distancia máxima y distancia promedio de grupo. En esta última se toma la distancia entre los centroides como la distancia entre los *clusters*, por ejemplo, en la técnica de Ward. En esta técnica se agrupan los datos mediante un algoritmo en donde su varianza es cero, y aumenta esta agrupación minimizando la variabilidad. Una vez que se han aglomerado los datos, se utiliza la técnica de *k-means*.

Los resultados de un algoritmo de agrupamiento jerárquico pueden ser representados en un dendograma (Erciyes, 2014). Esta es una forma de representación gráfica de los resultados del *cluster*, es una estructura de árbol con una escala de distancias, en donde los individuos o grupos de individuos están situados en ramas que emanan de tallos más arriba (Galbraith, 2008).

## **4. MATERIALES Y MÉTODOS ANALÍTICOS**

### **4.1. Localización del proyecto**

El desarrollo de este proyecto se llevó a cabo en la sede Rodrigo Facio de la Universidad de Costa Rica, en San Pedro de Montes de Oca, San José. En la Planta Piloto del Centro Nacional de Ciencia y Tecnología de Alimentos (CITA) se realizó el proceso de fritura al vacío de papaya, mientras que los análisis químicos se llevaron a cabo en el Laboratorio de Química de este mismo Centro y en el Laboratorio de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos. La prueba sensorial fue realizada en el Laboratorio de Análisis Sensorial ubicado en esta misma Escuela. La caracterización física de las papayas, por su parte, se llevó a cabo en el Centro de Investigaciones Agronómicas, dentro de las instalaciones del Laboratorio de Tecnología Poscosecha.

### **4.2. Materias Primas**

#### **4.2.1. Papaya**

La papaya utilizada para el desarrollo de este proyecto era proveniente del cantón de Orotina, provincia de Alajuela. Se utilizó únicamente papaya (*Carica papaya* L.) híbrido Pococí, ya que después de pruebas preliminares se determinó que ésta cumplía con las características requeridas en cuanto a calidad de la materia prima y otras como rendimiento y color. La papaya fue proporcionada por la empresa OROFRUT, quienes producen el híbrido Pococí.

Las papayas utilizadas en la etapa de caracterización fueron cosechadas en el mes de agosto del año 2016, y provenían de plantas que fueron sembradas en febrero del año 2016, por lo que en el momento del análisis de estas papayas la edad de la planta era de 6 meses. El producto utilizado en las siguientes etapas del proyecto se cosechó entre los meses octubre del 2016 y marzo del 2017.

#### 4.2.2. *Aditivos*

- Ácido Cítrico

El ácido cítrico utilizado fue fabricado en Weifang Ensing Industry Co. Ltd (China) y adquirido de Insumos Químicos y Servicios de Costa Rica, S.R.L. (IQS, San José, Costa Rica).

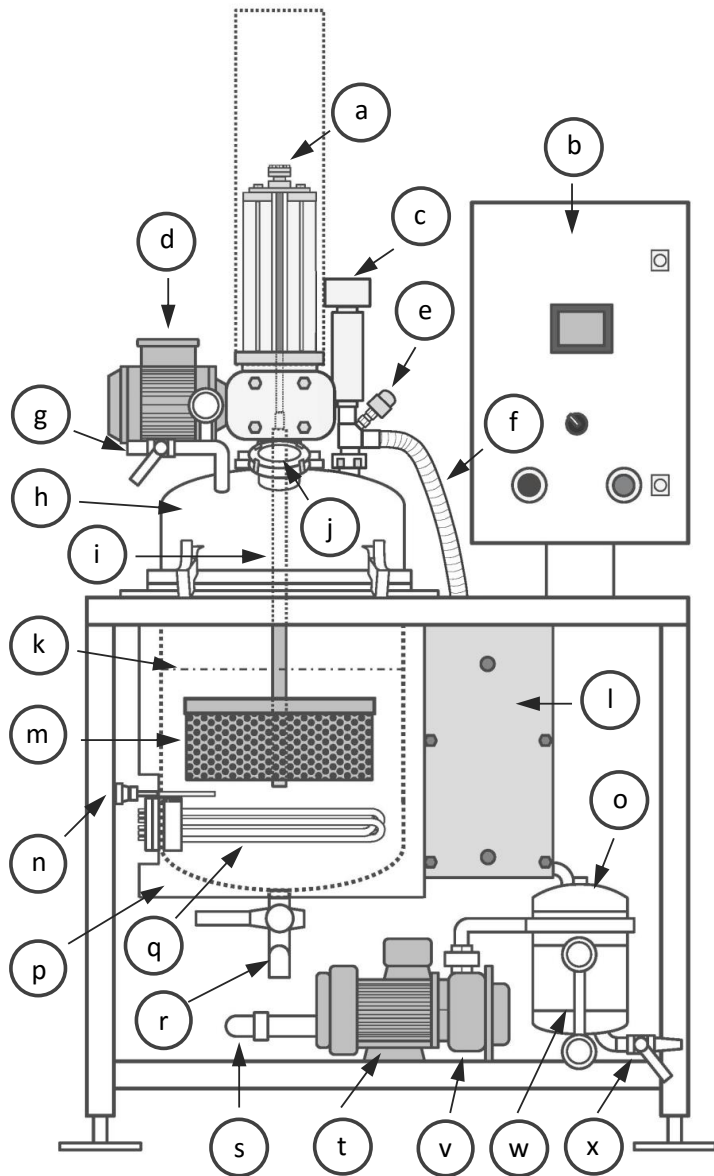
- Ácido Málico

Este ácido fue fabricado en Changmao Biochemical Engineering Company Limited (China) y adquirido también de Insumos Químicos y Servicios de Costa Rica, S.R.L. (IQS, San José, Costa Rica), Número CAS 617-48-1.

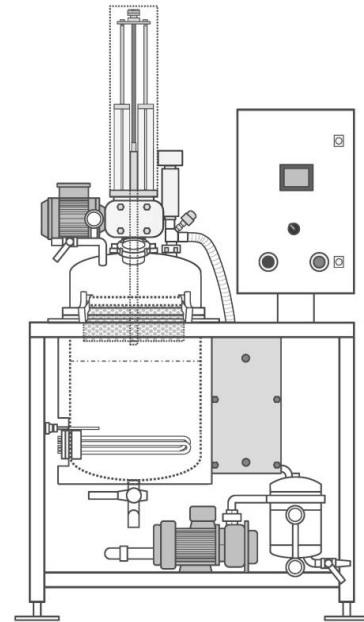
#### **4.3. Equipo utilizado en el procesamiento de la papaya**

Para el desarrollo del proyecto se utilizó un equipo de fritura al vacío (Auriol, Francia) ubicado en la Planta Piloto del CITA. Este es un equipo discontinuo de fritura al vacío con capacidad de 2 kg de producto fresco por “batch”, y con un sistema de centrifugación integrado. Este equipo fue diseñado en el CIRAD-PERSYST (Centre de Coopération Internationale en Recherche Agronomique pour le Développement), fabricado por la empresa Auriol y adquirido gracias al apoyo de la Vicerrectoría de Investigación de la UCR. En la **Figura 5** se puede observar un esquema del equipo.

**1. Equipo con la canasta en posición "Abajo"**



**2. Equipo con la canasta en posición "Arriba"**



- a. Pistón de la canasta.
- b. Panel de control.
- c. Filtro con extractor.
- d. Motor del eje giratorio.
- e. Válvula de control de paso.
- f. Salida de aire y vapor para formar vacío.
- g. Llave de liberación de vacío.
- h. Tapa del tanque de fritura con prensas.
- i. Eje giratorio de la canasta.
- j. Visor del tanque de fritura.
- k. Nivel máximo de aceite.
- l. Intercambiador de placas.
- m. Canasta para colocar producto.
- n. Termocupla (sensor de temperatura).
- o. Tanque de condensados.
- p. Tanque de fritura.
- q. Resistencias eléctricas.
- r. Llave de salida de aceite.
- s. Entrada de agua.
- t. Motor de bomba de anillo líquido.
- v. Bomba de anillo líquido.
- w. Visor de líquido del tanque de condensados.
- x. Llave de salida de condensados.

**Figura 5.** Diagrama esquemático del equipo de fritura al vacío: 1) vista del equipo con la canasta en posición "Abajo"; 2) vista del equipo con la canasta en posición "Arriba" (Elaborado por Marvin

Soto)

#### 4.4. Métodos Analíticos

##### 4.4.1. Firmeza de la cáscara

Este análisis determina la resistencia a la penetración, expresada en newtons (N), mediante un penetrómetro manual (Chatillón, Estados Unidos), haciendo uso de una punta en forma de cincel. La fuerza máxima que ejerce el penetrómetro es de 100N, con una distancia de penetración máxima de 5 a 6 mm. Se siguió el procedimiento descrito por Salazar (2012), por lo que se determinó el promedio de tres mediciones de fuerza, todas realizadas en la zona ecuatorial de cada papaya, en donde se analizaron 25 papayas por cada estado de madurez.

##### 4.4.2. Firmeza de la pulpa

Para la determinación de esta variable respuesta se utilizó la misma metodología explicada para la firmeza de cáscara, basándose en el procedimiento descrito por Salazar (2012). En este caso se realizó la evaluación de la firmeza de la pulpa haciendo uso del mismo equipo, posterior a la remoción de la cáscara en las zonas de la medición. En la **Figura 6** se presenta el equipo utilizado para determinar la fuerza de penetración tanto en la pulpa como en la cáscara.



**Figura 6.** Determinación de la fuerza de penetración en las papayas híbrido Pococí utilizando un penetrómetro marca Chantillon y una punta en forma de diente.

##### 4.4.3. Determinación de sólidos solubles

Esta determinación se llevó a cabo basándose en el método oficial 932.12 de la AOAC (AOAC, 2005a). Se tomó una rodaja central de la fruta sin cáscara y sin semillas y se procesó haciendo uso de un homogenizador marca Osterizer para obtener el jugo. Posteriormente este jugo se hizo pasar

a través de una gasa y se colocaron unas gotas en un refractómetro de Abbe marca Atago (Japón) donde el resultado se reporta como grados Brix. En este caso también se analizaron 25 papayas de cada estado de madurez, realizando la determinación por triplicado en cada una.

#### 4.4.4. *Determinación de parámetros de color (L\*, °h y C\*) en papaya fresca*

Se realizó la determinación de color en la pulpa de la fruta mediante los valores de L\*, a\* y b\*. Esta medición se llevó a cabo utilizando un colorímetro portátil modelo WR-10 (Iwave, China), usando la escala CIELAB, una luz D65 y ángulo de incidencia de 10°. Nuevamente se analizaron 25 papayas, realizando esta medición por duplicado en cada una de ellas. El color de las muestras fue expresado en valores de °h (ángulo de hue), C\* (chroma), y L\* (luminosidad), en donde se utilizaron las siguientes fórmulas para determinar los valores de °h como de C\*.

$$\text{Ecuación 1. } C^* = \sqrt{a^{*2} + b^{*2}}$$

$$\text{Ecuación 2. } °h = \left( \arctan \left( \frac{b^*}{a^*} \right) / 6,2832 \right) \times 360$$

#### 4.4.5. *Determinación de composición proximal*

Se realizó la determinación del contenido de humedad, proteína, fibra, lípidos, ceniza, ácido cítrico, ácido succínico, glucosa y fructosa por parte del personal del Laboratorio de Química del CITA. Los resultados de cada determinación se reportan como g /100 g de muestra. Los métodos utilizados se indican a continuación.

##### - *Contenido de humedad*

La determinación del contenido de humedad en la papaya fresca y en los chips de papaya se realizó haciendo uso del analizador termogravimétrico (TGA) modelo TGA701 (LECO, Estados Unidos). El procedimiento de análisis se basa inicialmente en el establecimiento de condiciones, en donde en este caso se utilizó una temperatura final de 80 °C hasta alcanzar masa constante en la muestra. El equipo registra periódicamente la pérdida de masa conforme avanza al tiempo del análisis, en donde éste finaliza en el momento en que dicha pérdida de masa sea menor al 0,3 %.

Este método fue previamente validado con el método oficial de la AOAC (AOAC, 2005b). Se decidió realizar la determinación de humedad mediante el uso del TGA debido principalmente a su facilidad y rapidez en el análisis, además de que en este caso se utiliza poca cantidad de muestra, 0,2 gramos.



- *Contenido de proteína*

En cuanto a la determinación del contenido de proteína en la papaya fresca se siguió el procedimiento de laboratorio P-SA-MQ-003 (CITA, 2015d), el cual se basa en el método oficial 920.152 de la AOAC (AOAC, 2005c). En este análisis se utiliza el método de Kjeldhal para la determinación del contenido de nitrógeno y posteriormente se realiza la conversión a proteína haciendo uso de un factor. En este caso el procedimiento indica un factor de conversión de 6,25. El procedimiento se realizó por triplicado para cada estado de madurez.

- *Contenido de fibra dietética total*

El procedimiento de determinación de fibra dietética total de la papaya se realizó bajo el protocolo de laboratorio P-SA-MQ 007 (CITA, 2015b), basado en el método oficial de la AOAC 985.29 (AOAC, 2005d). Este método se basa en la hidrólisis enzimática de almidón y proteína, la cual es realizada en tres etapas, haciendo uso de tres diferentes enzimas ( $\alpha$ -amilasa, proteasa y amiloglucosidasa). Este procedimiento nuevamente se realizó por triplicado para cada estado de madurez.

- *Contenido de lípidos*

En este caso se realizó la determinación de lípidos tanto en la papaya fresca como en los chips de papaya bajo el protocolo de laboratorio P-SA-MQ-005 (CITA, 2015c). En este se define el procedimiento necesario para la determinación de grasa cruda por extracto etéreo, basado en el método descrito por Carpenter *et al.* (1993).

- *Contenido de cenizas*

La determinación del contenido de cenizas en la papaya fresca se realizó por triplicado para cada estado de madurez, basándose en el método oficial 940.26 (AOAC, 2005f). En este caso la determinación se basa en la medición de la masa del residuo inorgánico después de colocar la muestra en una mufla a temperaturas de 500-600 °C.

- *Contenido de ácido cítrico y ácido succínico*

La cuantificación de ácido cítrico y ácido succínico se realizó por duplicado en cada estado de madurez, bajo el método de laboratorio P-SA-MQ-043 (CITA, 2009), basado en metodologías reportadas por Gokturk (2006) y Nozal (2003). Consiste en la extracción de ácidos orgánicos de la muestra para su posterior separación por medio de una columna de cromatografía líquida de alta resolución (HPLC). En este caso se utilizan patrones de concentración conocida de cada ácido, así como tiempos de retención o elusión para la identificación y cuantificación.

Para este procedimiento fue necesaria la preparación de curvas de calibración, a partir de tres soluciones patrón de diferente concentración de los ácidos orgánicos. Los extractos fueron filtrados utilizando un cartucho OASIS, para posteriormente ser inyectados en el equipo de HPLC. Se utilizó una solución de H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 0,005 mol/L como fase móvil, además de un tiempo de retención y espectro de absorción a 210 nm para identificar cada ácido orgánico. A partir de la curva de calibración se graficó el área bajo la curva contra la concentración de cada ácido.

- Contenido de glucosa y fructosa

La cuantificación de glucosa y fructosa en la papaya fresca se realizó por duplicado para cada estado de madurez, basándose en el método P-SA-MQ-006 (CITA, 2016), y haciendo uso de un equipo de HPLC. En este caso se realiza la extracción de los azúcares de la muestra, para posteriormente realizar la inyección del extracto en la columna. Este método se basa en el descrito por Sullivan y Carpenter (1993).

Se realizaron disoluciones de glucosa y fructosa en concentraciones conocidas, para la identificación por los tiempos de retención en cada azúcar. Además, tanto para la identificación como para la cuantificación de los azúcares se utilizó un detector de índice de refracción. Las concentraciones de glucosa y fructosa determinadas en las muestras de papaya se expresaron como g /100 g de muestra.

#### 4.4.6. Cuantificación de carotenoides

Para la extracción de los carotenoides presentes en las papayas se siguió el método explicado por Schweiggert *et al.* (2012a) con ciertas modificaciones. El método se basa en una extracción con disolventes orgánicos, como metanol, acetato de etilo, éter de petróleo y éter metil tert-butil/metanol. Una vez obtenido el extracto, éste fue almacenado a -80 °C, para posteriormente realizar el análisis por HPLC. La separación de los carotenoides se llevó a cabo mediante cromatografía líquida de alto desempeño acoplado a un detector de arreglo de diodos (HPLC-DAD, por sus siglas en inglés). Este sistema se compone de un detector de arreglo de diodos modelo SPDM20A, un desgasificador modelo DGU-20A5, un automuestreador SIL-20A HT y una bomba modelo LC-20AT (Shimadzu Manufacturing, Inc., Canby, Oregón, USA). Se utilizó además una columna de fase reversa YMC C30 (150 mm x 4,6 mm, 3 µm) (Waters, Wilmington, Massachusetts, USA) y una pre-columna del mismo material, utilizando metanol y MTBE. La fase móvil consistió en metanol (eluyente A) y MTBE (eluyente B). Se utilizó el siguiente gradiente: isocrático 80 % A (5 min),

80 % A a 73 % A (2 min), 73 % A a 62,5 % A (8 min), isocrático 62,5 % A (5 min), 62,5 % A a 45 % A (10 min), 45 % A a 10 % A (5 min), isocrático 10 % A (5 min), 10 % A a 80 % A (5 min). El tiempo total por corrida fue de 45 min a un flujo de 0,6 mL/min. El volumen de inyección fue de 10 µL. Los carotenoides libres y esterificados ( $\beta$ -criptoxantina y  $\beta$ -caroteno) fueron monitoreados a 450 nm y el licopeno ((*Z*)-isómero y (*all-E*)-isómeros) a 472 nm.

Ahora bien, los carotenoides se identificaron al comparar los tiempos de retención, su espectro de absorción US/Vis, y el comportamiento de espectrometría de masas con patrones de cada uno. La cuantificación de estos se realizó haciendo uso del sistema de HPLC-DAD. La cuantificación de los carotenoides se realizó con el sistema de HPLC-DAD utilizando las curvas lineales de calibración con patrones de  $\beta$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina y *all-E*-licopeno. La curva de calibración de *all-E*-licopeno fue aplicada para la cuantificación de isómeros de licopeno. Los contenidos de los esteres de  $\beta$ -criptoxantina fueron cuantificados igualmente con la curva de calibración de  $\beta$ -criptoxantina utilizando los factores de corrección según el peso molecular. En este caso se realizó la determinación por duplicado para cada estado de madurez, en donde los resultados se expresan como ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ , base húmeda).

#### 4.4.7. Determinación de rendimientos en el proceso

Los rendimientos en el proceso se determinaron mediante mediciones de masa del producto en cada etapa; antes y después. Se determinaron rendimientos de pelado, rebanado, fritura y rendimiento total; en el caso del rendimiento de pelado se tomaron en cuenta las masas de las papayas enteras y la masa de las papayas peladas. Para el cálculo del rendimiento de rebanado, se tomó en cuenta la masa de papayas sin cáscara y la de las papayas ya troceadas y rebanadas. Por su parte, para el rendimiento de fritura, se tomó en cuenta la masa de producto fresco utilizada en la fritura y la masa de chips fritos que se obtienen una vez que el proceso finaliza; mientras que en el rendimiento total se tomaron en cuenta todos los rendimientos anteriores.

$$\text{Ecuación 3. Rendimiento pelado} = \frac{m_{\text{papaya pelada}}}{m_{\text{papaya}}} * 100$$

$$\text{Ecuación 4. Rendimiento rebanado} = \frac{m_{\text{papaya en rebanadas}}}{m_{\text{papaya pelada}}} * 100$$

$$\text{Ecuación 5. Rendimiento fritura} = \frac{m_{\text{papaya frita}}}{m_{\text{papaya antes de fritura}}} * 100$$

#### 4.4.8. Determinación de $a_w$

La determinación de la actividad de agua en los chips se realizó bajo el protocolo de laboratorio P-SA-MQ-041 (CITA, 2015a), el cual se basa en el método oficial de la AOAC; 978.18 (AOAC, 2005e). Se utilizó un equipo medidor de actividad de agua AquaLab 4TE (Estados Unidos).

#### 4.4.9. Determinación de parámetros de color ( $L^*$ , $a^*$ , $C^*$ y $\Delta E$ ) en los chips de papaya

Las variables respuesta asociadas con este análisis fueron  $L^*$ ,  $a^*$  y  $C^*$ ; en donde se utilizó el colorímetro Colourflex (HunterLab, Estados Unidos) usando la escala CielCH, una luz D65 y ángulo de incidencia de  $10^\circ$ . Las muestras de cada tratamiento fueron procesadas con un homogenizador para ser analizadas en el equipo.

El valor de  $\Delta E$  hace referencia a la diferencia total del color entre dos patrones (Fung & Hardcastle, 2001); en este caso el color de la papaya fresca y los chips de papaya. Este valor se obtuvo mediante la siguiente ecuación.

$$\text{Ecuación 6. } \Delta E = \sqrt{(\Delta L * 2) + (\Delta C * 2) + (\Delta H^\circ * 2)}$$

Se utilizan los valores de referencia de  $L^*$ ,  $C^*$ , y  $a^*$  obtenidos al analizar el color de las papayas frescas en el estado de madurez 4. Esto debido a que al realizar productos fritos se busca obtener características deseables en el producto, por ejemplo, se busca la menor oxidación en los chips, con colores y aspecto deseables. Se esperan entonces chips de papaya fritos con un color semejante al producto fresco.

#### 4.4.10. Panel sensorial de agrado

Con el fin de evaluar la calidad sensorial de los diferentes tratamientos estudiados, se llevó a cabo un panel sensorial de agrado general. Para esto se desarrolló un panel de 100 consumidores, en donde se utilizó una escala hedónica híbrida (ver **Figura 4**). Haciendo uso de esta escala, los panelistas indicaron el nivel de agrado percibido para las muestras de cada uno de los tratamientos analizados. Las 9 diferentes muestras fueron presentadas a los panelistas en recipientes de plástico, en forma aleatorizada, balanceada y codificadas con números aleatorizados de tres cifras (Ramírez-Navas, 2012). El panel se desarrolló en cubículos individuales con luz blanca, y en cada muestra se sirvieron entre 3 y 4 chips.

## 5. PRUEBAS PRELIMINARES

### 5.1. Evaluación del potencial de la papaya variedad Maradol para la elaboración de chips

La papaya variedad Maradol se caracteriza por poseer un mayor calibre y una coloración rojiza atractiva para el consumidor, por lo que se realizó una prueba preliminar con el fin de comparar los chips obtenidos con los producidos a partir del híbrido Pococí. Los chips de la variedad Maradol cumplen las características deseadas en este producto en cuanto a color, crujencia, sabor y rendimiento, sin destacarse frente al producto obtenido con el híbrido Pococí. Sin embargo, se seleccionó como materia prima la papaya híbrido Pococí principalmente debido a que, según Bogantes *et al.* (2011), en Costa Rica la papaya variedad Maradol ha manifestado problemas en su productividad y una alta susceptibilidad a enfermedades.



**Figura 7.** Corte de papaya variedad Maradol utilizada para el desarrollo de pruebas preliminares.

### 5.2. Evaluación de diferentes estados de madurez con la escala de color comercial

Se buscó evaluar la viabilidad para el procesamiento de fritura al vacío dependiendo del estado de madurez de la papaya utilizada; además, se midieron los sólidos solubles (grados Brix) de las papayas según cada estado de madurez. Industrialmente, para la producción comercial, la clasificación del estado de madurez de la papaya se realiza mediante una escala de color. Como se explicó anteriormente, según Umaña *et al.* (2011), el criterio más común para la cosecha de papaya en Costa Rica es la presencia de fajas longitudinales de coloración amarilla, también llamadas rayas, franjas o pintas, las cuales inician y se concentran en el ápice de la fruta. Por lo tanto, en una etapa inicial del proyecto se clasificaron los diferentes estados de madurez de las papayas mediante el número de pintas presentes en ellas, en donde se evaluaron papayas de 1, 2, 3 y hasta 4 pintas.

Para estas pruebas preliminares se utilizaron las condiciones de proceso establecidas para el desarrollo de prototipos de chips de papaya fritas al vacío establecidas en el Proyecto CEPAL-FIDA

(M042), sobre fortalecimiento de cadenas de valor para la participación de pequeños productores, empresas y organizaciones rurales en América Latina y el Caribe (Vargas, 2015).

Para evaluar la utilización de estas papayas con diferentes estados de madurez se tomaron en cuenta aspectos como el rendimiento del proceso de fritura y la calidad sensorial de los chips; además de aspectos en el procesamiento, como facilidad de troceado e inconvenientes en el proceso de fritura en sí. En estos casos no se encontraron grandes inconvenientes en el procesamiento, ya que el producto no se adhirió a la canasta del equipo; en general, es un proceso rápido y sencillo. Además, los porcentajes de rendimiento del proceso de fritura con las papayas de diferente estado de madurez no variaron en gran medida. Por lo tanto, según los resultados obtenidos, es factible técnicamente procesar la papaya en los diferentes estados de madurez seleccionados. Sin embargo, se evidenció que la determinación del estado de madurez mediante el número de pintas resulta ser bastante ambiguo y se presta para confusión, por lo que se optó por utilizar la metodología de Salazar (2012), donde se determina el estado de madurez de la papaya por porcentaje de color amarillo.

### **5.3. Evaluación de la inmersión en soluciones de ácido cítrico o ácido málico como pretratamientos para la elaboración de chips de papaya**

En las pruebas desarrolladas por Vargas (2015) se identificó la necesidad de potenciar el sabor y realzar el color de la papaya para mejorar la aceptación de los chips desarrollados, por lo que se realizó una etapa de impregnación de ácido cítrico o ácido málico al producto previo a la fritura. Como se mencionó en el marco teórico, el ácido cítrico y el ácido málico son los principales ácidos presentes en la papaya contribuyentes al sabor (Sinha *et al.*, 2012). Debido a esto se realizó esta prueba con el fin de determinar el tipo de ácido que presentó las mayores ventajas para la realización de un pretratamiento por inmersión. Como se indicó, se realizó este pretratamiento con el objetivo principal de resaltar el sabor y el color de la papaya, los cuales se atenúan después de la fritura. Las pruebas para determinar las condiciones de este pretratamiento se realizaron con disoluciones al 1 % de ácido cítrico y al 1 % de ácido málico. El pretratamiento en sí, consiste en una inmersión de la papaya ya pelada y troceada en cada una de estas disoluciones durante un minuto, con un escurrido posterior de medio minuto de duración. Estas condiciones de tiempo en el pretratamiento fueron definidas anteriormente en las pruebas realizadas por Vargas (2015).

A continuación, en la **Figura 8** se presentan fotografías de los chips obtenidos mediante fritura al vacío con etapa previa de inmersión tanto con ácido málico como con ácido cítrico.



**Figura 8.** Fotografías de los chips realizados con una disolución al 1 % (m/v) de ácido málico o cítrico para el desarrollo de pruebas preliminares. *\*No se incluye muestra del Estado 5 con ácido cítrico por falta de material a la hora de realizar la prueba.*

#### 5.3.1. Panel informal para la escogencia del tipo de ácido del pretratamiento

Las muestras desarrolladas fueron evaluadas por un panel informal conformado por los miembros del comité asesor. Se determinó que la impregnación con ácido málico permitió obtener chips con mejores características sensoriales que los obtenidos con ácido cítrico, principalmente en cuanto a un mejor sabor en general y color. Por esta razón, en el desarrollo del proyecto se utilizaron disoluciones de ácido málico como pretratamiento.

#### 5.4. Determinación de los porcentajes de ácido málico a analizar como pretratamiento

También se realizó una prueba preliminar para determinar los porcentajes de ácido málico a evaluar como pretratamiento. Se analizaron disoluciones al 0,5 %, 1 %, 1,5 % y 2 % (m/v) de ácido málico, llevando a cabo el proceso que será explicado posteriormente en la **Figura 12** (sección 7.1). Para el análisis sensorial se busca obtener chips con diferencias entre sí, donde los consumidores sean capaces de detectarlas y así escoger la muestra de su mayor agrado. Por esta razón se realizó un panel informal para determinar las concentraciones utilizadas para el desarrollo del objetivo 2; estas fueron 0 %, 1 % y 2 %.

#### 5.5. Verificación de la estabilidad de los productos desarrollados en las pruebas preliminares

Se determinó el contenido de humedad y la actividad de agua en los chips obtenidos, utilizando papayas con diferente estado de madurez y previamente tratados con las disoluciones de

ácido málico y cítrico para verificar su estabilidad. El contenido de humedad se obtuvo mediante balanza de humedad (Sartorius, Alemania) en el Laboratorio de Química de la Escuela de Tecnología de Alimentos, mientras que la actividad de agua se determinó con un equipo de medición de aw (AquaLab 4TE, Estados Unidos), así como se describe en la sección **4.4.8**.

Como ya se explicó, la variabilidad de la materia prima y el método de procesamiento afectan las características estructurales y de composición de un producto frito al vacío, lo que podría implicar modificaciones en el contenido de humedad (LiuPing *et al.*, 2009). Por esta razón, se realizaron estas mediciones con el fin de verificar la estabilidad de las muestras y también evaluar si los diferentes estados de madurez, o bien los dos diferentes pretratamientos con ácidos, afectan o no el contenido final de humedad y la actividad de agua en las muestras. Los chips obtenidos poseen valores de aw entre 0,2739 y 0,2271, así como porcentajes de humedad entre 1,60 % y 2,82 %; por lo que son productos de gran estabilidad según los valores reportados por Labuza (1982).

## **6. OBJETIVO 1: Caracterización de los diferentes estados de madurez de la papaya híbrido**

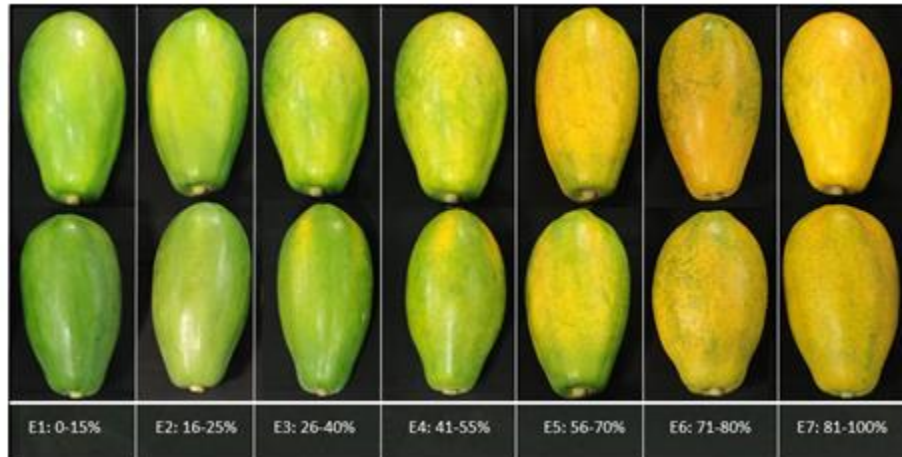
**Pococí que serán utilizadas en el proceso de fritura al vacío.**

### **6.1. Metodología**

#### *6.1.1. Escala de madurez por porcentaje de color amarillo*

Con el fin de estandarizar la clasificación del estado de madurez de las papayas se utilizó la escala de color desarrollada por Salazar (2012). Como ya se explicó, para el desarrollo de este proyecto se utilizó papaya proveniente del sector de Orotina, mientras que la escala propuesta por Salazar (2012) fue llevada a cabo con papaya de la zona Atlántica, específicamente en Guácimo. Así como lo explica Ikram *et al.* (2015), se pueden dar diferencias en las características de las papayas por las zonas en donde son cultivadas, por lo que se buscaba caracterizar las papayas cosechadas en la zona de Orotina y así observar si en efecto se encuentran diferencias entre las dos ubicaciones. A continuación, en la **Figura 9** se presenta la escala de madurez de papaya híbrido Pococí propuesta por Salazar (2012) utilizada en el presente estudio, la cual describe siete estados de madurez diferenciados por el porcentaje de color amarillo en su cáscara.





**Figura 9.** Escala de color de la papaya híbrido Pococí (Salazar, 2012).

A partir de los resultados obtenidos en las pruebas preliminares, en donde se tomaron en cuenta condiciones de proceso y la calidad sensorial de los chips desarrollados, se decidió realizar la caracterización de las papayas de tres diferentes estados de madurez, Estado 3, Estado 4 y Estado 5. Esto se decide debido a que en estos estados la papaya posee la firmeza necesaria para el proceso de obtención de los chips, además de que en este punto ya se han desarrollado compuestos importantes para el sabor de la fruta.

#### 6.1.2. Caracterización de papayas de Estado 3, Estado 4 y Estado 5

Con el fin de estandarizar las características de las papayas a utilizar, se analizó una serie de variables respuesta, tomando en cuenta los cambios mencionados. A continuación, se mencionan los análisis realizados con el fin de caracterizar cada estado de madurez de las papayas.

- Firmeza de pulpa y cáscara
- Sólidos solubles
- Parámetros de color en papaya fresca ( $L^*$ ,  $C^*$  y  $^{\circ}h$ )
- Composición proximal (contenido de humedad, proteína, fibra, lípidos, cenizas, ácido cítrico, ácido succínico, glucosa, fructosa y carotenoides)

La descripción de estos análisis se detalla en la sección de materiales y métodos analíticos (sección 4.4).

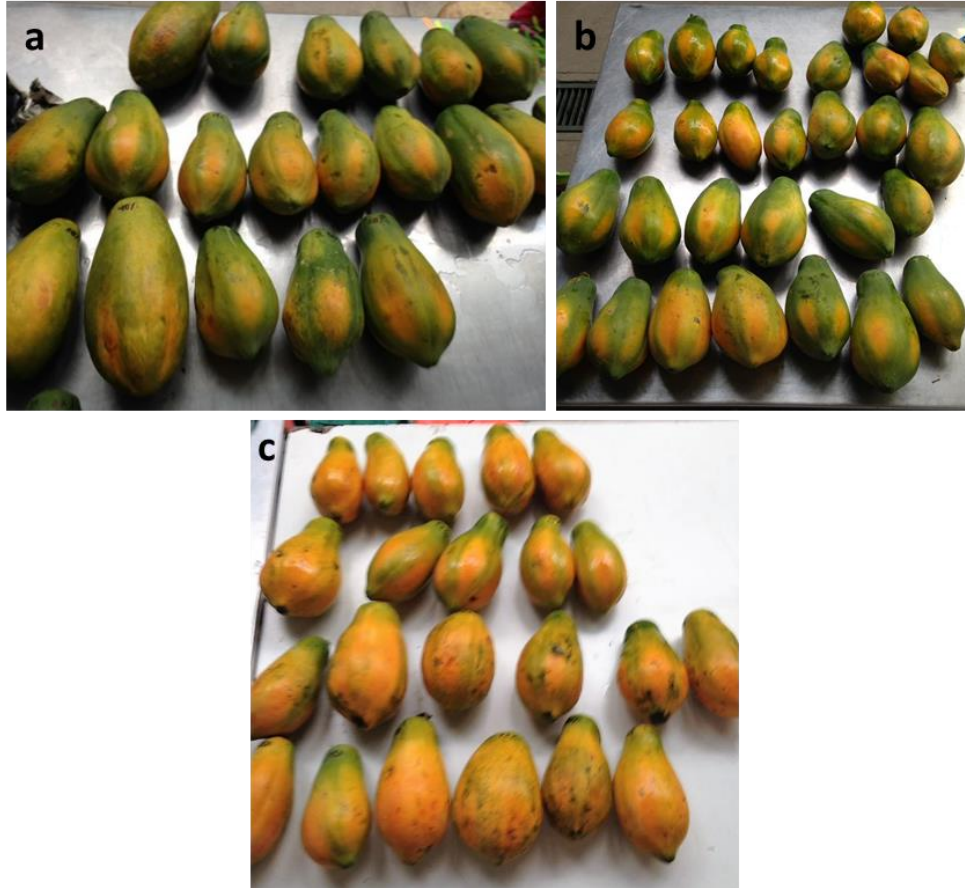
### 6.1.3. *Diseño experimental y análisis estadístico*

Para los análisis de firmeza, sólidos solubles y parámetros de color se analizaron 25 papayas de cada estado de madurez, las cuales fueron cosechadas en un mismo día por cada estado, es decir, provenientes de un mismo lote. En estos casos se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con un solo factor, el estado de madurez; los niveles utilizados en este diseño son los estados de madurez; Estado 3, Estado 4 y Estado 5. Para el análisis proximal por su parte, se analizaron 3 diferentes lotes para cada estado de madurez, mientras que para el análisis de ácidos y azúcares se analizaron 2 lotes. Estos resultados se analizaron mediante un diseño de bloques completos aleatorizados.

Con los resultados obtenidos se realizó un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el programa estadístico JMP 8 (SAS, *Institute Inc*). En los casos donde se dieron diferencias significativas se aplicó la prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ).

## **6.2. Resultados y discusión**

Las papayas se clasificaron en tres diferentes estados de madurez, siguiendo la escala de madurez desarrollada por Salazar (2012), donde el Estado de madurez 3 posee entre un 26 y 40 % de color amarillo en la cáscara, el Estado 4 entre 41 y 55 %, y el Estado 5 entre un 56 y 70 %. En la **Figura 10** se observan las papayas caracterizadas para cada estado de madurez.



**Figura 10.** Papayas híbrido Pococí utilizadas para el análisis de fuerza de penetración de cáscara y pulpa, sólidos solubles y color. (a) Papayas en estado de madurez 3. (b) Papayas en estado de madurez 4. (c) Papayas en estado de madurez 5.

Las variables respuesta analizadas en las papayas de diferentes estados de madurez fueron color (valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $C^*$ ), fuerza de penetración tanto de pulpa como de cáscara, sólidos solubles, análisis proximal y contenido de ácido cítrico, succínico, glucosa y fructosa. Las probabilidades asociadas a cada una de las variables, con un 95 % de confianza se observan en el **Cuadro II.**

**Cuadro II.** Probabilidades asociadas a los valores del análisis de color, fuerza de penetración, sólidos solubles y análisis proximal de las papayas frescas con diferente estado de madurez.

<b>Variable Respuesta</b>	<b>Probabilidad</b>
L*	<0,0001**
°h	0,2069
C*	0,0044**
Fuerza de penetración de la pulpa	<0,0001**
Fuerza de penetración de la cáscara	<0,0001**
Sólidos solubles	0,0516
Humedad	0,3946
Cenizas	0,5041
Grasa	***
Proteína	0,0548
Fibra dietética	0,2405

\*\*Significativo, con un nivel de confianza del 95 %

\*\*\* Valores por debajo del límite de detección (<0,1 g/100 g).

Las probabilidades de las variables de L\*, C\* y fuerza de penetración tanto de cáscara como de pulpa, resultaron ser significativas con un 95 % de confianza. Para el resto de variables respuesta, que corresponden a la composición proximal y °h, los valores entre estados de madurez no variaron en gran medida, por lo que no se encontraron diferencias significativas al 95 % de confianza entre ellos.

#### 6.2.1. *Caracterización del color de la pulpa de la papaya híbrido Pococí a diferentes estados de madurez*

En cuanto al análisis de color, se encontraron diferencias en los valores de L\* y C\*; los promedios de cada una de estas variables respuesta y de los valores de °h se muestran en el **Cuadro**

**III.**

**Cuadro III.** Promedios del valor de L\*, C\* y °h de la pulpa de las papayas de estado de madurez 3, estado 4 y estado 5.

Estados de madurez	L*	C*	°h
3	51 ± 1 <sup>A</sup>	37 ± 1 <sup>B</sup>	56 ± 1
4	48 ± 2 <sup>B</sup>	38 ± 1 <sup>AB</sup>	55 ± 1
5	46 ± 1 <sup>B</sup>	39 ± 1 <sup>A</sup>	55 ± 1

Valores expresados como promedios ± intervalo de confianza (n=25) con un nivel de confianza del 95 %. Promedios en una misma columna con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05).

La variable L\* hace referencia a la luminosidad, en donde un valor de 0 está asociado a elementos oscuros, mientras un valor de 100 hace referencia a elementos de gran claridad (Sahin & Sumnu, 2007). En el **Cuadro III** se puede observar que en las papayas en un estado de madurez 3 se da el mayor valor, es decir, papayas de este estado de madurez poseen una mayor luminosidad, o bien poseen tonos más claros que las papayas de los otros dos estados. La disminución en el valor de L\* para las papayas de estados de madurez más avanzados indican el oscurecimiento de la pulpa, lo cual es de esperar en el proceso de maduración. Según Zerpa-Catanho *et al.* (2017), cambios en los valores de color como L\*, a\* y b\* indican que la pulpa de la papaya se vuelve más oscura, roja y ligeramente más amarilla durante la maduración. Estos cambios de color se dan debido a la degradación de la clorofila y la aparición o síntesis de pigmentos amarillos y rojos en el proceso de maduración (Yahia & Ornelas-Paz, 2009), así como se explicó anteriormente.

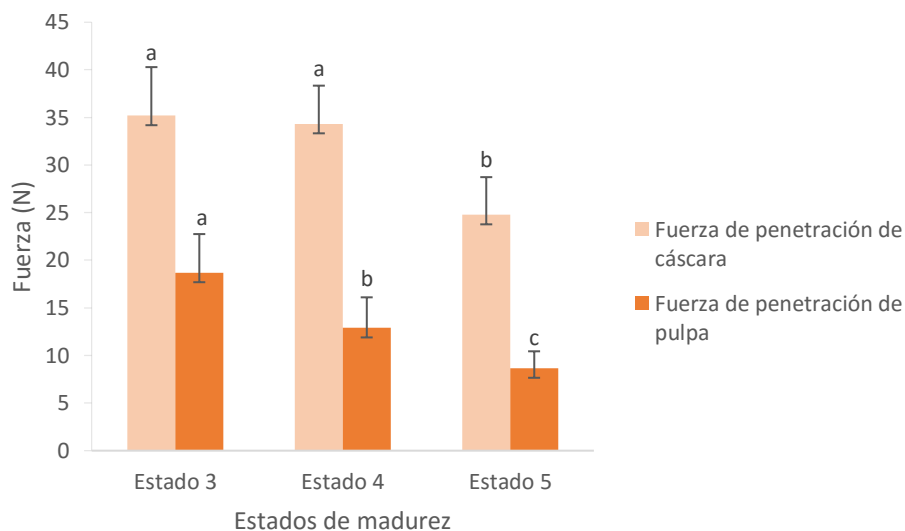
El valor de C\*, por su parte, “es la cualidad que diferencia una tonalidad pura de una sombra gris” (Sahin & Sumnu, 2007). Se asocia a la intensidad del color, es decir, si el color es suave o si es llamativo, por lo que el valor podría estar entre 0 y 60 durante el proceso de maduración (Iniestra-González *et al.*, 2013). En este caso se puede observar en el **Cuadro III** como las papayas del estado de madurez 5 tienen una mayor saturación, y en estas no se encontraron diferencias significativas (p>0,05) a las del estado 4 en cuanto a este parámetro. La síntesis y acumulación de carotenoides que ocurre durante la maduración da como resultado una intensa coloración en las frutas ya maduras (Lado *et al.*, 2015), razón por la cual el valor de C\* es mayor en estados de madurez más avanzados. Según Ming y Moore (2013), las papayas en estados iniciales de madurez poseen bajos niveles de β-caroteno, licopeno y β-criptoxantina; sin embargo, conforme avanza la maduración de la fruta estos niveles aumentan, lo que va a incidir en el color. De igual manera, es posible observar

que valores entre cada estado de madurez son bastante cercanos entre sí, por lo que las diferencias entre ellos son pequeñas.

En el caso del parámetro °h, este identifica el color como rojo, verde o azul, en donde valores de 90° representan tonos amarillos, mientras que valores mayores indican tonos verdes y valores menores se acercan al color naranja (Diehl & Socaciu, 2008). Es decir, se espera una disminución en este valor conforme avanza al proceso de maduración debido a la producción y acumulación de carotenoides explicada anteriormente. Se observa en el **Cuadro III** que los valores promedios de °h de los 3 estados de madurez no varían de gran manera durante la maduración de las papayas. En los resultados obtenidos por Salazar (2012) se indica que al aumentar el color externo de las papayas, es decir al aumentar la maduración de la fruta el valor de °h disminuye, lo que provoca un cambio en el color de la pulpa a tonos anaranjados. Sin embargo, en ese estudio también se presentaron pocas variaciones en el valor de °h durante la maduración de la papaya, así como en el proyecto de Muñoz (2013), en donde se analizó papaya variedad Pococí proveniente también de la zona de Guácimo.

#### *6.2.2. Caracterización de la fuerza de penetración de la cáscara y la pulpa de la papaya híbrido Pococí a diferentes estados de madurez*

La textura de las papayas y los cambios en sólidos solubles son variables importantes en el proceso de maduración de la fruta. Los valores de fuerza de penetración de la cáscara y la pulpa se muestran en la **Figura 11**.



**Figura 11.** Valores de fuerza de penetración en cáscara y pulpa en función de los estados de madurez analizados en papayas híbrido Pococí. (Barras indican intervalos de confianza al 95 %, n=25). Barras con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey,  $p<0,05$ ).

El ablandamiento de las frutas y las alteraciones texturales que se llevan a cabo durante la maduración son principalmente consecuencias de la despolimerización progresiva y la solubilización de componentes de la pared celular, así como la pérdida de la estructura celular (Pareek, 2016). Los factores metabólicos responsables de estos cambios son la pérdida en la presión de turgencia (debido a una acumulación de solutos osmóticos), degradación y cambios fisiológicos en la composición de las membranas, degradación del almidón y modificaciones en la estructura y funcionamiento de la pared celular (Valero & Serrano, 2010). Todos estos factores inciden sobre la disminución de la fuerza de penetración tanto en cáscara como en pulpa conforme avanza el estado de madurez de las papayas, así como lo ejemplifican los resultados en la **Figura 11**. Se puede observar cómo disminuye la firmeza de la cáscara de la papaya conforme avanza el estado de madurez; en papayas del estado 5 la fuerza de penetración es significativamente menor a los valores de los estados 3 y 4 ( $p<0,05$ ).

La poligalacturonasa por su parte, presenta un pico en su actividad principalmente en el endocarpio cuando la papaya posee entre un 40 % y 60 % de color amarillo en la cáscara (Seymour *et al.*, 2012), es decir, entre el estado 4 y 5 de maduración según Salazar (2012). Esto influye en gran medida sobre la pérdida de firmeza en la pulpa, tal y como se puede observar en los resultados presentados en la **Figura 11**, en donde entre mayor sea el estado de madurez de la papaya menor

es la fuerza de penetración ( $p < 0,05$ ). Estos resultados coinciden con los obtenidos por Salazar (2012), en donde se reporta una clara tendencia lineal entre la disminución de la firmeza de la cáscara y de la pulpa conforme el color de la cáscara de las papayas avanza, es decir, con el aumento en su estado de madurez.

### 6.2.3. Caracterización de la composición química de la pulpa de la papaya a diferentes estados de madurez

En el caso del análisis de sólidos solubles, esta medición tiende a incrementar en el período pos-cosecha, debido a la metabolización del almidón en azúcares como glucosa, sacarosa y fructosa (Gomez *et al.*, 2002). Sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los valores de cada estado de madurez. Según Bron y Jacomino (2006) la papaya posee un bajo contenido de almidón, por lo que durante la maduración no se hidrolizan grandes cantidades y, por ende, se dan muy pequeños cambios en los sólidos solubles de la fruta durante el proceso, así como sucedió en este caso. En el **Cuadro IV** se presentan los promedios para cada estado de madurez, en donde se puede observar como los valores no difieren en gran medida con respecto a la maduración de las frutas.

**Cuadro IV.** Valores de sólidos solubles presentes en la pulpa de la papaya para tres diferentes estados de madurez.

Estados de madurez	Sólidos solubles (°Brix)
3	12,2 ± 0,5
4	12,1 ± 0,3
5	11,8 ± 0,5

Valores expresados como promedios ± intervalo de confianza (n=25) con un nivel de confianza del 95 %.

En el caso del análisis realizado por Salazar (2012) se presentaron valores de °Brix estables durante el avance de la maduración de la papaya, así como en el estudio realizado por Muñoz (2013). En el primer estudio los valores promedio para los estados 3, 4 y 5 se encuentran entre 9,0 °Brix y 9,2 °Brix, mientras que, como se puede observar en el **Cuadro IV**, en el presente estudio se obtienen valores mayores. Estas diferencias entre las papayas se pueden explicar por los diferentes lugares de cultivo de las frutas, ya que, según Ikram *et al.* (2015), se pueden dar



diferencias en las características de las papayas por las zonas en donde son cultivadas. La papaya se desarrolla de una mejor manera en ambientes tropicales, en donde requiere de climas cálidos y húmedos (Salunkhe & Kadam, 1995). El cultivo de papaya a temperaturas menores de 20 °C puede provocar bajos contenidos de azúcares en la fruta, al igual que el viento, ya que a partir de una defoliación parcial se pueden dar valores bajos de sólidos solubles en el fruto (Dixon & Aldous, 2014).

Según Salazar (2012), ciertas características de las papayas van a depender de la época del año en donde estas son cosechadas, condiciones climáticas durante su crecimiento y prácticas agronómicas. Por ejemplo, durante el cultivo de papaya se prefieren tasas de precipitaciones anuales cercanas a los 1200 mm (Dixon & Aldous, 2014) y no mayores a los 2500 mm (Jiménez, 2002), ya que mayores precipitaciones llegan a afectar la fruta. Esto se da principalmente debido a que condiciones climáticas como lluvias, bajas temperaturas y poca radiación solar disminuyen la fotosíntesis de la planta, lo que influye en una disminución en la producción de sólidos solubles (Poll *et al.*, 2003). Según Solano y Villalobos (2000), las precipitaciones medias anuales en la Región Pacífico Norte, específicamente en la subregión de la cuenca baja de los ríos Barranca y Grande de Tárcoles, donde se encuentra Orotina (zona de cultivo de las papayas de este proyecto) son de 2637 mm. Por otro lado, en la Región Atlántica, específicamente en las llanuras de Santa Clara y Matina, y Cuenca del Río Banano, se encuentra Guácimo, lugar del cultivo de las papayas utilizadas en el proyecto de Salazar (2012). Esta zona se caracteriza por presentar 3844 mm de precipitaciones medias anuales, con un clima lluvioso o atlántico (Solano & Villalobos, 2000), por lo que dichas condiciones podrían llegar a afectar el desarrollo de la fruta.

Otro factor que incide sobre la calidad del cultivo de papayas es la intensidad lumínica. Según Jiménez (2002), a menor luminosidad menores grados brix en la papaya. Se han reportado valores de radiación solar global menores en la zona de Limón que en otras zonas cercanas a Orotina, como Puriscal y Turrúcares. En el caso de Limón se reporta un promedio anual de 14 MJ/m<sup>2</sup>.día, mientras que en Puriscal se reportan 18 MJ/m<sup>2</sup>.día y en Turrúcares 19 MJ/m<sup>2</sup>.día (ICE, 2006). Debido a todas estas razones se dan las diferencias entre los valores de sólidos solubles de las papayas analizadas en este estudio y el estudio de Salazar (2012).

En el **Cuadro VI** se presentan las probabilidades obtenidas del análisis del contenido de ácido cítrico, succínico, glucosa, fructosa y carotenoides en papayas de cada estado de madurez.

**Cuadro V.** Probabilidades asociadas a los valores del contenido de ácido cítrico, ácido succínico, glucosa, fructosa y diferentes carotenoides en las papayas frescas con diferente estado de madurez.

Variable Respuesta	Probabilidad
Ácido Cítrico	0,4609
Ácido Succínico	0,3056
Fructosa	0,0640
Glucosa	0,1994
$\beta$ -criptoxantina (crp)	0,0114**
$\beta$ -crp caprato	0,0002**
$\beta$ -crp laurato	0,0566
$\beta$ -crp miristato	<0,0001**
$\beta$ -caroteno	0,0001**
All-E-licopeno	0,0490**
Z-licopeno isómeros	0,3690

\*\*Significativo, con un nivel de confianza del 95 %

En el **Cuadro VI** es posible observar que los valores de humedad en las papayas no variaron entre los estados de madurez, es decir, en promedio se mantienen constantes. Sin embargo, según Yahia (2011), con la maduración de las papayas se da una pérdida de peso generada principalmente por pérdida de agua mediante la cáscara y el vástago, en donde esta pérdida de peso depende de factores como el espesor de la cutícula, el estado de madurez de la fruta, las condiciones de almacenamiento y los tratamientos pos cosecha. El espesor de la cutícula, por su parte, se relaciona con el color de las papayas, ya que esta disminuye conforme el color de la cáscara de la papaya cambia a amarillo. Entonces, en frutas cosechadas en un estado de madurez más avanzado se da una mayor pérdida de humedad (Yahia, 2011). Es posible que al analizar papayas en un estado de madurez más avanzado que el estado 5 se logre observar como el porcentaje de humedad en la

fruta disminuye, mientras que en este caso este comportamiento no se observa debido a que se analizan estados de madurez cercanos entre sí, siendo la escala de maduración de 1 a 7.

**Cuadro VI.** Contenido de humedad, de cenizas, proteína y fibra dietética en papayas del estado 3, estado 4 y estado 5 provenientes de tres lotes de producción.

Estados de madurez	Humedad (g/100 g)		Cenizas (g/100 g)*		Proteína (g/100 g)*		Fibra (g/100g)*	
	Lotes	Prom	Lotes	Prom	Lotes	Prom	Lotes	Prom
3	88 ± 2	88 ± 2	3,7 ± 0,7	4,1 ± 0,7	4,5 ± 0,9	5,0 ± 0,9	13 ± 5	16 ± 5
	89 ± 2		4,3 ± 0,7		5,2 ± 0,9		17 ± 5	
	89 ± 2		4,3 ± 0,7		5,3 ± 0,9		17 ± 5	
4	87 ± 1	88 ± 1	3 ± 1	4 ± 1	4,6 ± 0,8	4,8 ± 0,8	14 ± 1	15 ± 1
	89 ± 1		4 ± 1		5,3 ± 0,8		15 ± 1	
	88 ± 1		4 ± 1		4,5 ± 0,8		14 ± 1	
5	87 ± 2	88 ± 2	3,8 ± 0,2	3,8 ± 0,2	4,3 ± 0,6	4,0 ± 0,6	13,2 ± 0,5	13,3 ± 0,5
	88 ± 2		3,8 ± 0,2		4,2 ± 0,6		13,3 ± 0,5	
	88 ± 2		3,7 ± 0,2		3,7 ± 0,6		13,6 ± 0,5	

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=3), con un nivel de confianza del 95 %.

\* Valores reportados en base seca.

Prom: promedio

En cuanto a la cantidad de minerales, esta concentración depende de la absorción de nutrientes del suelo, en donde la adición de estos durante el manejo de las plantaciones es un factor de gran importancia (Fallas *et al.*, 2014). Las papayas utilizadas en esta investigación provienen de las mismas plantaciones, por lo que se les ha realizado las mismas fertilizaciones; sin embargo, el nivel de absorción en cada papaya va a diferir, por lo que la variabilidad de la materia prima es de suma importancia en este caso.

Según Fallas *et al.* (2014), la etapa de mayor demanda de nutrientes por parte de la papaya híbrido Pococí se da entre los 7 y 8 meses después de la siembra. La siembra de las papayas utilizadas en este estudio fue realizada el 15 de febrero del año 2016, por lo que en el momento del análisis

de estas papayas la edad de la planta era de 6 meses. Es decir, las papayas se encontraban cercanas a la etapa de mayor demanda de nutrientes, esto de acuerdo a lo reportado por Fallas *et al.* (2014).

Al aumentar la cantidad de minerales se espera un aumento en cenizas, sin embargo, a pesar de no encontrar diferencias significativas entre los estados de madurez ( $p>0,05$ ), en este caso se observa una leve tendencia a la disminución de los valores con la maduración de la papaya. Al igual que en el caso del contenido de humedad, es de esperar que al analizar papayas de otros estados de madurez más distantes sí sea posible observar esta tendencia al aumento en cenizas.

Según Annegowda y Bhat (2016), la papaya en general posee valores de proteína bajos, en donde de acuerdo a Selvaraj *et al.* (1982), con el cambio de color en las papayas se da un aumento en la cantidad de proteína, además de vitamina A. En el **Cuadro VI** es posible observar una tendencia a la disminución en el contenido de proteína con la maduración; sin embargo, en este caso no se dieron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) en los valores promedio entre los diferentes estados de maduración.

En cuanto al contenido de fibra dietética presente en las papayas, los mayores constituyentes se encuentran en la pared celular, por ejemplo celulosa, lignina, hemicelulosa, pectinas, gomas y mucílagos (Selvendran & MacDougall, 1995). Anteriormente se explicó la acción de enzimas hidrolíticas en la pared celular, lo que implica la degradación de componentes de celulosa, componentes de pectina o de ambos (Wongmetha *et al.*, 2015). Es decir, durante la maduración y con la descomposición de estos componentes se espera una disminución en la cantidad de fibra presente en la papaya, así como se observa en el **Cuadro VI**. En este caso no se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ); sin embargo, es posible observar una tendencia de leve disminución en el contenido de fibra de las papayas conforme avanza el estado de madurez.

Ahora bien, según Annegowda y Bhat (2016) se espera un aumento en la acidez presente en las papayas conforme avanza la madurez de la fruta. Este aumento en la acidez se da principalmente por el aumento en la concentración de ácido ascórbico (Lazan *et al.*, 1989), el cual de acuerdo Annegowda y Bhat (2016) llega a aumentar de un 20 % a un 30 % durante la maduración de la papaya. Sin embargo, en el caso de los ácidos cítrico y málico estos van a disminuir durante la maduración de la fruta según Selvaraj *et al.* (1982). Se observa en el **Cuadro VII** que la concentración promedio de ácido cítrico permanece constante con la maduración de las papayas, por lo que no se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ).

**Cuadro VII.** Contenido de ácido cítrico, ácido succínico, fructosa y glucosa en papayas del estado 3, estado 4 y estado 5, provenientes de tres lotes de producción.

Estados de madurez	Ácido Cítrico (g/100 g)		Ácido Succínico (g/100 g)		Fructosa (g/100 g)		Glucosa (g/100 g)	
	Lotes	Prom	Lotes	Prom	Lotes	Prom	Lotes	Prom
3	0,8 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,5 ± 0,5	0,4 ± 0,5	31,9 ± 0,4	31,9 ± 0,4	33 ± 5	33 ± 5
	0,9 ± 0,3		0,4 ± 0,5		32,0 ± 0,4		32 ± 5	
4	0,9 ± 0,2	0,9 ± 0,2	0,35 ± 0,08	0,34 ± 0,08	32 ± 5	33 ± 5	33 ± 6	33 ± 6
	0,8 ± 0,2		0,34 ± 0,08		34 ± 5		34 ± 6	
5	1,0 ± 0,3	0,9 ± 0,3	0,3 ± 0,5	0,3 ± 0,5	34 ± 1	34 ± 1	34,3 ± 0,5	34,3 ± 0,5
	0,9 ± 0,3		0,2 ± 0,5		34 ± 1		34,4 ± 0,5	

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=2), con un nivel de confianza del 95 %.

Valores reportados en base seca.

Prom: promedio

Así como lo explica Bartrina *et al.* (2006), tanto el ácido succínico como el cítrico son hidroxiácidos no fenólicos, en los que se espera una disminución en su concentración con la maduración de frutas como la papaya. Estos son responsables de la acidez en las frutas de menor estado de madurez; sin embargo, al darse la maduración, esta concentración disminuye debido a su transformación parcial en azúcares simples. En este caso no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) al comparar la concentración de ácido succínico en los estados de madurez analizados; sin embargo, al analizar principalmente los resultados de cada lote es posible observar una tendencia de disminución con el avance de la maduración de las papayas.

Durante la maduración de la papaya se da la metabolización del almidón en azúcares, tales como glucosa, sacarosa y fructosa (Gomez *et al.*, 2002), por ende, es de esperar que al analizar papayas de un estado de madurez más avanzado se obtengan concentraciones de azúcares mayores, así como se observa en el **Cuadro VII**. En ninguno de los dos azúcares determinados se encontraron diferencias significativas entre estados de madurez ( $p > 0,05$ ); sin embargo, al analizar

los resultados de cada lote es posible observar una tendencia de aumento con la maduración de la fruta. Este aumento en la concentración de fructosa y glucosa es de suma importancia para el perfil sensorial de la papaya, ya que estos imparten dulzor (Barreiro, 2006), por lo que se espera un mayor agrado por parte del consumidor.

Los contenidos de carotenoides encontrados en las papayas según cada estado de madurez se reportan en el **Cuadro VIII**.

**Cuadro VIII.** Concentración de carotenoides presentes en las papayas de los estados de madurez 3, 4 y 5.

Carotenoide ( $\mu\text{g}/100\text{g}$ , base húmeda)	Grado de madurez		
	E3	E4	E5
$\beta$ -criptoxantina (crp)	$51 \pm 17^{\text{B}}$	$97 \pm 25^{\text{AB}}$	$147 \pm 4^{\text{A}}$
$\beta$ -crp caprato	$58 \pm 12^{\text{C}}$	$99 \pm 7^{\text{B}}$	$269 \pm 12^{\text{A}}$
$\beta$ -crp laurato	$161 \pm 31^{\text{A}}$	$248 \pm 63^{\text{A}}$	$131 \pm 5^{\text{A}}$
$\beta$ -crp miristato	$58 \pm 13^{\text{B}}$	$79 \pm 4^{\text{B}}$	$338 \pm 9^{\text{A}}$
$\beta$ -caroteno	$138 \pm 1^{\text{C}}$	$260 \pm 7^{\text{B}}$	$413 \pm 17^{\text{A}}$
All-E-licopeno	$4955 \pm 565^{\text{B}}$	$6490 \pm 1106^{\text{AB}}$	$7178 \pm 229^{\text{A}}$
Z-licopeno isómeros	$738 \pm 95^{\text{A}}$	$758 \pm 80^{\text{A}}$	$964 \pm 334^{\text{A}}$

Valores expresados como promedio  $\pm$  intervalo de confianza ( $n=2$ ), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios en una misma fila con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey,  $p<0,05$ ).

Como se explicó anteriormente, el contenido total de carotenoides aumenta conforme avanza el proceso de maduración en las papayas (Schweiggert *et al.*, 2011a). En el caso de la  $\beta$ -criptoxantina se observa como esta aumenta entre cada estado de madurez, en donde se encuentran diferencias significativas en el contenido en papaya entre el estado de madurez 3 y el estado de madurez 5. Este mismo comportamiento sucede en los contenidos de All-E-licopeno. En el caso de  $\beta$ -criptoxantina laurato no se encontraron diferencias significativas entre los valores de los tres estados de maduración.

Según Ming y Moore (2013), la papaya en sus primeros estados de maduración posee muy bajos contenidos de licopeno,  $\beta$ - caroteno y ésteres de  $\beta$ -criptoxantina; sin embargo, se espera un aumento en sus concentraciones con la maduración de la fruta. En este caso se observa en el **Cuadro VIII** que en efecto se da un aumento en el contenido de estos carotenoides; por ejemplo, en el caso del  $\beta$ -caroteno,  $\beta$ -criptoxantina miristato y  $\beta$ -criptoxantina caprato, en donde se encuentran diferencias significativas para cada estado de madurez analizado, siendo la papaya en el estado de madurez 5 (el más avanzado) la que tiene la mayor concentración de estos carotenoides.

En el estudio realizado por Schweiggert *et al.* (2011b) se analizó papaya variedad Pococí; sin embargo, esta fue cultivada en la zona Atlántica, específicamente en Guápiles. En ese estudio se encontraron grandes aumentos en las concentraciones de all-E- licopeno,  $\beta$ - criptoxantina laurato y caprato durante todo el proceso de la maduración; sin embargo, las cantidades de licopeno total y de  $\beta$ - criptoxantina laurato fueron en las que se observaron los mayores aumentos.

El licopeno, por su parte, es un intermediario importante en la biosíntesis de precursores de vitamina A, es decir, en la síntesis de  $\beta$ - caroteno y  $\beta$ - criptoxantina. En las papayas de coloración roja, como es el caso del híbrido Pococí, esta conversión de licopeno a carotenoides cíclicos se encuentra enzimáticamente regulada, por lo que se favorece la acumulación de licopeno en la fruta. En el **Cuadro VIII** se observa que, en efecto, se dan mayores concentraciones en all-E-licopeno y Z-licopeno isómeros que en el resto de los otros carotenoides, en donde de igual manera estos contenidos aumentan con la maduración de la fruta. Según otro estudio realizado por Schweiggert *et al.* (2011a), cerca del 51 % del total de los carotenoides presentes en papaya de pulpa roja son representados por all-E-licopeno así como una serie de Z-isómeros, lo cual no sucede en papayas de pulpa amarilla, ya que en este caso el licopeno es solamente un intermediario biosintético para la formación de  $\beta$ -caroteno y a su vez en  $\beta$ - criptoxantina, libre y esterificada. En este caso tanto el all-E-licopeno como una serie de Z-isómeros también representan una alta proporción de los carotenoides totales presentes, en cada estado de madurez, y equivalen a más del 85 % del total de los carotenoides presentes en la papaya.

A continuación, se resumen los principales resultados obtenidos en el primer objetivo de la investigación:

- El avance de la maduración en las papayas analizadas genera una disminución de  $L^*$ , además de una disminución de  $C^*$ , esta última principalmente entre el estado 3 y el 4, ya que entre los estados 4 y 5 no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ). Además, no se

encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) en los valores de °h de los tres estados de madurez.

- No se encontraron diferencias significativas en los valores de sólidos solubles entre los estados de madurez analizados. Sin embargo, en las papayas caracterizadas en el presente estudio se obtienen valores de sólidos solubles mayores a los obtenidos en papayas híbrido Pococí cultivadas en el Atlántico.
- Se observa una disminución en la fuerza de penetración en la cáscara y en la pulpa de las papayas conforme avanza el estado de madurez. Además, no se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) en el contenido de humedad, cenizas, proteína, grasa y fibra de las papayas en los 3 diferentes estados de madurez, sin embargo, es posible observar una tendencia de disminución en el contenido de cenizas, proteína y fibra.
- En cuanto al contenido de ácido cítrico, ácido succínico, fructosa y glucosa tampoco se encontraron diferencias significativas ( $p>0,05$ ) entre estados de madurez. Sin embargo, es posible observar una tendencia a la disminución en el contenido de ácido succínico principalmente, y un leve aumento en el contenido de fructosa y glucosa conforme avanza la madurez de las papayas. Además, en general, se observa un aumento en el contenido de carotenoides conforme aumenta la maduración de la papaya.

## **7. OBJETIVO 2. Evaluación del efecto del estado de madurez de la papaya híbrido Pococí y de la adición de ácido málico sobre las características fisicoquímicas, sensoriales y rendimiento de proceso del producto frito al vacío.**

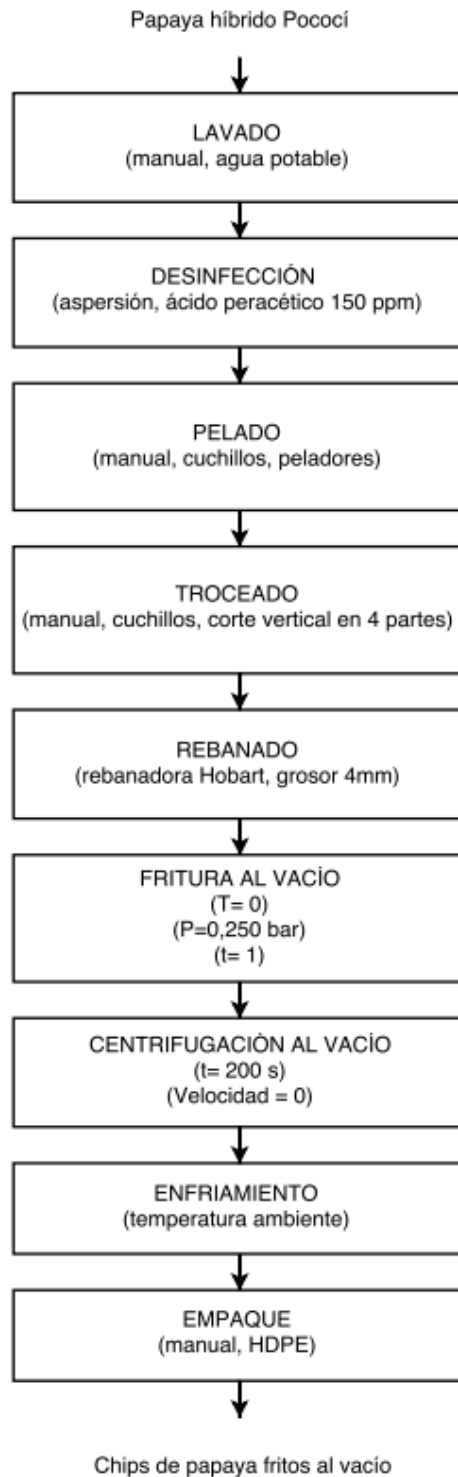
### **7.1. Metodología**

#### *7.1.1. Determinación de condiciones de proceso*

A partir de las pruebas preliminares se determinó el uso de ácido málico a concentraciones de 0 %, 1 % y 2 % (m/v) como pretratamiento de las papayas para la fritura al vacío. Además, se analizaron los chips de papaya de los 3 diferentes estados de madurez caracterizados anteriormente; por lo que en total se evaluaron 9 tratamientos.

Las condiciones de presión de vacío, temperatura de fritura, tiempo de fritura, velocidad de centrifugación y tiempo de centrifugación, por su parte, fueron fijas y se determinaron a partir del estudio realizado por Vargas (2015). En la **Figura 12** se observa el diagrama del proceso utilizado en este caso con las condiciones del proceso codificadas.





**Figura 12.** Flujo del procesamiento de chips de papaya fritos al vacío con condiciones codificadas, realizando una inmersión en ácido málico como pretratamiento.

A continuación, se mencionan los análisis realizados en los chips de papaya para el desarrollo de este segundo objetivo, los cuales se describen en la sección **4.4**.

- Rendimientos de proceso
- Contenido de grasa y aw
- Parámetros de color L\*, C\* y °h
- Agrado General

#### 7.1.2. *Diseño experimental y análisis estadístico*

Para las variables respuesta de rendimientos de pelado y de rebanado se analizó el efecto de la maduración de las papayas mediante un diseño irrestricto aleatorio con un solo factor, el estado de madurez. Mientras que, para las variables respuesta de rendimiento de fritura, parámetros de color y resultados del panel de agrado, se utilizó un diseño irrestricto aleatorio con un arreglo factorial 3x3, con el fin de evaluar el efecto de la concentración de ácido málico (con tres niveles) y el estado de madurez de las papayas (con tres niveles); además de las interacciones significativas entre ellos ( $p < 0,05$ ). Se analizaron en total 9 tratamientos, los cuales fueron evaluados por triplicado.

Los datos obtenidos del panel sensorial, los resultados de color y los datos de rendimientos fueron analizados mediante un análisis de varianza (ANDEVA), utilizando el programa estadístico JMP 8 (SAS *Institute Inc.*, Estados Unidos). Posteriormente se realizó una prueba de comparación de medias de Tukey ( $p < 0,05$ ) en los casos en donde se encontraron diferencias significativas.

Además, con el fin de analizar los resultados sensoriales obtenidos se realizó un análisis de *clusters*. Como se explicó en la sección **3.9**, en un análisis de *Cluster* se agrupan los datos mediante diferentes técnicas, por ejemplo la técnica de Ward (Mirkin, 2005b). A partir de esta técnica se obtienen distancias mínimas, las cuales son utilizadas para dividir los grupos utilizando la técnica de k-means (Mirkin, 2005a). Esta técnica se basa en la utilización de un algoritmo en las distancias mínimas, o bien centroides, para la partición del grupo total de datos en un número “k” de *clusters*. Con este análisis se busca obtener grupos que no se traslapan entre sí, los cuales están representados por promedios de sus variables.

## 7.2. Resultados y discusión

Se determinaron los rendimientos del proceso, con el fin de analizar la viabilidad del procesamiento dependiendo del estado de la materia prima. Las probabilidades de las variables respuesta de rendimiento de pelado y rendimiento de rebanado se presentan en el **Cuadro IX**.

**Cuadro IX.** Probabilidades asociadas a las variables respuesta de rendimiento de pelado y rendimiento de rebanado en el procesamiento de chips de papaya con diferentes estados de madurez.

Variable Respuesta	Probabilidad
Rendimiento de pelado	0,0003*
Rendimiento de rebanado	0,4100

\*Significativo, con un nivel de confianza del 95 %

Además, las probabilidades obtenidas al analizar el color de los chips, su agrado sensorial y los rendimientos de fritura en diferentes estados de madurez y concentraciones de ácido málico se presentan en el **Cuadro X**.

**Cuadro X.** Probabilidades asociadas al rendimiento de fritura, así como a los valores de color y a los resultados del panel de agrado realizado a los chips al variar el estado de madurez de papaya y la concentración de la disolución de ácido málico utilizado como pretratamiento.

Parámetros	Efectos		
	Estado de madurez	Concentración Ácido Málico	Interacción Estado madurez x Concentración Ácido Málico
	Probabilidad Asociada		
Rendimiento fritura	0,1031	0,0368*	0,6560
°h	0,0008*	0,4960	0,4545
C*	0,0850	0,3038	0,4503

\*Significativo, con un nivel de confianza del 95 %

**Continuación cuadro X.** Probabilidades asociadas al rendimiento de fritura, así como a los valores de color y a los resultados del panel de agrado realizado a los chips al variar el estado de madurez de papaya y la concentración de la disolución de ácido málico utilizado como pretratamiento.

Parámetros	Efectos		
	Estado de madurez	Concentración Ácido Málico	Interacción Estado madurez x Concentración Ácido Málico
	Probabilidad Asociada		
L*	0,0063*	0,3013	0,3577
Panel de Agrado General	<0,0001*	0,0073*	0,3106

\*Significativo, con un nivel de confianza del 95 %

Resultó significativo entonces, el efecto del estado de madurez para las variables de rendimiento de pelado, °h, L\* y panel sensorial. Por otra parte, para el efecto de la concentración de ácido málico resultaron significativas las variables respuesta de rendimiento de friura y panel sensorial, mientras que ninguna interacción fue significativa.

#### 7.2.1. Evaluación del efecto del estado de madurez sobre los rendimientos de pelado y rebanado

Al analizar los rendimientos de pelado y rebanado se observa que solamente en el rendimiento de pelado se encuentran diferencias significativas al utilizar papayas de diferente estado de madurez. ( $p < 0,05$ ). El rendimiento de rebanado, por su parte, no es afectado por la madurez de las papayas que se utilizan en la operación. En el **Cuadro XI** se presentan estos rendimientos.

**Cuadro XI.** Rendimiento de pelado y rendimiento de rebanado según el estado de madurez de la papaya.

Estado de madurez	Rendimiento pelado (%)	Rendimiento rebanado (%)
3	87,8 ± 0,9 <sup>A</sup>	90 ± 1
4	84 ± 1 <sup>B</sup>	88 ± 2
5	86 ± 1 <sup>B</sup>	87 ± 5

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=9), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05).

Anteriormente se explicó que la firmeza de la cáscara de la papaya (Fabi *et al.*, 2014, Wongmetha *et al.*, 2015), así como la firmeza en la pulpa (Almora *et al.*, 2004, Pareek, 2016) se ven afectadas con la maduración, lo que se evidenció en la **Figura 11**. Durante el procesamiento de los chips de papaya en estado de madurez 5, es decir el estado de madurez más avanzado en este caso, se dieron complicaciones prácticas en el manejo de las frutas, principalmente por la suavidad de las mismas. Se puede observar como en los estados 4 y 5 se da una disminución significativa en el rendimiento de pelado, es decir, se dieron pérdidas durante la operación debido justamente a la pérdida de firmeza durante la maduración. Por esta razón se puede observar en el **Cuadro XI** que en las papayas del estado de madurez menor se da el mayor rendimiento (p<0,05), lo que era de esperarse debido a su mayor firmeza.

En cuanto al rendimiento de rebanado, se observó una tendencia de disminución en los valores promedio de este rendimiento conforme avanza la maduración de las papayas; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas entre estos datos (p>0,05). Esta disminución en los rendimientos se debe al aumento en la suavidad de las papayas que se da con la maduración de la fruta (Pareek, 2016).

#### 7.2.2. Evaluación del efecto del estado de madurez y la concentración de ácido málico sobre el rendimiento de fritura

En el **Cuadro X** se observa que el rendimiento de fritura es afectado significativamente (p<0,05) por la concentración de ácido málico, pero no por los estados de madurez de las papayas. En el **Cuadro XII** se presentan estos rendimientos de fritura para cada estado de madurez analizado.

**Cuadro XII.** Rendimiento de fritura según el estado de madurez de la papaya.

Estado de madurez	Rendimiento fritura (%)
3	14,6 ± 0,8
4	15 ± 1
5	15,7 ± 0,7

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=9), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05).

A pesar de que no se encontraron diferencias significativas entre los valores de rendimiento de fritura de los tres estados de madurez (p>0,05), sí es posible observar una tendencia de aumento conforme avanza la maduración de las papayas. Con el fin de explicar de una mejor manera los resultados obtenidos, se realizaron determinaciones de actividad de agua (aw) y contenido de grasa en los chips de los tres diferentes estados de madurez. A continuación, en el **Cuadro XIII** se presentan los resultados de dichas determinaciones.

**Cuadro XIII.** Actividad de agua y contenido de grasa de los chips según el estado de madurez de la papaya.

Estado de madurez	Actividad de agua (adimensional)	Grasa (g/100 g)*
3	0,24 ± 0,03	31 ± 6
4	0,24 ± 0,03	35 ± 5
5	0,22 ± 0,02	35 ± 12

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=3), con un nivel de confianza del 95 %.

\*Valor expresado en base húmeda

En este caso no se encontraron diferencias significativas (p>0,05) entre los valores de aw de los diferentes estados de madurez, los valores no difieren de gran manera entre sí; sin embargo, se confirma que el producto obtenido es estable por su baja actividad de agua. En los valores de grasa, por su parte, tampoco se encontraron diferencias significativas (p<0,05); sin embargo, es posible observar una tendencia de aumento, en donde los chips de papaya en estado de madurez 4 y 5

presentan el contenido mayor. Esto explica porqué se obtuvo un rendimiento de fritura mayor en el caso de los chips en estado de madurez 5, ya que estos contienen entonces una mayor proporción de grasa.

Esta mayor absorción de aceite en los chips de estados de madurez 4 y 5 se da principalmente por las diferencias en la composición de la papaya conforme avanza su maduración. Como anteriormente se explicó, durante la maduración se da la degradación de pectina y celulosa, además de la hidrólisis del almidón, lo que contribuye a modificaciones en la estructura y funcionamiento de la pared celular, específicamente en pérdida de firmeza (Valero & Serrano, 2010, Fabi *et al.*, 2014, Annegowda & Bhat, 2016, Pareek, 2016). En la sección **6.2.2** se puede observar que en efecto se da una disminución significativa ( $p < 0,05$ ) en la firmeza de la pulpa de las papayas entre estos tres estados de madurez. Además, así como lo explican Dueik *et al.* (2012), factores como mayor porosidad y menor contenido de almidón en la materia prima van a influir en una mayor absorción de aceite en el producto. Como ya se explicó, durante el proceso de maduración se espera una degradación de almidón en azúcares como glucosa, fructosa y sacarosa (Gomez *et al.*, 2002); por lo que en la papaya en estado de madurez 5 se esperarían menores contenidos de almidón y, por ende, esto aumentaría la absorción de aceite en estos chips. Según Dueik *et al.* (2012), entre mayor sea la porosidad de la fruta, mayor es su área superficial y por ende se obtienen resultados de absorción de grasa mayores. Entonces, estos cambios estructurales que se llevan a cabo con la maduración de la fruta afectan la absorción de aceite en los chips, por lo que en el estado de madurez 5 se obtienen valores mayores, es decir, una proporción de grasa mayor que afecta finalmente el rendimiento de fritura en este caso.

En el **Cuadro XIV** se observan los rendimientos de fritura obtenidos los chips de papaya con inmersión en diferentes concentraciones de ácido málico utilizadas como pretratamiento.

**Cuadro XIV.** Rendimiento de fritura según la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento.

Concentración de ácido málico (% m/v)	Rendimiento fritura (%)
0	16 ± 1 <sup>A</sup>
1	15,0 ± 0,7 <sup>AB</sup>
2	14,7 ± 0,5 <sup>B</sup>

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=9), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05).

En este caso se observan diferencias significativas (p<0,05) entre los valores promedio del rendimiento de fritura para las tres concentraciones de ácido málico analizadas. Estos diferentes valores se pueden deber principalmente a un cambio en la proporción de masa sólida y cantidad de agua debido al proceso de fritura y también a la realización del pretratamiento con ácido málico a las papayas troceadas.

Se observó una tendencia de disminución en el rendimiento promedio de fritura al aumentar la concentración de ácido málico en la disolución utilizada durante el pretratamiento. En el caso de los chips que fueron pretratados con disoluciones al 1 % y al 2 % de ácido málico, las papayas ya troceadas y pesadas son introducidas por un minuto en las disoluciones respectivas. Por lo tanto, durante ese pretratamiento se da una absorción tanto de agua como de ácido por parte de las papayas, por lo que esto llega a afectar la composición inicial de la papaya antes de la fritura y, por ende, las características de los chips. En el **Cuadro XIV** se observa que no hay diferencias significativas (p>0,05) entre el rendimiento de fritura de las papayas sin pretratamiento en ácido málico y en las que se llevó a cabo un pretratamiento al 1 %. Además, no se encontraron diferencias (p>0,05) entre los chips con pretratamiento al 1 % y al 2 % de ácido málico, pero sí entre los chips sin pretratamiento y los chips al 2 % (p<0,05). Con el fin de explicar de una mejor manera el comportamiento obtenido en el rendimiento de fritura se llevaron a cabo determinaciones de contenido de grasa y aw en los chips (**Cuadro XV**).



**Cuadro XV.** Actividad de agua (aw) y contenido de grasa en los chips procesados según la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento.

<b>Concentración de Ácido Málico (% m/v)</b>	<b>Actividad de agua (adimensional)</b>	<b>Grasa (g/100g)*</b>
0	0,229 ± 0,009	34 ± 11
1	0,24 ± 0,03	36 ± 7
2	0,22 ± 0,02	31 ± 5

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=3), con un nivel de confianza del 95 %.

\*Valor expresado en base húmeda

Para los valores reportados de aw y contenido de grasa en los chips de papaya no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre las diferentes concentraciones de ácido málico del pretratamiento. Sin embargo, a partir de estos resultados se observa como el contenido de grasa en los chips con un pretratamiento al 2 % es menor que en los otros casos, lo que puede explicar el rendimiento de fritura menor. En este caso al realizar el pretratamiento con ácido málico al 2 % (m/v) los chips absorben una cantidad levemente menor de aceite, por lo que su proporción final de grasa es menor, lo que podría explicar los rendimientos menores.

### 7.2.3. *Evaluación del efecto del estado de madurez y la concentración de ácido málico sobre el color de los chips de papaya*

El pretratamiento con ácido málico a las papayas antes del proceso de fritura se realizó principalmente por factores sensoriales, ya que el objetivo principal de esta operación era una posible mejora en el perfil sensorial de los chips. Sin embargo, con el fin de analizar si los dos factores evaluados (concentración de ácido málico durante el pretratamiento y estado de madurez) ejercen un efecto sobre el color de los chips, se realizaron determinaciones de los parámetros de color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $h$  en los chips de papaya fritos al vacío.

En cuanto a los valores de  $L^*$ , se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ), en donde estos valores disminuyen al utilizar papayas en estados de madurez más avanzados. Además, a pesar de no encontrar diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) en los valores de  $C^*$ , es posible observar en el

**Cuadro XVI** una tendencia de disminución en estos valores conforme avanza la madurez de las papayas.

**Cuadro XVI.** Valores de los parámetros de color de L\*, C\* y °h de los chips de papaya según el estado de madurez de las papayas.

Estado de madurez	L*	C*	°h
3	50 ± 3 <sup>A</sup>	52 ± 2	62 ± 1 <sup>A</sup>
4	47 ± 2 <sup>AB</sup>	50 ± 2	61,2 ± 0,8 <sup>A</sup>
5	45 ± 1 <sup>B</sup>	49 ± 2	59,3 ± 0,6 <sup>B</sup>

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=9), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05).

Estos cambios de color se dan tanto por el oscurecimiento de la pulpa, la cual es más roja durante la maduración (Zerpa-Catanho *et al.*, 2017), como por cambios durante la fritura, como las reacciones de Maillard, responsables del color oscuro que adquieren los productos fritos (Vassiliki *et al.*, 2014). Las reacciones de Maillard son favorecidas por factores como concentraciones elevadas de azúcares reductores, altas temperaturas durante el procesamiento o el almacenamiento y pH por encima del punto isoeléctrico de los grupos amino (Woodroof, 2012). Anteriormente, en la sección 6.2.3 se analizó la tendencia de aumento en el contenido de glucosa y fructosa con la maduración de las papayas, a pesar de no encontrar diferencias significativas (p>0,05). Por lo tanto, este leve contenido mayor de azúcares en estados de madurez más avanzados podría llegar a incidir sobre la reacción de Maillard y, por ende, en el color final del producto, en donde se esperarían tonalidades más oscuras.

En la sección 6.2.3 se observó que el contenido de carotenoides aumenta con la maduración de las papayas híbrido Pococí, principalmente el contenido de licopeno, el carotenoide de mayor abundancia en la fruta de esta variedad, con pulpa rojiza (Schweiggert *et al.*, 2011a). Según Meléndez-Martínez *et al.* (2004), este carotenoide ha presentado gran estabilidad frente a altas temperaturas, en donde a partir de los resultados obtenidos por Abushita *et al.* (2000) se observó como la cantidad de carotenoides (principalmente licopeno) en el tomate no procesado y en el producto final, pasta de tomate, era constante. Por lo tanto, este mayor contenido de carotenoides también afecta los resultados obtenidos para los valores de °h, en donde al aumentar la maduración

de las papayas utilizadas como materia prima el valor de °h disminuye significativamente ( $p < 0,05$ ), lo que en este caso hace referencia a una mayor tonalidad naranja, debido a que valores de °h de 90° representan tonos amarillos, mientras que valores menores se acercan al color naranja (Diehl & Socaciu, 2008).

En este caso también se evaluó el efecto del ácido málico sobre el color de los chips. En el **Cuadro XVII** se presentan los parámetros de color obtenidos en los chips de papaya con diferentes pretratamientos, independientemente del estado de madurez de la materia prima.

**Cuadro XVII.** Parámetros de color de L\*, C\* y °h según la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento en la elaboración de chips de papaya.

Concentración de Ácido Málico (% m/v)	L*	C*	°h
0	49 ± 4	51 ± 2	61 ± 2
1	46 ± 2	49 ± 1	61 ± 1
2	47 ± 3	50 ± 3	60 ± 1

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=9), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey,  $p < 0,05$ ).













En este caso no se encontraron diferencias significativas en ninguno de los parámetros de color al variar la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento. Es decir, la realización de un pretratamiento con ácido málico no afecta los resultados de color en los chips, indiferentemente del estado de madurez de las papayas que se utiliza.

A continuación, en el **Cuadro XVIII** se presentan fotografías de los chips de cada tratamiento analizado y la tonalidad asociada a cada uno, a partir de los valores de L\*, a\* y b\*.

**Cuadro XVIII.** Imágenes de los chips de papaya al vacío obtenidos en cada tratamiento, así como la tonalidad asociada a cada uno de ellos, a partir de sus valores de L\*, a\* y b\*.

Estado de madurez	Concentración ácido málico (%)	Fotografías		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
3	0			
3	1			
3	2			
4	0			
4	1			

**Continuación cuadro XVIII.** Fotografías de los chips de papaya al vacío para cada tratamiento, así como la tonalidad asociada a cada uno de ellos, a partir de sus valores de L\*, a\* y b\* (continuación).

Estado de madurez	Concentración ácido málico (%)	Fotografías		
		Repetición 1	Repetición 2	Repetición 3
4	2			
5	0			
5	1			
5	2			

Se observa que las tonalidades entre los tratamientos varían, pues aún a simple vista es posible determinar diferencias en el color. Por ejemplo, la fotografía de los chips de estado de madurez 3 y sin pretratamiento con ácido, en donde se dan colores muy claros, principalmente en la primera repetición; mientras que en la fotografía de los chips del estado 4 y el pretratamiento al 2 % de ácido málico se observa un color más oscuro en los chips. Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el análisis de color mediante el colorímetro Colourflex, en donde como ya se

explicó, diferencias en el color de los chips pueden deber a reacciones de Maillard (Owusu-Apenten, 2004), producción de carotenoides durante la maduración (Dueik *et al.*, 2010, Zerpa-Catanho *et al.*, 2017) y demás factores implicados.

#### 7.2.4. Evaluación del efecto del estado de madurez y la concentración de ácido málico sobre el nivel de agrado de los chips de papaya

Con el fin de analizar el nivel de agrado de los chips de papaya obtenidos mediante fritura al vacío, se realizó una evaluación sensorial con un grupo de 100 consumidores, cuyos resultados se muestran a continuación.

**Cuadro XIX.** Valores de agrado promedio obtenidos a partir de la evaluación sensorial con consumidores según el estado de madurez de las papayas utilizadas para la elaboración de los chips.

Estado de madurez	Nivel de agrado
3	5,9 ± 0,5 <sup>B</sup>
4	6,5 ± 0,4 <sup>A</sup>
5	6,6 ± 0,4 <sup>A</sup>

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=100), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05).

En este caso se encontraron diferencias significativas entre los promedios de agrado para los estados de madurez de las papayas, es decir, los panelistas encontraron diferencias en el sabor de los chips dependiendo de su estado de madurez. Se puede observar como el mayor agrado se da en los chips del estado de madurez más avanzado; sin embargo, no hay diferencias significativas con los valores del estado 4, pero sí con el estado 3, en donde se da el menor agrado (p<0,05).

En la sección **6.2.3** se explicó la tendencia de aumento en el contenido de glucosa y fructosa en las papayas conforme avanza su maduración. Estos resultados afectan entonces el dulzor de las papayas, y por ende, el sabor y así la percepción del consumidor hacia los chips elaborados a partir de ellas. Es de esperar entonces, mayores valores de agrado en chips de estados de madurez más avanzados, como se observa en el **Cuadro XIX**.

Ahora bien, según Schreier y Schwab (2002), los lípidos son responsables de gran parte de los sabores en frutas maduras. Generalmente, a partir de ácidos grasos se forman compuestos

aromáticos mediante procesos de degradación catalizados enzimáticamente. Por ejemplo, las frutas sintetizan y catabolizan una gran variedad de ácidos grasos, así como alcoholes primarios y secundarios, los cuales van a ser los precursores de los ésteres (Schreier & Schwab, 2002), compuestos responsables de los sabores frutales en la papaya (Sinha *et al.*, 2012). Durante el proceso de maduración también se da la producción de lactonas a partir de ácidos grasos, además de una mayor producción de compuestos volátiles, en donde ambos son de gran importancia en el aroma (Beaulieu & Baldwin, 2002). Por otra parte, según el estudio de Gomez *et al.* (2002), el sabor dulce de las papayas más maduras se relaciona a una textura más suave, es decir, una menor firmeza en la pulpa. Esto se asocia a una mayor facilidad en la masticación y liberación de los azúcares, lo que influye en la percepción sensorial de las papayas maduras. Las razones expuestas anteriormente explican el aumento en el agrado de los chips conforme avanza el estado de madurez de las papayas.

En el **Cuadro XX** se observan los valores de agrado de los panelistas para los chips elaborados con pretratamientos de inmersión en soluciones de ácido málico a tres concentraciones diferentes.

**Cuadro XX.** Valores de agrado promedio obtenidos a partir de la evaluación sensorial con consumidores según la concentración de ácido málico utilizada como pretratamiento para la elaboración de chips de papaya.

Concentración ácido málico	Agrado
0	6,7 ± 0,4 <sup>A</sup>
1	6 ± 1 <sup>AB</sup>
2	6,1 ± 0,5 <sup>B</sup>

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=100), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05).

Se observa como la concentración de ácido málico en la disolución utilizada como pretratamiento influye en el agrado de los chips de papaya fritos al vacío. Al aumentar la concentración de ácido málico disminuye el agrado en los chips, en donde al no realizar el pretratamiento en ácido se dan los mayores valores de agrado.

Como se explicó anteriormente, el ácido cítrico y el ácido málico son los principales ácidos presentes en la papaya que influyen en el sabor de esta (Sinha *et al.*, 2012), razón por la cual se realizaron pruebas preliminares para determinar cuál de estos dos ácidos utilizar, así como su

concentración. Según Fowlds (2002), el ácido málico tiene un sabor con notas ácidas, pero suave, en la matriz en donde sea añadido puede ser capaz de acentuar el sabor (Furia, 1973). Su sabor ácido es más suave que el del ácido cítrico; sin embargo, es más persistente. El umbral del sabor del ácido cítrico es 0,0023 N, mientras que el umbral en el caso del ácido málico es 0,0016 N (Velioglu, 2009); por lo tanto, se requieren cantidades más pequeñas del ácido málico con el fin de obtener el mismo efecto en el sabor (Furia, 1973).

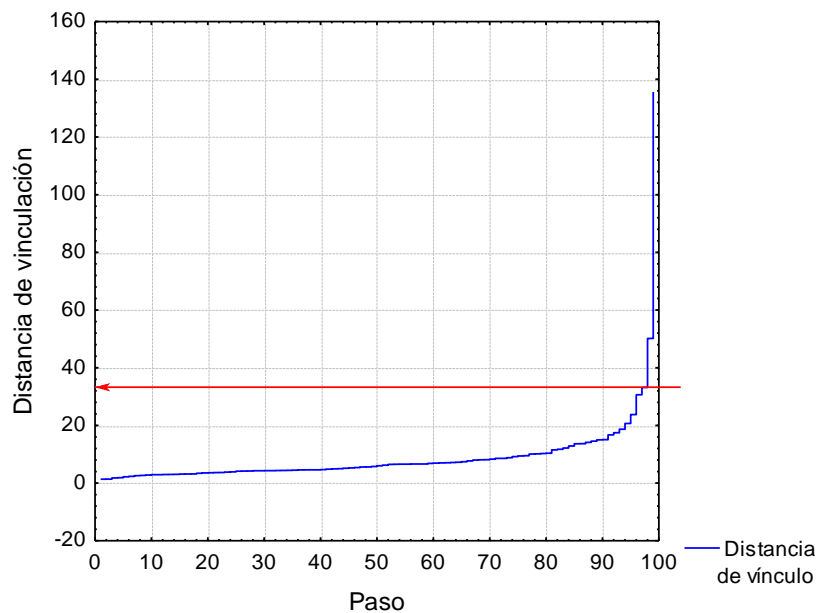
Otro efecto indirecto de los ácidos es la quelación de metales como el hierro y el cobre, para evitar la rancidez en los aceites y las reacciones no-enzimáticas en los productos de frutas y verduras (Velioglu, 2009). El pardeamiento no enzimático es inhibido por condiciones ácidas (Blanco Gomis & Alonso, 2004) por lo que la adición de ácidos en este caso podría afectar el oscurecimiento del producto frito. Sin embargo, como se observa en el **Cuadro XX**, durante la prueba sensorial de agrado general los chips sin adición de ácido málico obtuvieron mejores calificaciones de agrado, por lo que los panelistas prefirieron esta opción ante los productos con impregnación de ácido málico.

#### 7.2.4.1. Evaluación del nivel de agrado de los chips de papaya mediante análisis de conglomerados (*cluster*).

Con el fin de analizar de una mejor manera los resultados obtenidos en la evaluación sensorial de agrado, se realizó un análisis de *Cluster*, en donde es posible determinar tendencias en grupos más pequeños de panelistas, y así facilitar la comprensión de los resultados.

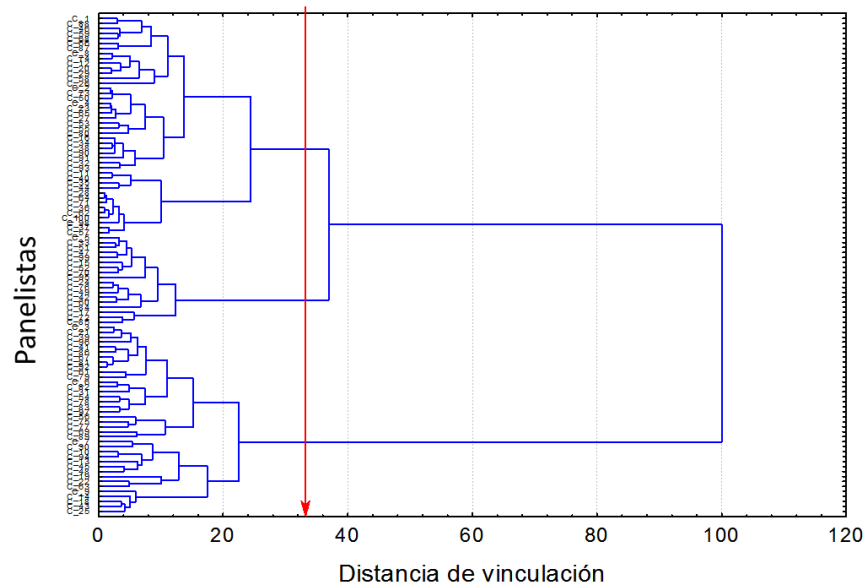
En la **Figura 13** se observa que la mayor variación entre distancias de vinculación se da cercana a 32, por lo que esta es la distancia de vinculación para el agrupamiento de los datos de agrado obtenidos del panel. Por lo tanto, los *clusters* se van a dividir a partir de esta distancia (técnica de amalgamación o vinculación).





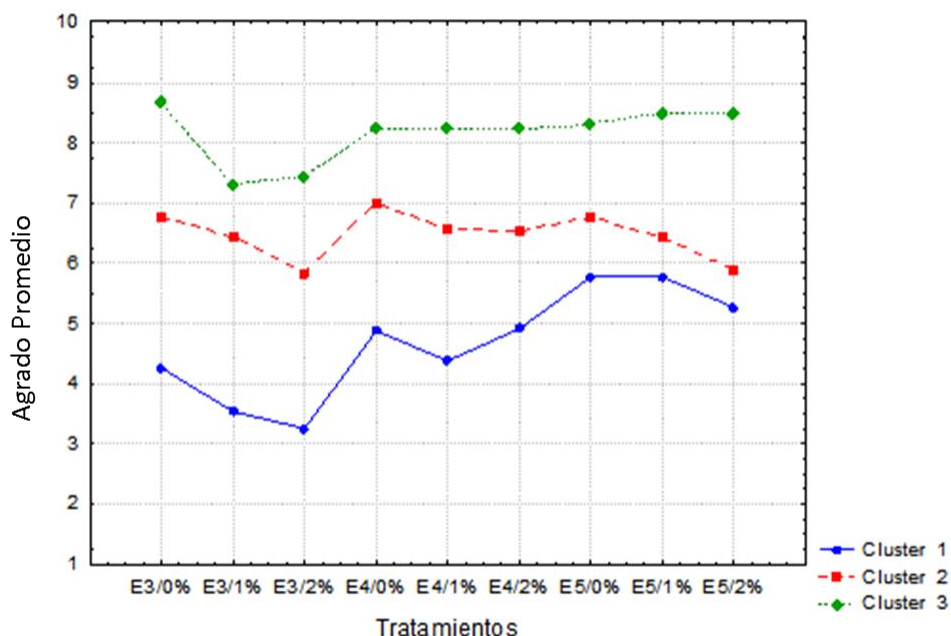
**Figura 13.** Gráfico de vinculación de panelistas en el panel de agrado de chips de papaya.

A partir de la distancia de vinculación obtenida se establece la cantidad de *clusters* formados, en donde, como se explicó anteriormente, cada uno de estos grupos es internamente homogéneo (miembros del grupo con calificaciones similares) pero externamente heterogéneos (miembros de cada grupo con calificaciones distintas) (González & Felpeto, 2006). En la **Figura 14** se observan los tres conglomerados (*clusters*) obtenidos en el dendograma, a partir de una distancia de vinculación cercana a 32.



**Figura 14.** Dendrograma generado a partir de la prueba de agrado general de chips de papaya.

Al utilizar la técnica de *k-means* se formaron tres diferentes grupos, en donde se agrupó cada *cluster* por su similitud en las calificaciones de agrado. En la **Figura 15** se observan los datos para cada *cluster*, así como el comportamiento de ellos ante cada tratamiento analizado. Se observa como el *Cluster 1* hace referencia al grupo de panelistas que califica los chips en general con valores de agrado más bajos, mientras que el *Cluster 3* posee los valores de agrado más altos y el *Cluster 2* las calificaciones medias.



**Figura 15.** Valores de agrado promedio de los chips de papaya de acuerdo con los grupos de panelistas identificados del análisis de *Clusters* obtenidos mediante la técnica de *k-means*.

Se observa que las calificaciones bajas, las cuales se asociaron al *Cluster 1*, todas son menores a 6, mientras que los datos asociados al *Cluster 3* son todos mayores a 7, calificaciones altas para el agrado general de los chips de papaya. Además, se observa en la **Figura 15** que el comportamiento en los tres grupos es igual en los tratamientos utilizando el estado de madurez 3. Se observa en términos generales que los valores de agrado disminuyen al aumentar la concentración del ácido málico, especialmente con el estado de madurez 3, lo que concuerda con los resultados obtenidos en el ANDEVA realizado con todos los datos del panel, en donde de igual manera se observa como los panelistas prefieren los chips sin el pretratamiento de inmersión en ácido málico.

Como se explicó en la sección **6.2.3**, la concentración de azúcares aumenta con la maduración de las papayas, por lo que se espera que esto afecte el sabor de los chips. Las papayas en el estado de madurez 3 contienen la menor cantidad de azúcares, por lo que los panelistas lograrían percibir con mayor intensidad el ácido agregado. Por lo tanto, al aumentar la concentración de la disolución de ácido en el pretratamiento de los chips en este estado de madurez los panelistas perciben estas notas ácidas, las cuales en general influyen negativamente en el agrado. Ahora bien, al analizar los resultados para los estados de maduración 4 y 5 no se observa

esta tendencia de disminución en el agrado al aumentar la concentración del ácido málico, debido a que en estos casos el contenido de azúcares es mayor, lo que podría influir en el enmascaramiento de las notas ácidas que el pretratamiento pudo aportar a los chips.

En el **Cuadro XXI** se describen las principales características de cada conglomerado (*cluster*), así como el número de integrantes en cada uno.

**Cuadro XXI.** Características de los tres grupos formados a partir del análisis por agrupamiento de los resultados de la evaluación sensorial de agrado general de chips de papaya, y el número de personas que conforman cada grupo.

Grupo	Características	Número de integrantes
1	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo con las calificaciones más bajas en general para todos los chips.</li> <li>- Calificaciones menores para los chips del estado de madurez 3, principalmente aquellos obtenidos con la disolución de ácido málico al 2 % como pretratamiento.</li> <li>- En el estado de madurez 3 el agrado hacia los chips disminuye conforme aumenta la concentración de ácido málico.</li> </ul>	32
2	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo con las calificaciones medias en general para todos los chips.</li> <li>- Calificaciones más altas para los chips del estado de madurez 4 y sin pretratamiento con ácido málico.</li> <li>- En el estado de madurez 3, el agrado hacia los chips disminuye conforme aumenta la concentración de ácido málico.</li> </ul>	42
3	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Grupo con las calificaciones más altas en general para todos los chips.</li> <li>- Calificaciones más altas principalmente para los chips del estado de madurez 3 y sin pretratamiento con ácido málico.</li> <li>- Calificaciones relativamente constantes para los chips de los estados de madurez 4 y 5.</li> </ul>	26

En el *Cluster 1* también se observa que los chips del estado de madurez 5 son los que obtuvieron mejores calificaciones de agrado general, lo que concuerda también con el ANDEVA realizado a partir de todos los resultados del panel. El *Cluster 2* es el grupo con una mayor cantidad de panelistas, en donde los chips del estado de madurez 4 y sin pretratamiento con ácido málico obtuvieron los mejores resultados en agrado. El *Cluster 3* es el grupo con menor cantidad de panelistas, en el cual se dan las mejores calificaciones para todos los chips. En este caso los resultados son muy constantes, principalmente en el estado de madurez 4 y 5, mientras que solamente en el estado de madurez 3 y con pretratamiento de ácido málico al 1 % y al 2 % se dan valores de agrado general menores a 8.

A partir de cada *cluster* se realiza un ANDEVA (ver Anexo 2), con el fin de analizar los resultados en cada grupo y así determinar cómo el estado de madurez en las papayas y el pretratamiento con ácido málico afectan el agrado general de los chips. En el **Cuadro XXII** y el **Cuadro XXIII** se observan los promedios de agrado para cada estado de madurez y cada concentración de ácido málico respectivamente, en los *cluster* en que resultaron significativos.

**Cuadro XXII.** Valores de agrado promedio obtenidos para el *Cluster 1* según el estado de madurez de las papayas utilizadas en la elaboración de los chips.

Estados de madurez	Nivel de agrado
3	3,7 ± 0,8 <sup>C</sup>
4	4,7 ± 0,8 <sup>B</sup>
5	5,6 ± 0,8 <sup>A</sup>

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=32), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05)

Hay grandes diferencias en el agrado de cada estado de madurez, como se observa en el **Cuadro XXII**. Los resultados en este caso concuerdan con los obtenidos en el ANDEVA para el panel, en donde los chips de las papayas en un estado de madurez más avanzado obtienen valores de agrado mayores. Esto no sucede en los otros grupos, ya que solamente en el caso del *Cluster 1* se encontraron diferencias significativas (p<0,05) en los valores de agrado para los chips de papayas de cada estado de madurez. Es decir, para los panelistas de los *Clusters 2* y *3*, en total 68 personas, no hay diferencias significativas (p>0,05) en el agrado general de los chips realizados a partir de papayas de diferentes estados de madurez.

En el caso del *Cluster 2* se encontraron diferencias significativas, al 95 % de confianza entre los chips de papaya obtenidos con diferentes pretratamientos de inmersión en solución de ácido málico. Los promedios de los valores de agrado en este caso se observan en el **Cuadro XXIII**.

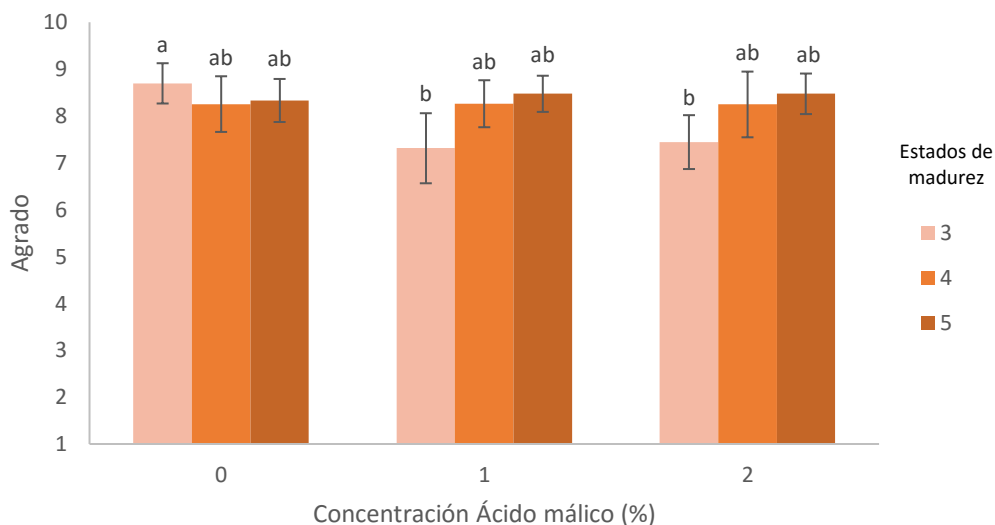
**Cuadro XXIII.** Valores de agrado promedio obtenidos para el *Cluster 2* según la concentración de ácido málico utilizada en el pretratamiento.

Concentración de ácido málico (% m/v)	Nivel de agrado
0	6,8 ± 0,5 <sup>A</sup>
1	6,5 ± 0,5 <sup>AB</sup>
2	6,1 ± 0,6 <sup>B</sup>

Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=42), con un nivel de confianza del 95 %. Promedios con letras diferentes son significativamente diferentes (Tukey, p<0,05)

Al realizar el análisis de los datos del *Cluster 2* se observa que estos resultados también concuerdan con los obtenidos a partir del análisis de todos los datos del panel. Los panelistas en este caso prefieren los chips sin el pretratamiento de ácido málico, ya que, como se observa en el **Cuadro XXIII**, el valor de agrado para estos chips es significativamente mayor (p<0,05) que en los demás casos. Por lo tanto, el sabor ácido que las disoluciones de ácido málico aportan a los chips no favorece el agrado por parte del consumidor.

En cuanto al *Cluster 3* se encontraron interacciones significativas al 95 % de confianza entre el estado de madurez y la concentración de ácido málico con la que se realizó el pretratamiento. Es decir, los niveles de agrado de los chips de papaya en el grupo de panelistas en donde se dieron las mejores calificaciones van a estar influidas tanto por la concentración de ácido málico como por el estado de madurez de las papayas. En la **Figura 16** se observan los resultados obtenidos en el *Cluster 3*.



**Figura 16.** Valores de agrado de los chips de papaya obtenidos en el *Cluster 3* en función de la concentración de ácido málico utilizado como pretratamiento y del estado de madurez de las papayas. Barras indican intervalos de confianza al 95 % (n=26)

En los chips sin ácido málico su nivel de agrado se mantiene similar al variar el estado de madurez de las papayas. En este caso los chips de papayas con estado de madurez 3 obtienen los valores de agrado mayores; sin embargo, no se encontraron diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) entre los chips de papaya independientemente del estado de madurez.

También se puede observar que, en efecto, la utilización de ácido málico como un pretratamiento en el proceso de fritura afecta el sabor de los chips, ya que se dan comportamientos diferentes al realizar el pretratamiento y al no realizarlo. Como se explicó anteriormente, el contenido de azúcares es de suma importancia en la percepción de notas ácidas en los chips. Por esta razón, se observa en la **Figura 16** que solamente se encontraron diferencias significativas ( $p < 0,05$ ) en los chips con diferentes concentraciones de ácido málico en estado de madurez 3; mientras que en chips de papaya con mayores concentraciones de azúcares, como el estado 4 y el 5 no se encuentran diferencias significativas ( $p > 0,05$ ) al aumentar la concentración de ácido utilizada.

A partir de estos resultados se evidencia que los chips elaborados a partir de la papaya en estado de madurez 4 presentan resultados sensoriales favorables, buenos rendimientos y facilita el manejo en el proceso, a diferencia de la papaya en estado 5; en donde se dan mayores pérdidas durante el procesamiento. Además, se observa que la adición de ácido málico en papayas en estado

de madurez 4 no influye en su nivel de agrado, ni afecta el color de los chips, por lo que se decide no aplicar el pretratamiento con ácido, ya que el mismo involucra un gasto innecesario de tiempo y recursos.

A continuación, se resumen los principales resultados analizados en el segundo objetivo de la investigación

- El estado de madurez de las papayas influye en el rendimiento de pelado, con valores mayores ( $p < 0,05$ ) en el caso del estado 3. Además, se observa una tendencia de aumento del contenido de grasa en los chips al utilizar papayas de estados de madurez más avanzados, lo que influye en un rendimiento de fritura mayor en estos casos. También se pudo observar que al utilizar una concentración de ácido málico del 2 % (m/v) en el pretratamiento de las papayas se obtienen valores de contenido de grasa menores, generando rendimientos de fritura más bajos.
- El proceso de maduración influye en el color de los chips; en general, al utilizar papayas en estados de madurez más avanzados se obtienen chips con valores de  $L^*$ ,  $C^*$  y  $^{\circ}h$  menores.
- En cuanto al análisis sensorial, en general se obtienen mejores resultados en chips de papaya en estado de madurez 4 o 5; además, al utilizar una disolución al 2 % de ácido málico en el pretratamiento los valores de agrado disminuyen significativamente ( $p < 0,05$ ). Al realizar un análisis por conglomerados (clusters) se observa una tendencia de disminución en el agrado de los chips al aumentar la concentración de ácido málico en papayas en estado de madurez 3, lo cual no se observa en los demás estados de madurez evaluados.
- Para la determinación de las condiciones óptimas de proceso de fritura al vacío se decide utilizar papaya en estado de madurez 4, ya que en esta se dan buenos rendimientos de proceso y resultados sensoriales. Además, se decide no realizar el pretratamiento con ácido málico.

## **8. OBJETIVO 3: Determinación de las condiciones óptimas del proceso de fritura al vacío para el desarrollo de un producto frito de papaya con características fisicoquímicas deseables.**

### **8.1. Metodología**

#### *8.1.1. Determinación de condiciones de proceso a evaluar*

Según Diamante *et al.* (2015), la mejor manera de diseñar un proceso de fritura al vacío para un determinado producto es mediante la realización de experimentos con el fin de obtener un



proceso optimizado. Por esta razón, se evaluaron diferentes condiciones de proceso, con el fin de estudiar su efecto sobre las características finales de los chips.

Se evaluó el efecto de la temperatura de fritura, el tiempo y la velocidad de centrifugación sobre las características de los chips de papaya fritos al vacío, esto utilizando papayas de estado de madurez 4 y sin pretratamiento en ácido málico, de acuerdo con los resultados obtenidos en el objetivo 2.

Con el fin de evaluar el efecto de las diferentes condiciones de proceso (la temperatura del aceite, el tiempo de fritura y la velocidad de centrifugación), se realizaron los siguientes análisis en los chips de papaya.

- Contenido de grasa
- Humedad
- Actividad de agua
- Parámetros de color, L\*, C\*, °h y ΔE. En este caso los valores de referencia para el cálculo de ΔE fueron 48 para la L\*, 38 para el valor de C\* y 55 en el caso de °h, basándose en los valores obtenidos en la papaya híbrido Pococí fresca en estado de madurez 4.
- Rendimientos

#### 8.1.2. *Diseño experimental y análisis estadístico*

Para la optimización de las condiciones de proceso de fritura al vacío para la elaboración de chips de papaya se utilizó un diseño central compuesto rotatable con tres factores, temperatura de fritura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación; el cual se evaluó utilizando la metodología de superficie de respuesta. Según Montgomery (2004), un diseño central compuesto en general se compone de un nivel factorial  $2^k$ ,  $2k$  niveles axiales y  $n_c$  niveles centrales; en donde  $k$  hace referencia a la cantidad de factores a evaluar. En este caso se tienen 3 factores, por ende, el modelo cuenta con 8 niveles factoriales, 6 axiales y 4 centrales. Ahora bien, para la rotabilidad del modelo los puntos factoriales tienen niveles codificados de  $\pm 1$ ; mientras que para los niveles codificados de los puntos axiales es necesario definir el valor de un  $\alpha$ , en donde en este caso se utilizó la siguiente ecuación.

**Ecuación 7.**  $\alpha = (n_f)^{1/4}$

En donde el valor de  $n_f$  hace referencia a la cantidad de puntos factoriales, en este caso 8; por lo que el valor de  $\alpha$  en este caso es de 1,68179.

Los rangos indicados anteriormente de temperatura de fritura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación fueron establecidos a partir de pruebas preliminares. El diseño experimental contó con un total de 18 experimentos, los cuales fueron realizados de manera aleatoria para minimizar el efecto de variables no controlables.

En este caso se realizó una prueba robusta para la eliminación de valores desviados. Esta técnica de eliminación de datos utiliza el estimador MAD, la cual es la mediana de las desviaciones absolutas de los valores respecto a la mediana de estos (Gras, 1996). A partir de los resultados obtenidos en esta prueba se decide eliminar uno de los puntos centrales, ya que estos resultados se encontraban desviados con respecto a los demás, lo que se pudo deber a factores externos al análisis, principalmente variabilidad de la materia prima. En el *¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.* se muestra el diseño experimental utilizado en este caso.

**Cuadro XXIV.** Diseño central compuesto rotatable para la evaluación de diferentes condiciones codificadas de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación en el proceso de fritura al vacío.

Ensayo	Factores		
	Temperatura de fritura	Tiempo de fritura	Velocidad centrifugación
1	-1	-1	-1
2	-1	-1	1
3	-1	1	-1
4	-1	1	1
5	1	-1	-1
6	1	-1	1
7	1	1	-1
8	1	1	1
9	-1,682	0	0
10	1,682	0	0
11	0	-1,682	0
12	0	1,682	0
13	0	0	-1,682
14	0	0	1,682
15	0	0	0
16	0	0	0
17	0	0	0
18	0	0	0

A partir de los resultados obtenidos del contenido de grasa, de humedad, aw, color y rendimiento para cada ensayo, se generaron las superficies de respuesta. Se buscó estimar el modelo de mejor ajuste para cada una de las variables respuesta, evaluando el coeficiente de determinación ( $R^2$ ), el coeficiente de determinación ajustado ( $R^2$  adj), la probabilidad del modelo (p), la probabilidad de falta de ajuste (pfa) y la distribución de los residuos.

Para realizar la ecuación del modelo según la variable respuesta se utilizaron solamente los coeficientes que resultaron significativos del análisis de varianza ( $p < 0,05$ ). El análisis estadístico en este caso se llevó a cabo utilizando el programa Statistica 7 (Statsoft®, USA). Una vez obtenidos los resultados se realizó la validación del modelo, en donde se repitió por triplicado el proceso de fritura al vacío en papaya, utilizando las condiciones óptimas ya establecidas. Esta validación se realiza con el fin de analizar si el modelo generado predice correctamente los valores experimentales obtenidos.

## 8.2. Resultados y discusión

A partir del diseño experimental planteado anteriormente se realizaron los análisis de las variables respuesta, cuyos resultados se observan el **Cuadro XXV**.

**Cuadro XXV.** Variables independientes codificadas y variables respuesta (humedad, grasa, aw, rendimientos y color) para la optimización del proceso de fritura al vacío de papaya.

Variables independientes*			Variables respuesta**								
Temp	Tiempo	V. Centrif	Humed (g/100 g)***	Grasa (g/100 g)***	aw	Rend fritura (%)	Rend total (%)	Color			
								L*	C*	°h	ΔE
-1	-1	-1	2,05	28,41	0,2359	12,36	8,96	59,25	60,53	69,88	29,69
-1	-1	1	1,33	22,20	0,3036	14,55	11,55	58,74	63,96	68,28	31,53
-1	1	-1	0,73	28,59	0,2316	13,59	10,60	56,31	52,58	69,62	22,65
-1	1	1	1,65	34,00	0,2066	14,87	11,15	57,73	57,66	70,01	27,01
1	-1	-1	0,49	33,85	0,1796	14,92	11,20	42,71	38,08	65,68	12,02
1	-1	1	1,34	17,51	0,2102	12,83	10,25	58,79	50,23	71,78	23,73
1	1	-1	0,67	31,69	0,1859	14,17	10,80	34,57	31,76	59,72	15,38
1	1	1	0,33	28,41	0,2065	13,33	10,56	36,16	32,80	61,34	14,28
-1,682	0	0	2,25	33,48	0,2625	15,98	11,49	61,16	61,71	71,01	31,92
1,682	0	0	0,45	26,76	0,2279	12,52	9,56	29,50	27,55	56,74	21,08

\*Temp: temperatura de fritura. V. Centrif: velocidad de centrifugación. \*\*Humed: humedad. Rend: rendimiento. L\*: luminosidad. C\*: Chroma. °h: ángulo de hue. ΔE: diferencia de color con respecto a la papaya fresca con estado de madurez 4. \*\*\*Valores reportados en base húmeda.

**Continuación cuadro XXV.** Variables independientes codificadas y variables respuesta (humedad, grasa, aw, rendimientos y color) para la optimización del proceso de fritura al vacío de papaya.

Variables independientes*			Variables respuesta**								
Temp	Tiempo	V. Centrif	Humed (g/100 g)***	Grasa (g/100 g)***	aw	Rend fritura (%)	Rend total (%)	Color			
								L*	C*	°h	ΔE
0	-1,682	0	1,13	33,07	0,2592	14,72	11,33	61,15	53,18	71,51	26,36
0	1,682	0	0,49	27,69	0,2010	13,25	10,12	40,83	38,46	63,78	11,45
0	0	-1,682	2,07	39,23	0,1794	16,12	11,41	47,92	44,69	66,08	13,29
0	0	1,682	1,82	29,07	0,1892	14,21	10,31	50,73	45,70	67,32	15,13
0	0	0	0,66	32,90	0,1771	14,86	10,69	53,77	47,04	68,91	17,90
0	0	0	1,21	29,70	0,1801	14,70	11,32	47,58	45,13	66,26	13,69
0	0	0	1,39	27,47	0,1985	13,98	10,24	51,92	46,62	68,78	17,07

\*Temp: temperatura de fritura. V. Centrif: velocidad de centrifugación. \*\*Humed: humedad. Rend: rendimiento. L\*: luminosidad. C\*: Chroma. °h: ángulo de hue. ΔE: diferencia de color con respecto a la papaya fresca con estado de madurez 4. \*\*\*Valores reportados en base húmeda.

Se puede observar que los valores de las variables respuesta difieren al variar las condiciones de fritura. El punto central se estableció realizando pruebas preliminares, y posteriormente se establecieron los demás puntos tomando en cuenta factores como la capacidad máxima del equipo.

Se observa que los valores de grasa son muy elevados comparando con otros reportados en la literatura. En el estudio realizado por Perez-Tinoco *et al.* (2008), evaluaron la obtención de chips de piña híbrido MD-2 fritos al vacío utilizando una temperatura de 112 °C y tiempo de fritura de 414 s. Bajo estas condiciones se obtuvo un producto con un contenido de grasa promedio de 18,8 % (base seca) valores muy por debajo de los obtenidos en este caso con la papaya. Estas diferencias en la absorción de aceite entre los dos productos podrían ocurrir principalmente por las diferencias de composición y porosidad entre la piña y la papaya. Como se explicó anteriormente, la absorción de aceite en un producto frito depende de varios factores, entre ellos la porosidad en la materia prima. Entre mayor sea la porosidad de la fruta, mayor es su área superficial y, por lo tanto, se obtienen resultados de absorción de grasa mayores. Según Dueik *et al.* (2012), un máximo del 30 % del contenido final de aceite puede ser localizado en poros de tamaños entre 1,5 y 33 nm; mientras que el resto del aceite se puede localizar en poros de mayor tamaño, o bien en fallas, grietas o en la superficie del producto. En este caso no se cuenta con el valor de porosidad de la papaya utilizada

en este estudio; sin embargo, se espera que esta sea una de las razones por las que se dan valores de contenido de grasa tan elevados.

Además, otro factor de gran importancia en la absorción de aceite es el contenido de agua presente en el producto, ya que una mayor cantidad de humedad impide que gran cantidad de aceite entre en el poro (Garayo & Moreira, 2002, Mariscal & Bouchon, 2008). Es posible entonces, que la tasa de eliminación de agua en el producto durante el proceso de fritura difiera entre la piña y papaya, en donde se esperaría una mayor tasa de eliminación de agua en el caso de la papaya. Esta mayor tasa de evaporación influye entonces en una mayor tasa de absorción de aceite en la papaya y, por ende, un mayor contenido final de grasa al comparar con los chips de piña analizados por Perez-Tinoco *et al.* (2008).

Al comparar estos resultados de contenido de grasa con los obtenidos en el estudio realizado por Wexler *et al.* (2016), en donde se elaboraron chips de papaya verde impregnados en jugo de mora, se observa como en este último caso se obtienen valores mucho menores. Al elaborar chips de papaya verde a una temperatura de 119 °C y un tiempo de fritura de 7,4 minutos (444 s) se obtienen valores de grasa de 13,53 g/100 g de producto (base seca); mientras que en esta investigación se obtienen valores mayores. Estas diferencias se pueden deber también a las diferencias en la matriz, ya que, a pesar de analizar papaya en ambas investigaciones, se utilizan estados de maduración muy diferentes, por lo que, como se explicó anteriormente, su composición varía.

Así como se explicó en la sección **6.1.3.**, durante la maduración de las papayas se da una serie de cambios que van a influir en el contenido final de aceite en el producto frito al vacío. En la investigación realizada por Wexler *et al.* (2016) se utilizó papaya verde, por lo que es de esperar que esta sea una materia prima más firme, menos porosa, con mayor cantidad de pectina, celulosa y almidón sin hidrolizar, a diferencia de las papayas en estado de madurez 4 utilizadas en este caso. En papayas en un estado de madurez avanzado se da una pérdida significativa de firmeza, degradación de pectina y de celulosa, además de la hidrólisis del almidón (Valero & Serrano, 2010, Fabi *et al.*, 2014, Annegowda & Bhat, 2016, Pareek, 2016), factores que, según Dueik *et al.* (2012), van a influir en una mayor absorción de aceite en el producto. Es por esta razón que al comparar los valores de contenido de grasa en ambas investigaciones se observan grandes diferencias entre los chips desarrollados.

Ahora bien, en el **Cuadro XXVI** se observan los parámetros de ajuste y bondad de los modelos de superficie de respuesta generados para cada una de las variables analizadas.

**Cuadro XXVI.** Parámetros de ajuste y bondad al generar los diferentes modelos de las variables analizadas aplicando el diseño de superficie de respuesta.

<b>Variable respuesta</b>	<b>p del modelo</b>	<b>R<sup>2</sup></b>	<b>R<sup>2</sup> adj</b>	<b>p falta de ajuste</b>	<b>Gráfica residuos</b>
<b>Humedad (g/100 g)</b>	0,191	0,717	0,354	0,357	aleatorio
<b>Grasa (g/100 g)</b>	0,255	0,683	0,274	0,272	aleatorio
<b>aw</b>	0,003	0,717	0,623	0,212	aleatorio
<b>Rend Fritura (%)</b>	0,503	0,566	0,009	0,129	aleatorio
<b>Rend Total (%)</b>	0,792	0,420	0,000	0,276	aleatorio
<b>L*</b>	<0,0001	0,800	0,772	0,324	aleatorio
<b>C*</b>	0,00010	0,792	0,744	0,340	aleatorio
<b>°h</b>	<0,0001	0,943	0,930	0,100	aleatorio
<b>ΔE</b>	0,00013	0,783	0,733	0,280	aleatorio

Para el análisis de una superficie de respuesta se requiere identificar los factores significativos, analizar la adecuación del modelo y así determinar la dirección de las condiciones óptimas de experimentación. Para analizar la bondad de ajuste del modelo de superficie de respuesta se utiliza un análisis de varianza (Jiménez Careaga, 2015).

Se observa que los modelos que fueron significativos ( $p < 0,05$ ) corresponden a las variables de aw, L\*, C\*, °h y el valor de ΔE. En cuanto al parámetro de R<sup>2</sup>, este hace referencia a qué tanto las variables independientes explican a las dependientes (Levin & Rubin, 2004); es una medida de qué tan bien se ajusta el modelo generado a los datos, en donde valores cercanos a 1 se relacionan con un muy buen ajuste. Sin embargo, en este parámetro se toman en cuenta todas las variables disponibles, en donde al aumentar este número de variables el coeficiente aumenta. Por esta razón usualmente se utiliza el parámetro ajustado para la comparación de diferentes modelos, el cual hace referencia a un R<sup>2</sup> pero ajustado al número de variables y al tamaño de la muestra (Triola, 2004). En este caso se puede observar que para las variables que resultaron significativas se obtienen los

mayores parámetros, principalmente en el caso de °h, en donde el modelo es capaz de explicar un 93 % de las variaciones de los resultados obtenidos.

La probabilidad de falta de ajuste, por su parte, es utilizada para determinar si el modelo seleccionado es adecuado para describir los datos en estudio, o si se debería usar otro modelo. Esta probabilidad se obtiene al comparar la variabilidad de los residuos con la variabilidad entre observaciones, en donde en este caso se buscan probabilidades mayores a 0,05 para análisis realizados al 95 % de confianza (Jiménez Careaga, 2015). En el **Cuadro XXVI** se observa que para todas las variables analizadas se dan probabilidades de falta de ajuste mayores a 0,05; por lo que los modelos descritos para el caso de aw y las variables de color parecen ser adecuados.

Otro aspecto a tomar en cuenta es la aleatoriedad de los residuos, ya que si no fuera así esto indicaría la existencia de otra variable independiente que no se está tomando en cuenta y que podría estar afectando el comportamiento de las variables dependientes (Cosialls, 2005), es decir, un factor que el modelo no explica. En este caso se observa que para todas las variables respuesta se presenta aleatoriedad en la distribución de los residuos, por lo que todos los factores que influyen sobre las variables respuesta se estarían tomando en cuenta (ver Anexo 2).

A pesar de que los resultados de L\*, C\* y °h resultaron significativos al realizar el análisis, para la generación del modelo se tomaron en cuenta solamente los valores de aw y ΔE. Esto se decide debido a que la diferencia entre dos patrones en el espacio de color da como resultado la diferencia total de color, es decir, el valor de ΔE, valor calculado a partir del teorema de Pitágoras (Fung & Hardcastle, 2001). Como en este caso se busca analizar el cambio de color en los chips fritos al vacío con respecto a las papayas frescas es de gran utilidad el cálculo de esta variable. Además, los valores de L, C\* y °h resultaron significativos, por lo que resulta de mayor facilidad en el análisis tomar en cuenta solamente una variable que sea capaz de explicar el comportamiento de las demás. Los modelos generados se observan a continuación.

**Ecuación 8.**  $Aw = 0,184386 - 0,018583T + 0,020976T^2 - 0,014386t + 0,015655t^2$

**Ecuación 9.**  $\Delta E = 17,181900 - 4,664290T + 3,814233 T^2 - 3,128893 t$

En la **Ecuación 8** se observa el modelo generado para describir el comportamiento de la variable respuesta de aw, en donde es significativo tanto el efecto lineal como el cuadrático de la temperatura y el tiempo de fritura. Se observa además que la temperatura y el tiempo poseen

efectos negativos en los valores de  $a_w$ , lo que indica que a mayor temperatura y tiempo de fritura el valor de  $a_w$  disminuye. En cuanto a los efectos cuadráticos se observan como los dos presentes en este caso poseen efectos positivos, es decir, en el gráfico que describe esta ecuación se da una curvatura en donde el valor de  $a_w$  disminuye al aumentar tanto el tiempo como la temperatura de fritura, hasta llegar a un punto mínimo, en donde a partir de este el valor de  $a_w$  aumenta en tiempos de fritura y temperatura mayores.

En la papaya hay una gran concentración de pectinas, compuestos que, como ya se explicó, están presentes en la lamela y son de suma importancia para la firmeza y estructura del fruto (Goulao *et al.*, 2010). La pectina es capaz de formar geles, razón por la cual es ampliamente utilizada para la producción de mermeladas y jaleas (Nussinovitch & Hirashima, 2013), ya que como lo explican Seymour y Knox (2002), juegan un papel relevante en la retención de agua. Es por esta razón, que en el proceso de fritura se cree que este compuesto puede llegar a ser de gran importancia, ya que va a retener una parte del agua presente en el producto. Ahora bien, dependiendo de factores como el pH y la temperatura, en las pectinas se pueden llevar a cabo una serie de reacciones químicas y modificaciones. Por ejemplo, en productos en los que se llevan a cabo procesos térmicos es de esperar la descomposición de la pectina presente por mecanismos no enzimáticos, como por ejemplo la  $\beta$ -eliminación, lo que da como resultado una pérdida en la funcionalidad de esta (Díaz *et al.*, 2007). Al aumentar la temperatura del ambiente aumenta la velocidad de la reacción de  $\beta$ -eliminación (Rao & Lopes da Silva, 2006), por lo que durante procesos de fritura al vacío en papaya es posible que al utilizar temperaturas o bien tiempos de fritura elevados se den reacciones de descomposición de las pectinas presentes en la fruta. Estas reacciones van a afectar la capacidad de retención de agua de las pectinas y, por ende, los chips presentarán valores de  $a_w$  mayores de lo esperado.

Por su parte, en la **Ecuación 9** se observa el modelo para la variable respuesta de  $\Delta E$ . En este caso se da un efecto cuadrático positivo en la temperatura, es decir, los valores de  $\Delta E$  disminuyen al aumentar las condiciones de temperatura en el proceso de fritura al vacío; sin embargo, se llega a un punto en donde estos valores aumentan en condiciones de temperatura mayores.

Esta disminución inicial en los valores de  $\Delta E$  van a estar influenciados por los valores de  $L^*$ ,  $C^*$  y  $^{\circ}h$ , y su variación durante los procesos de fritura. En este caso, al aumentar la temperatura de fritura o bien el tiempo los valores de  $L^*$ ,  $C^*$  y  $^{\circ}h$  disminuyen (ver Anexo 4). En el caso de la disminución en el valor de  $L^*$ , esto se relaciona con reacciones de Maillard. Al realizar ensayos de

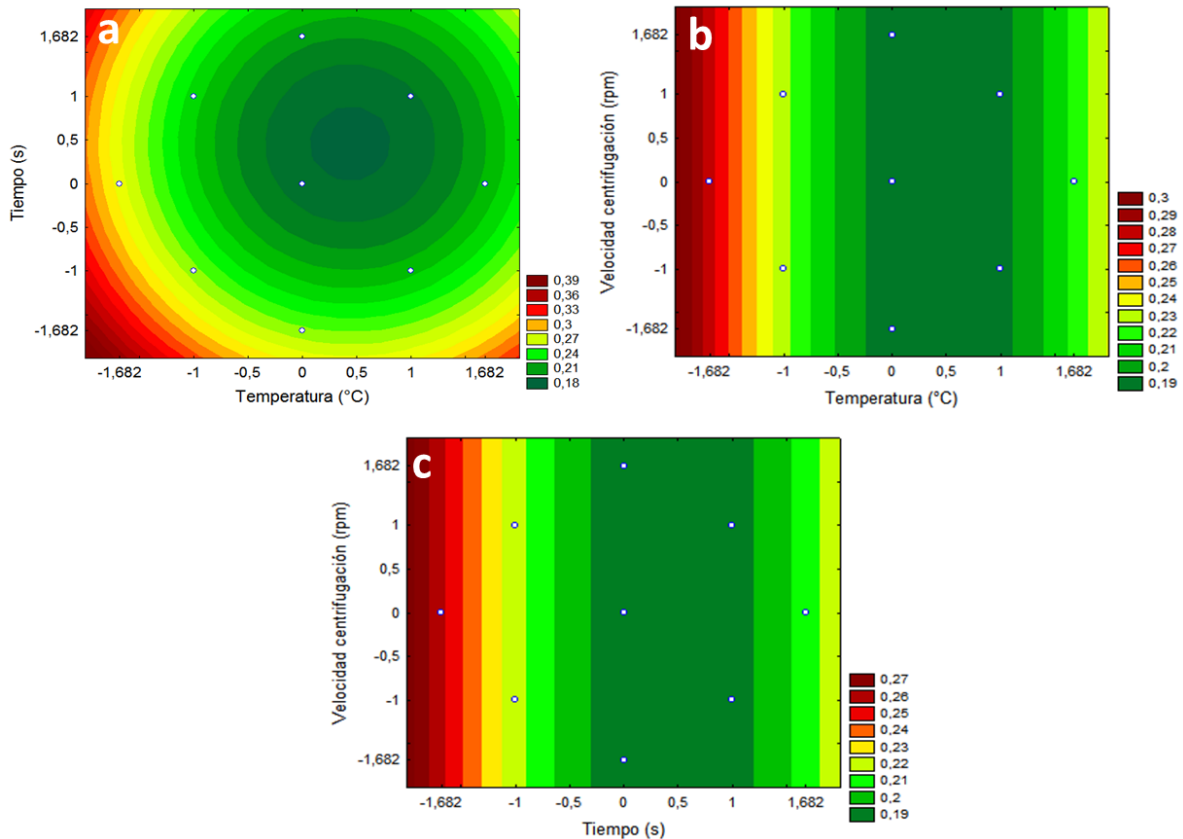


fritura al vacío con productos como papaya a temperaturas elevadas es de esperar que ocurran reacciones de Maillard, de igual manera al realizar estos ensayos bajo condiciones de tiempos de fritura elevados. Por esta razón, es de esperar que los resultados de estos ensayos sean chips con valores de  $L^*$  más bajos, lo que se relaciona con productos en los que ha ocurrido un oscurecimiento (Vassiliki *et al.*, 2014, Zerpa-Catanho *et al.*, 2017).

En el caso de los valores de  $C^*$  y  $^{\circ}h$  de igual manera se espera una disminución en ellos, ya que hacen referencia a una disminución en intensidad del color y tonalidad respectivamente. Como se explicó anteriormente, durante el proceso de fritura al vacío se da una degradación de carotenoides (Dueik *et al.*, 2010). Según Rodríguez-Amaya (2001), factores como el calor, la luz y los ácidos van a favorecer la isomerización de estos, principalmente de  $\beta$ -criptoxantina y  $\beta$ -caroteno (Acton, 2013), lo que da como resultado pérdida de color en el producto. Es por esta razón que al utilizar condiciones de temperatura o tiempo de fritura elevados se espera una disminución en la intensidad del color en los chips de papaya.

Ahora bien, todos los factores anteriormente explicados influyen entonces en la disminución inicial del valor de  $\Delta E$ ; sin embargo, en condiciones de temperatura mayores se da un aumento en este valor. Este aumento en  $\Delta E$  se podría relacionar nuevamente con reacciones de Maillard, en donde se empiezan a desarrollar colores no deseables en los chips de papaya (Vassiliki *et al.*, 2014). El resultado de estas reacciones son chips con un color diferente al color de la papaya fresca con el que se realiza la comparación, por lo que los valores de  $\Delta E$  aumentan y, por ende, se da un efecto cuadrático en la ecuación.

Es importante observar que el factor de velocidad de centrifugación no fue tomado en cuenta, ya que este no presentó efectos significativos en ninguno de los modelos descritos anteriormente. A continuación, en la **Figura 17** se observan los gráficos de superficie de respuesta para la variable de  $a_w$ .

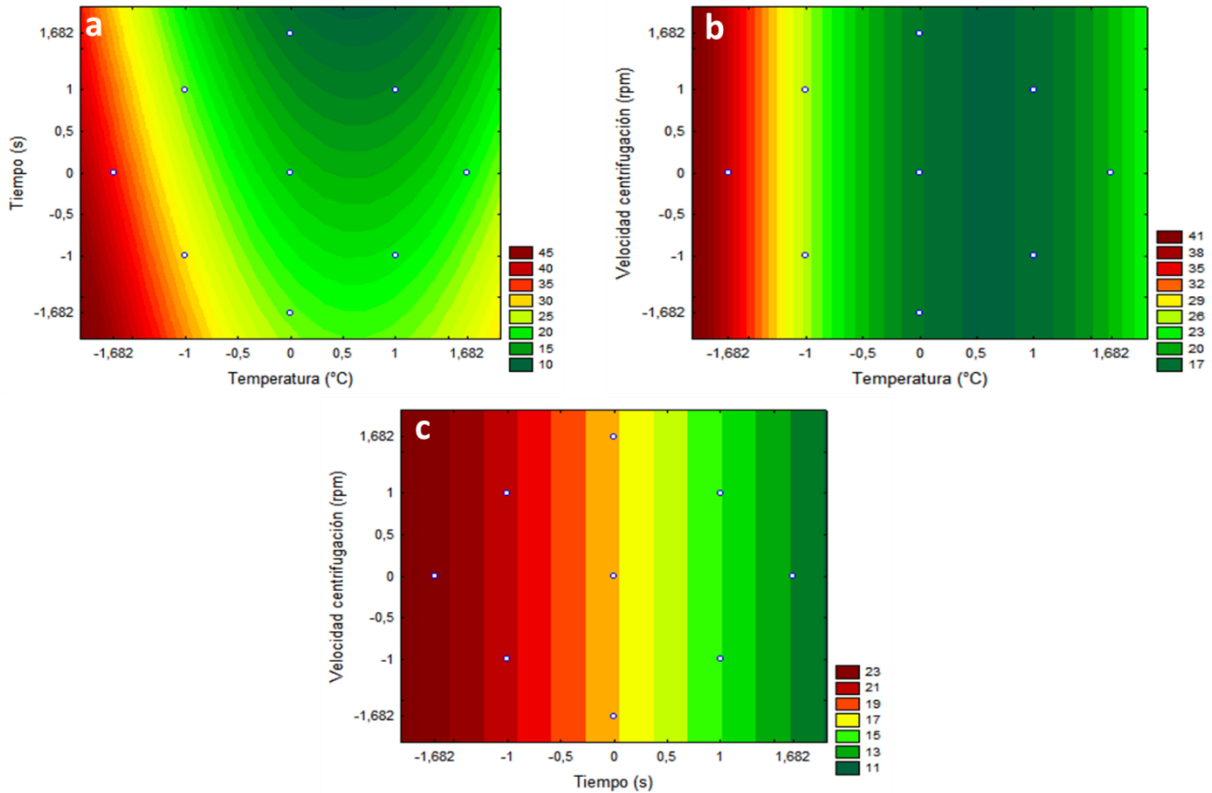


**Figura 17.** Superficie de respuesta generada a partir de los resultados de aw obtenidos analizando los factores de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación. (a) Efecto de los factores tiempo de fritura y temperatura. (b) Efecto de los factores velocidad de centrifugación y temperatura de fritura. (c) Efecto de los factores velocidad de centrifugación y tiempo de fritura. Rojo: mayor valor de aw; Verde: menor valor de aw. El tercer factor en cada gráfico se fijó en el valor del punto central.

En la **Figura 17** se presentan, de forma gráfica, los resultados explicados anteriormente para la variable respuesta de aw. Por ejemplo, se observa como los factores de tiempo y temperatura ejercen efectos importantes sobre esta variable, en donde al utilizar las condiciones más bajas de ambos factores se obtienen chips con los valores de aw mayores. Estos resultados no son deseables; ya que según Labuza (1982), a mayor valor de aw del producto frito mayor será su tasa de oxidación; por lo que valores de aw entre 0,4 y 0,5 hacen referencia a un producto no aceptable, mientras que al disminuir este valor su estabilidad aumenta. En todos los puntos analizados en este modelo se dan valores de aw menores a 0,4; sin embargo, se busca la optimización del proceso, por lo que se desean chips con valores de aw lo más bajos posible. En este

caso al utilizar una temperatura codificada de -1,682 y tiempos de fritura codificados cercanos a -1,682 se obtienen valores de  $a_w$  alrededor de 0,36; lo cual entonces no es deseable en este producto. Ahora bien, al utilizar condiciones medias se obtienen chips con valores de  $a_w$  más estables, en donde se puede observar que al utilizar temperaturas codificadas entre 0 y 1; y tiempos codificados de fritura entre 0 y 1 se obtienen menores valores de  $a_w$ , cercanos a 0,18, lo que hace referencia a productos fritos con mayor estabilidad.

Además, en la **Figura 17b** se observa cómo la velocidad de centrifugación posterior a la fritura no ejerce ningún efecto sobre el valor de  $a_w$  en los chips. Es posible observar cómo a un valor fijado de temperatura y de tiempo el valor de  $a_w$  no varía, independientemente del nivel de velocidad de centrifugación utilizado. Lo mismo sucede en la **Figura 17c**, ya que en este caso el valor de  $a_w$  en los chips será el mismo sin importar qué velocidad de centrifugación se utilice para cada tiempo analizado. A continuación, en la **Figura 18**, se observan las superficies de respuesta obtenidas para la variable de  $\Delta E$ .



**Figura 18.** Superficie de respuesta generada a partir de los resultados de  $\Delta E$  obtenidos analizando los factores de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación. (a) Efecto de los factores tiempo de fritura y temperatura. (b) Efecto de los factores velocidad de centrifugación y temperatura de fritura. (c) Efecto de los factores velocidad de centrifugación y tiempo de fritura. Rojo: mayor valor de  $\Delta E$ ; Verde: menor valor  $\Delta E$ . El tercer factor en cada gráfico se fijó en el valor del punto central.

En este caso se observan nuevamente efectos importantes en el caso de la temperatura y el tiempo de fritura. Por ejemplo, se observa que al utilizar temperaturas cercanas a -1,682 el tiempo no va a tener un efecto importante. Esto debido a que bajo estas condiciones de temperatura siempre se van a obtener chips con valores de  $\Delta E$  muy elevados, lo cual no es deseable, ya que se busca desarrollar un producto con tonalidades similares a las representativas de papaya fresca en estado de madurez 4. Esto ejemplifica la importancia de la temperatura en el proceso de fritura al vacío de papaya, en donde, como se explicó anteriormente, el color se podría relacionar con reacciones de Maillard y reacciones de isomerización de carotenoides, principalmente (Rodríguez-Amaya, 2001, Meléndez-Martínez *et al.*, 2004, Dueik *et al.*, 2010, Vassiliki *et al.*, 2014). Ahora bien,

es posible observar como al utilizar valores codificados de temperatura más elevados, por ejemplo, entre 0 y 1 y tiempos de fritura codificados cercanos a 1,682 se obtienen chips con valores de  $\Delta E$  bajos, lo que se quiere en este caso.

En estos gráficos es posible observar además que a partir de una temperatura codificada cercana a 1 los valores de  $\Delta E$  aumentan, lo que como ya se explicó se debe a la generación de colores no deseables en los chips de papaya frita, esto gracias a las reacciones de Maillard (Vassiliki *et al.*, 2014). Además, es posible que el valor de  $^{\circ}h$  influya en este caso, ya que en estudios como el realizado por Dueik y Bouchon (2011) se ha observado que al aumentar la temperatura de fritura en chips de zanahoria fritos al vacío se da un cambio en los valores de  $L^*$ ,  $a^*$  y  $b^*$ ; de forma tal que esto influye en un aumento en el parámetro de  $^{\circ}h$ . En este caso se da un enmascaramiento de la degradación de carotenoides por el desarrollo de las reacciones de Maillard.

En el caso de la **Figura 18b** y **Figura 18c** se observa que ocurre el mismo comportamiento con la velocidad de centrifugación, la cual no ejerce un efecto significativo sobre el valor de  $\Delta E$ , sin importar las condiciones de temperatura o tiempo de fritura que se utilicen.

### 8.2.1. Zonas Óptimas

A partir de los resultados presentados anteriormente en las superficies de respuesta de la **Figura 17** y **Figura 18** se definen rangos de los factores analizados, dentro de los cuales se obtienen chips con las características de  $a_w$  y  $\Delta E$  deseadas. A continuación, en el **Cuadro XXVII** se observan dichos rangos.

**Cuadro XXVII.** Rangos de los factores de temperatura, tiempo de fritura y velocidad de centrifugación para la obtención de la zona óptima de  $a_w$  y valor de  $\Delta E$  en los chips de papaya fritos al vacío.

Variables Respuesta	Factores codificados		
	Temperatura	Tiempo de fritura	Velocidad de centrifugación
$a_w$	0 – 1	0 - 1	-1,682 – 1,682
$\Delta E$	0 – 1	1 – 1,682	-1,682 – 1,682

Como anteriormente se explicó, al utilizar condiciones de temperatura o bien tiempos de fritura muy bajos se obtienen chips con valores de  $a_w$  altos, lo cual no es deseable principalmente

por la vida útil del producto. Además, se pudo observar también que al utilizar condiciones de tiempo y temperatura bajas se obtienen chips con valores de  $\Delta E$  muy altos, es decir, muy diferentes a lo deseado. A partir de estos resultados se establecen los rangos anteriormente presentados, los cuales especifican valores de temperatura y tiempo elevados, esto con el fin de obtener chips con las características deseadas.

En cuanto a la velocidad de centrifugación, como ya se pudo observar, este factor no es clave para la obtención de chips de papaya con valores de  $a_w$  y  $\Delta E$  deseados, ya que no ejerce un efecto significativo ( $p > 0,05$ ) sobre estas variables. Por esta razón, se observa en el **Cuadro XXVII** como el rango presentado incluye desde el menor hasta el mayor valor analizado.

#### 8.2.2. Validación de los modelos generados

Con el fin de validar los resultados presentados en cuanto a las variables respuesta de  $a_w$  y  $\Delta E$ , se tomó un punto dentro de la zona óptima, el cual se realizó por triplicado. Se determinó este punto al analizar los resultados obtenidos basándose tanto en factores técnicos como energéticos, en donde se busca minimizar tanto los valores de  $a_w$  como de  $\Delta E$ , con el fin de obtener chips con las características deseadas.

En cuanto a la temperatura de proceso, se decidió utilizar el valor codificado de 0, el menor valor dentro del rango para la obtención de la zona óptima de  $a_w$  y valor de  $\Delta E$ . A partir de este valor codificado de temperatura y hasta 1 se obtienen los valores deseados de  $a_w$  y  $\Delta E$ . En este caso se decide utilizar este valor menor, debido a que en este caso se dan menores costos energéticos, que al utilizar temperaturas mayores. En cuanto al tiempo de fritura se observa que el valor codificado de 1 es el límite superior del rango para la obtención de la zona óptima de  $a_w$  y el límite inferior para  $\Delta E$ ; por lo que se decidió utilizar este tiempo.

Ahora bien, como se explicó anteriormente, la velocidad de centrifugación no ejerce ningún efecto significativo sobre los valores de  $a_w$  y  $\Delta E$  ( $p > 0,05$ ). Por esta razón se puede utilizar cualquier valor dentro del rango establecido, ya que este factor no afecta los resultados obtenidos. En este caso se utilizó el valor central del rango, es decir, el valor codificado de 0.

A continuación, en el **Cuadro XXVIII** se observan los resultados obtenidos al realizar los chips de papaya con las condiciones óptimas establecidas, valor codificado de 0 para temperatura, 1 para tiempo de fritura y 0 para velocidad de centrifugación.

**Cuadro XXVIII.** Valores estimados de  $a_w$  y  $\Delta E$  a partir de los modelos de superficie de respuesta generados y valores experimentales obtenidos.

<b>Variables Respuesta</b>	<b>Valor Estimado*</b>	<b>Valor experimental**</b>
<b><math>a_w</math></b>	0,18 ± 0,05	0,16 ± 0,02
<b><math>\Delta E</math></b>	14 ± 6	19,5 ± 0,5

\*Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza calculado utilizando los coeficientes brindados por el programa Statistica 7 (Statsoft®, USA) al 95 % y al +95 %.

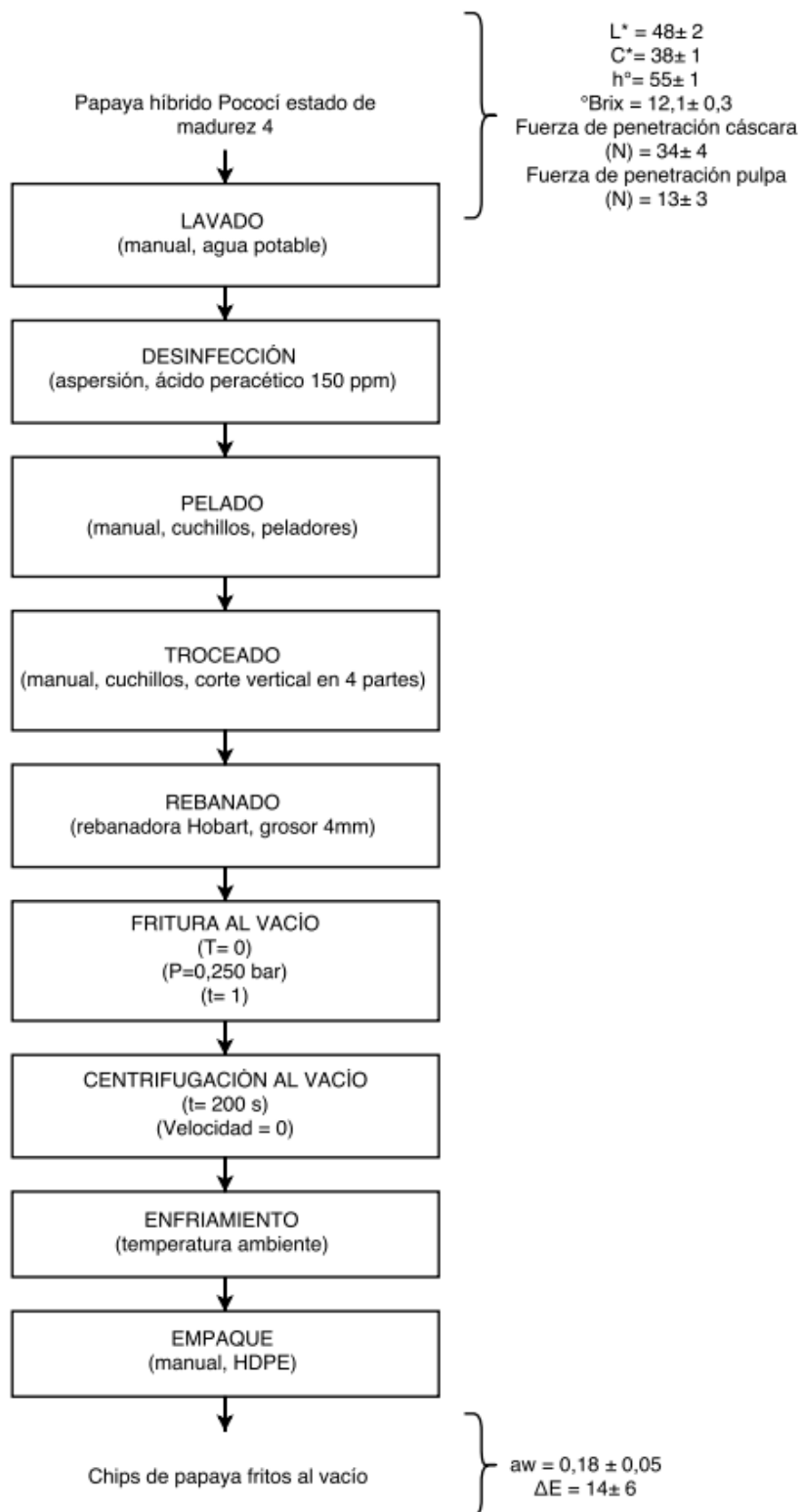
\*\* Valores expresados como promedio ± intervalo de confianza (n=3), con un nivel de confianza de 95 %.

Al realizar el proceso de fritura al vacío bajo las condiciones presentadas como óptimas se obtienen resultados experimentales que se comparan con los obtenidos a partir de la **Ecuación 8** y **Ecuación 9** para resultados estimados de  $a_w$  y  $\Delta E$  respectivamente. En el caso de  $a_w$  se observa en el **Cuadro XXVIII** que el valor estimado obtenido mediante el modelo generado es muy cercano al valor obtenido experimentalmente. En este caso se genera el traslape del intervalo de confianza del valor estimado con el valor experimental; por lo que los valores de  $a_w$  obtenidos al realizar la validación del modelo de superficie de respuesta se encuentran dentro del rango esperado a un 95 % de confianza.

Además, en el caso de los resultados para  $\Delta E$  se observa que el valor experimental se encuentra dentro del intervalo de confianza para los valores estimados mediante la ecuación de la superficie de respuesta. Es decir, en este caso el modelo también es capaz de predecir, en un 95 % de confianza, el valor de  $\Delta E$  en chips de papaya variedad Pococí en estado de madurez 4; esto al tomar en cuenta los niveles de los factores que se requieren.

Es importante tomar en cuenta que el procesamiento de los chips en todos los ensayos evaluados se realizó en diferentes días, por lo que se debieron utilizar papayas de diferentes lotes. Además, se utilizaron valores de referencia de los parámetros de  $L^*$ ,  $C^*$  y  $^{\circ}h$  de lotes de papaya diferentes, ya que la caracterización de la materia prima se llevó a cabo primeramente durante el desarrollo del proyecto. Sin embargo, a pesar de esto, se pudo observar en los resultados obtenidos que el modelo generado es capaz de predecir de forma adecuada las variables respuesta de  $a_w$  y  $\Delta E$ .

En la **Figura 19** se presenta un diagrama del proceso resumiendo las condiciones encontradas como óptimas durante la investigación



**Figura 19.** Flujo del proceso de chips de papaya fritos al vacío bajo las condiciones óptimas de proceso.



A continuación, se presenta un resumen de los principales resultados obtenidos en esta sección.

- Los valores de grasa obtenidos para los chips son muy elevados, mayores a datos reportados en chips de piña fritos al vacío y de papaya verde impregnados en jugo de mora.
- A partir del modelo generado para la variable respuesta de  $a_w$  se observa que este valor disminuye al aumentar tanto el tiempo como la temperatura de fritura, hasta llegar a un punto mínimo, en donde a partir de este el valor de  $a_w$  aumenta en tiempos de fritura y temperatura mayores. En cuanto a la variable  $\Delta E$  se observa una tendencia a disminuir con el aumento en temperatura y tiempo, en donde a partir de temperaturas codificadas cercanas a 1 estos valores aumentan. El factor de velocidad de centrifugación no ejerce un efecto significativo sobre el valor de  $\Delta E$  y de  $a_w$  ( $p > 0,05$ ).
- El punto óptimo se estableció a una temperatura codificada de 0; 1 para el tiempo de fritura y 0 de velocidad de centrifugación. Al realizar el proceso de fritura al vacío bajo estas condiciones se obtienen valores de  $a_w$  y  $\Delta E$  cercanos a los valores estimados obtenidos a partir de la generación del modelo. Los valores experimentales se encuentran dentro del rango esperado a un 95 % de confianza.

En general, el producto desarrollado durante este proyecto posee el potencial para llegar a cumplir con las necesidades del consumidor actual de snacks y así posicionarse en el mercado. Como ya se explicó, estos consumidores buscan alimentos más saludables y productos bajos en grasa; sin embargo, no están dispuestos a sacrificar las propiedades sensoriales (Dueik *et al.*, 2013).

La mayoría de los alimentos fritos presentan gran aceptación sensorial, principalmente por el sabor único que se imparte durante su proceso de elaboración, el cual no puede ser desarrollado mediante otros métodos (Kathleen, 2008). Sin embargo, en este mercado de productos fritos es necesario el desarrollo de tecnologías eficientes e innovadoras (Sikorski & Kolakowska, 2010), en donde la fritura al vacío se abre camino. Estos chips de papaya fritos al vacío no son la excepción, ya que a partir de los resultados obtenidos en el panel sensorial se observó una percepción positiva del producto con gran aceptación sensorial por parte del consumidor.

En los chips de papaya desarrollados se obtuvieron valores de contenido de grasa mayores de lo esperado; sin embargo, es posible realizar estudios e innovaciones referentes a esto, con el fin de obtener un producto con una menor absorción de aceite, lo que será más atractivo al consumidor en una posible transferencia a nivel industrial. Con este proyecto se busca abrir camino no solo a la

investigación y desarrollo de productos fritos al vacío a partir de materias primas costarricenses, sino también a un posible mercado internacional con gran potencial.

## 9. Conclusiones

- Durante la maduración de las papayas híbrido Pococí (en los estados 3, 4 y 5) se da una disminución en los valores de  $L^*$ , aumento en valores de  $C^*$ , disminución en la firmeza de pulpa y cáscara y un aumento general en el contenido de carotenoides. Variables como su composición proximal y sólidos solubles no son significativamente afectadas por este proceso.
- Las papayas híbrido Pococí cosechadas en la región del Pacífico y caracterizadas en este proyecto difieren en factores como sólidos solubles con las cosechadas en el Atlántico y analizadas por Salazar (2012). En este caso se dan valores de sólidos solubles mayores que en el caso de las papayas cosechadas en el Atlántico, mientras que otros factores como la fuerza de penetración en pulpa y cáscara en ambos estudios presenta un comportamiento similar.
- En papayas híbrido Pococí (en los estados 3, 4 y 5) de un mayor estado de madurez se obtienen menores rendimientos de pelado. Además, mayores valores de contenido de grasa en los chips de estado de madurez 5 provocan mayores rendimientos de fritura. En los chips con pretratamiento en una concentración de ácido málico del 2 % (m/v) se obtienen valores de contenido de grasa menores. Por esta razón se dan disminuciones en un 1,3 % en el rendimiento de fritura al compararlo con los chips sin el pretratamiento.
- En términos generales, los parámetros de color  $L^*$ ,  $C^*$  y  $^{\circ}h$  en los chips disminuyen con el avance de la maduración en las papayas; sin embargo, la adición de ácido málico no ejerce un efecto sobre estos resultados.
- El agrado general de los chips obtenidos a las condiciones evaluadas aumenta al utilizar papayas de estados de maduración más avanzados. Además, se obtienen mejores resultados sensoriales en los chips en los que no se realizó el pretratamiento con ácido málico, en donde esta diferencia se observa principalmente en chips de papaya de estado de madurez 3.
- Los chips fritos al vacío de papaya híbrido Pococí presentan valores de contenido de grasa mucho mayores a los reportados en la literatura sobre chips de otras frutas, por ejemplo, piña (Perez-Tinoco *et al.*, 2008) y papaya verde (Wexler *et al.*, 2016). Estos mayores

contenidos de grasa se dan debido a diferencias en la materia prima entre la papaya analizada en este proyecto y las materias primas de cada investigación.

- Al analizar las variables utilizadas en la aplicación del diseño de superficie de respuesta se tomaron en cuenta las variables de  $a_w$  y  $\Delta E$ , ya que estas se identificaron como factores significativos y además cumplieron con los parámetros de ajuste y bondad.
- A partir de los modelos generados se establece que para la obtención de chips de papaya fritos al vacío (a las condiciones evaluadas) con valores de  $a_w$  y  $\Delta E$  deseables, las condiciones óptimas de fritura al vacío son: valor codificado de 0 para la temperatura del proceso, 1 de tiempo de fritura y 0 de velocidad de centrifugación.

## 10. Recomendaciones

- En este caso no se cuentan con los datos sobre análisis proximales en las papayas híbrido Pococí cultivadas en el Atlántico, por lo que sería de gran utilidad llevar a cabo los análisis necesarios para una completa evaluación y comparación de características físico-químicas de papayas cultivadas en esta región y en la región del Pacífico, como las analizadas en el presente proyecto.
- Realizar estudios sobre la porosidad, así como análisis asociados a la caracterización de polisacáridos como contenido de almidón, pectina y celulosa de la papaya híbrido Pococí en diferentes estados de madurez. Esto con el fin de analizar la importancia de este factor sobre la absorción de grasa de los chips de papaya en estado de madurez 4 y en papaya verde.
- Investigar sobre posibles opciones para la disminución de la absorción de aceite en los chips de papaya. Para esto se podrían realizar ensayos de chips de papaya híbrido Pococí utilizando coberturas o bien algún pretratamiento que permita una disminución en su contenido final de grasa, con el fin de obtener un producto frito que satisfaga las necesidades del consumidor actual.
- Analizar diferentes condiciones de proceso, como por ejemplo otros tiempos de fritura, esto con el fin de definir un nuevo diseño de superficie de respuesta. Con esto se busca determinar si en puntos más alejados de los que se estudiaron en el proyecto se dan diferencias significativas en otras variables, por ejemplo, contenido final de grasa en los chips, además de incorporar la variable respuesta de contenido de carotenoides en los chips.

- Realizar ensayos con diferente carga inicial en el proceso de fritura al vacío, con el fin de analizar si esto afecta las características finales del producto.

## 11. Bibliografía

- ABBAS, K. A., LASEKAN, O. & KHALIL, S. K. 2010. The significance of glass transition temperature in processing of selected fried food products: A review. *Modern Applied Science*. 4(5): 3-21.
- ABUSHITA, A. A., H.G., D. & BIACS, P. A. 2000. Change in carotenoids and antioxidant vitamins in tomato as a function of varietal and technological factors. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 48(6): 2075-2081.
- ACTON, Q. A. 2013. Cyclohexenes—advances in research and application: 2013 edition: Scholarlybrief. ScholarlyEditions, Atlanta.
- AKOH, C. C. & MIN, D. B. 2008. *Food lipids: Chemistry, nutrition, and biotechnology*. Taylor & Francis, Estados Unidos.
- ALBERTINI, S., LAI REYES, A. E., TRIGO, J. M., SARRIÉS, G. A. & SPOTO, M. H. F. 2016. Effects of chemical treatments on fresh-cut papaya. *Food Chemistry*. 190(1): 1182-1189.
- ALMORA, K., PINO, J. A., HERNÁNDEZ, M., DUARTE, C., GONZÁLEZ, J. & RONCAL, E. 2004. Evaluation of volatiles from ripening papaya (*Carica papaya* L., var. Maradol roja). *Food Chemistry*. 86(1): 127-130.
- ANNEGOWDA, H. V. & BHAT, R. 2016. Composition of papaya fruit and papaya cultivars a2 - simmonds, monique s.J. *In* Preedy, V. R., *Nutritional composition of fruit cultivars*. Academic Press, San Diego. Cap. 21, pp. 497-516.
- AOAC 2005a. Official methods of analysis 18a ed. Method 932.12. Sólidos solubles. Maryland, Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC 2005b. Official methods of analysis 18a ed. Method 934.06. Humedad. Maryland, Association of Official Analytical Chemists
- AOAC 2005c. Official methods of analysis 18a ed. Method 920.152. Proteína. Maryland, Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC 2005d. Official methods of analysis 18a ed. . Method 985.29. Fibra dietética. Maryland, Association of Official Analytical Chemists.
- AOAC 2005e. Official methods of analysis 18a ed. Method 978.18. aw. Maryland, Association of Official Analytical Chemists.

- AOAC 2005f. Official methods of analysis 18a ed. Method 940.26. Cenizas. Maryland, Association of Official Analytical Chemists.
- BARREIRO, M. J., SANDOVAL, B.A. 2006. Aspectos bioquímicos. *In Operaciones de conservación de alimentos por bajas temperaturas*. Equinoccio. Cap. 2, pp. 21-46.
- BARTRINA, J. A., MAJEM, L. S., RODRIGO, C. P. & ANTA, R. M. O. 2006. Frutas, verduras y salud. *In* Masson, Barcelona, España. Cap. 1, pp. 1-18.
- BEAULIEU, J. & BALDWIN, E. 2002. Flavor and aroma of fresh-cut fruits and vegetables. *In* Fresh-cut fruits and vegetables. CRC Press. Cap. 12, pp. 392-415.
- BLANCO GOMIS, D. & ALONSO, J. J. M. 2004. Organic acids. *In* Handbook of food analysis. CRC Press. Cap. 19, pp. 573-601.
- BOGANTES, A. & MORA, E. 2006. Validación del rendimiento del híbrido de papaya "pococi" (*Carica papaya* L.) en el caribe de Costa Rica. *Revista Alcances Tecnológicos*. 4(1): 53-58.
- BOGANTES, A., MORA, E., UMAÑA, G. & LORÍA, C. L. 2011. Guía para el cultivo de papaya en Costa Rica. San José, Costa Rica, MAG/UCR/INTA.
- BOSKOU, D. & ELMADFA, I. 2016. Frying of food: Oxidation, nutrient and non-nutrient antioxidants, biologically active compounds and high temperatures, second edition. CRC Press, Estados Unidos.
- BREITHAUPT, D. E., WELLER, P., WOLTERS, M. & HAHN, A. 2003. Plasma response to a single dose of dietary beta-cryptoxanthin esters from papaya (*Carica papaya* L.) or non-esterified beta-cryptoxanthin in adult human subjects: A comparative study. *Br J Nutr*. 90(4): 795-801.
- BRON, I. U. & JACOMINO, A. P. 2006. Ripening and quality of 'golden' papaya fruit harvested at different maturity stages. *Brazilian Journal of Plant Physiology*. 18(3): 389-396.
- CARPENTER, D., NGEH-NGWAINBI, J. & LEE, S. 1993. Lipid analysis. Methods of Analysis for Nutrition Labeling. AOAC International.
- CITA 2009. Determinación de ácidos orgánicos por hplc. P-SA-MQ-043. Emisión N°1. San José, Costa Rica.
- CITA 2015a. Determinación de la actividad del agua (aw). P-SA-MQ-041. Emisión N°2. San José, Costa Rica.
- CITA 2015b. Fibra dietética total por el método enzimático. P-SA-MQ-007. Emisión °6. San José, Costa Rica.
- CITA 2015c. Grasa cruda por extracto etéreo. P-SA-MQ-005. Emisión N°6. San José, Costa Rica.

- CITA 2015d. Nitrógeno total por método kjeldahl utilizando equipo foss tecator. P-SA-MQ-003. Emisión N°6. San José, Costa Rica.
- CITA 2016. Azúcares por hplc. P-SA-MQ-006. Emisión N°11. San José.
- COSIALLS, L. S. 2005. Análisis estadístico mediante aplicaciones informáticas: Spss, stratgraphics, minitab y excel. Universitat de Barcelona. Publicacions i Edicions, España.
- CHOE, E. & MIN, D. B. 2007. Chemistry of deep-fat frying oils. *Journal of Food Science*. 72(5): R77-R86.
- DA SILVA, P. F. & MOREIRA, R. G. 2008. Vacuum frying of high-quality fruit and vegetable-based snacks. *LWT - Food Science and Technology*. 41(10): 1758-1767.
- DEVAHASTIN, S. 2011. Physicochemical changes of foods during frying: Novel evaluation techniques and effects of process parameters *In Physicochemical aspects of food engineering and processing*. CRC Press. Cap. 2, pp. 41-67.
- DIAMANTE, L., SHI, S., HELLMANN, A. & BUSCH, J. 2015. Vacuum frying foods: Products, process and optimization. *International Food Research Journal*. 22(1): 15-22.
- DÍAZ, J. V., ANTHON, G. E. & BARRET, D. M. 2007. Nonenzymatic degradation of citrus pectin and pectate during prolonged heating: Effects of ph, temperature, and degree of methyl esterification. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*. 55(13): 5131-5136.
- DIEHL, H. & SOCACIU, C. 2008. Instruments to analyze food colors. *In Handbook of food analysis instruments*. CRC Press. Cap. 11, pp. 229-243.
- DIXON, G. R. & ALDOUS, D. E. 2014. Horticulture: Plants for people and places, volume 1: Production horticulture. Springer Holanda.
- DUEIK, V. & BOUCHON, P. 2011. Vacuum frying as a route to produce novel snacks with desired quality attributes according to new health trends. *Journal of Food Science*. 76(2): E188-E195.
- DUEIK, V., MARZULLO, C. & BOUCHON, P. 2013. Effect of vacuum inclusion on the quality and the sensory attributes of carrot snacks. *LWT - Food Science and Technology*. 50(1): 361-365.
- DUEIK, V., MORENO, M. C. & BOUCHON, P. 2012. Microstructural approach to understand oil absorption during vacuum and atmospheric frying. *Journal of Food Engineering*. 111(3): 528-536.
- DUEIK, V., ROBERT, P. & BOUCHON, P. 2010. Vacuum frying reduces oil uptake and improves the quality parameters of carrot crisps. *Food Chemistry*. 119(3): 1143-1149.

- ENCISO, N. A., MARTÍNEZ, G. A. L. & AGROPECUARIA, C. C. D. I. 2003. El cultivo de la papaya en el piedemonte llanero: Guía de manejo para pequeños productores. CORPOICA, Colombia.
- ERCIYES, K. 2014. Data clustering. *In* Complex networks. CRC Press. Cap. 7, pp. 121-142.
- FABI, J. P., BROETTO, S. G., SILVA, S. L. G. L. D., ZHONG, S., LAJOLO, F. M. & DO NASCIMENTO, J. R. O. 2014. Analysis of papaya cell wall-related genes during fruit ripening indicates a central role of polygalacturonases during pulp softening. PLOS ONE. 9(8): e105685.
- FALLAS, R., BERTSCH, F. & BARRIENTOS, M. 2014. Curvas de absorción de nutrientes en papaya (*Carica papaya* L.) cv. "Pococi" en las fases de crecimiento vegetativo, floración e inicio de cosecha. *Agronomía Costarricense*. 38(2): 43-54.
- FAO. 2009. FAOSTAT Database of the Food and Agriculture Organization of the United Nations.
- FAO/WHO. 2002. Human vitamin and mineral requirements: Report of a joint FAO/WHO expert consultation.
- FOWLDS, R. W. R. 2002. Production of a food acid mixture containing fumaric acid. Google Patents.
- FUNG, W. & HARDCASTLE, M. 2001. Textiles in automotive engineering. Woodhead Publishing, Cambridge, Inglaterra.
- FURIA, T. E. 1973. CRC handbook of food additives, second edition. Taylor & Francis, Estados Unidos.
- GADIRAJU, T. V., PATEL, Y., GAZIANO, J. M. & DJOUSSÉ, L. 2015. Fried food consumption and cardiovascular health: A review of current evidence. *Nutrients*. 7(10): 8424-8430.
- GALBRAITH, J. I. 2008. Cluster analysis. *In* Analysis of multivariate social science data, second edition. Chapman and Hall/CRC. Cap. 2, pp. 17-53.
- GALLEGO, R. S. 2003. Introducción al análisis de datos experimentales: Tratamiento de datos en bioensayos. Universitat Jaume I, Francia.
- GARAYO, J. & MOREIRA, R. 2002. Vacuum frying of potato chips. *Journal of Food Engineering*. 55(2): 181-191.
- GAYOSSO-GARCÍA SANCHO, L. E., YAHIA, E. M. & GONZÁLEZ-AGUILAR, G. A. 2011. Identification and quantification of phenols, carotenoids, and vitamin C from papaya (*Carica papaya* L., cv. Maradol) fruit determined by hplc-dad-ms/ms-esi. *Food Research International*. 44(5): 1284-1291.
- GEBHARDT, S. E. & THOMAS, R. G. 2002. Nutritive value of foods. U.S. Department of Agriculture, A. R. S. Beltsville, Maryland, Home and Garden Bulletin 72.
- GLOBAL INDUSTRY ANALYSTS. 2015. Snack foods A Global Strategic Business Report 'Recuperado' 'Internet:' <http://www.strategyr.com/pressMCP-2223.asp>.

- GOKTURK, B. N. 2006. Organic acid, tocopherol and phenolic compositions of some turkish grape cultivars. *Chemistry of Natural Compounds*. 42(2): 156-159.
- GOMEZ, M., LAJOLO, F. & 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.
- GONZÁLEZ, C. G. & FELPETO, C. 2006. Tratamiento de datos. Díaz de Santos, España.
- GOULAO, L., ALMEIDA, D. & OLIVEIRA, C. 2010. Effect of enzymatic reactions on texture of fruits and vegetables. *In Enzymes in fruit and vegetable processing*. CRC Press. Cap. 4, pp. 71-122.
- GRANDA, C., MOREIRA, R. G. & TICHY, S. E. 2004. Reduction of acrylamide formation in potato chips by low-temperature vacuum frying. *Journal of Food Science*. 69(8): E405-E411.
- GRAS, J. A. 1996. Métodos y técnicas avanzadas de análisis de datos en ciencias del comportamiento. Universitat de Barcelona, España.
- GULUM SUMNU, S. & SAHIN, S. 2008. Alternative frying technologies. *In Advances in deep-fat frying of foods*. CRC Press. Cap. 13, pp. 289-302.
- HELDMAN, D. R. 2003. Encyclopedia of agricultural, food, and biological engineering Taylor & Francis, Nueva Jersey, Estados Unidos.
- HERNÁNDEZ, Y., LOBO, M. G. & GONZÁLEZ, M. 2006. Determination of vitamin c in tropical fruits: A comparative evaluation of methods. *Food Chemistry*. 96(4): 654-664.
- ICE. 2006. Informe final consultoría solar potencial solar. Instituto Costarricense de Electricidad. San José, Costa Rica.
- IKRAM, E. H. K., STANLEY, R., NETZEL, M. & FANNING, K. 2015. Phytochemicals of papaya and its traditional health and culinary uses – a review. *Journal of Food Composition and Analysis*. 41(1): 201-211.
- INIESTRA-GONZÁLEZ, J. J., LINO-LÓPEZ, G. J., PAULL, R. E., DE LA ROSA, A. P. B., MANCILLA-MARGALLI, N. A., SAÑUDO-BARAJAS, J. A., IBARRA-JUNQUERA, V., CHEN, N. J., HERNÁNDEZ-VELASCO, M. Á. & OSUNA-CASTRO, J. A. 2013. Papaya endoxylanase biochemical characterization and isoforms expressed during fruit ripening. *Postharvest Biology and Technology*. 81(1): 13-22.
- JIMÉNEZ CAREAGA, M. G. 2015. Superficies de respuesta mediante un diseño central compuesto. *Revista Varianza*. 31-36.
- JIMÉNEZ, J. A. 2002. Manual práctico para el cultivo de la papaya hawaina. Universidad EARTH, Costa Rica.



- KATHLEEN, W. 2008. Flavor changes during frying. *In* Advances in deep-fat frying of foods. CRC Press. Cap. 9, pp. 201-213.
- LABUZA, T. P. 1982. Shelf-life dating of foods. Food & Nutrition Press, Estados Unidos.
- LADO, J., CRONJE, P., ALQUEZAR, B., PAGE, A., MANZI, M., GOMEZ-CADENAS, A., STEAD, A. D., ZACARIAS, L. & RODRIGO, M. J. 2015. Fruit shading enhances peel color, carotenes accumulation and chromoplast differentiation in red grapefruit. *Physiol Plant*. 154(4): 469-84.
- LANDRUM, J., BONE, R. & HERRERO, C. 2002. Astaxanthin,  $\beta$ -cryptoxanthin, lutein, and zeaxanthin. *In* Phytochemicals in nutrition and health. CRC Press. Cap. 12, pp. 173-192.
- LAWLESS, H. T. 2013. Quantitative sensory analysis: Psychophysics, models and intelligent design. Wiley, Estados Unidos.
- LAWLESS, H. T. & HEYMANN, H. 2010. Sensory evaluation of food: Principles and practices. Springer New York, Estados Unidos.
- LAZAN, H., ALI, Z. M., LIANG, K. S. & YEE, K. L. 1989. Polygalacturonase activity and variation in ripening of papaya fruit with tissue depth and heat treatment. *Physiologia Plantarum*. 77(1): 93-98.
- LEVIN, R. I. & RUBIN, D. S. 2004. Estadística para administración y economía. Pearson Educación, México.
- LI, J., CHENG, J., ZHANG, Y. & GOPALAKRISHNAKONE, P. 2009. Influence of vacuum on the formation of porous polymer films via water droplets templating. *Colloid and Polymer Science*. 287(1): 29-36.
- LIU-PING, F., ZHANG, M. & MUJUMDAR, A. S. 2005. Vacuum frying of carrot chips. *Drying Technology*. 23(3): 645-656.
- LIUPING, F., MIN, Z. & ARUN, S. M. 2009. Vacuum frying technology. *In* Innovation in food engineering. CRC Press. Cap. 13, pp. 411-435.
- LOPETCHARAT, K. & MCDANIEL, M. 2011. Sensory analysis of foods. *In* Methods of analysis of food components and additives, second edition. CRC Press. Cap. 12, pp. 309-348.
- MARISCAL, M. & BOUCHON, P. 2008. Comparison between atmospheric and vacuum frying of apple slices. *Food Chemistry*. 107(4): 1561-1569.
- MEILGAARD, M. C., CARR, B. T. & CIVILLE, G. V. 2006. Sensory evaluation techniques, fourth edition. Taylor & Francis, Estados Unidos.

- MELÉNDEZ-MARTÍNEZ, A. J., VICARIO, I. M. & HEREDIA, F. J. 2004. Estabilidad de los pigmentos carotenoides en los alimentos. *Archivos Latinoamericanos de Nutrición*. 54(2): 209-215.
- MENA, S. 2016. Monitoreo de mercados papaya. Consejo Nacional de Producción. Costa Rica.
- MING, R. & MOORE, P. H. 2013. Genetics and genomics of papaya. Springer New York, Estados Unidos.
- MIRKIN, B. 2005a. K means clustering. *In* Clustering for data mining. Chapman and Hall/CRC. Cap. 3, pp. 75-110.
- MIRKIN, B. 2005b. Ward hierarchical clustering. *In* Clustering for data mining. Chapman and Hall/CRC. Cap. 4, pp. 111-136.
- MONTERO, A. 2005 Situación de la fruticultura en Costa Rica. Segundo Foro Internacional: Agronegocios de frutas tropicales. El Salvador. IICA.
- MONTGOMERY, D. C. 2004. Métodos para superficies de respuesta. Limusa, México D.F.
- MORA, E. & BOGANTES, A. 2004. Evaluación de híbridos de papaya. *Agronomía Mesoamericana*. 15(1): 39-44.
- MOREIRA, R. 2012. Vacuum frying of fruits applications in fruit processing. *In* Advances in fruit processing technologies. CRC Press. Cap. 13, pp. 331-344.
- MOREIRA, R., CASTELL-PEREZ, M. E., BARRUFET, M. A. 1999. Deep fat frying : Fundamentals and applications. Springer, Aspen.
- MOREIRA, R. G., DA SILVA, P. F. & GOMES, C. 2009. The effect of a de-oiling mechanism on the production of high quality vacuum fried potato chips. *Journal of Food Engineering*. 92(3): 297-304.
- MOREIRA, R. G., SUN, X. & CHEN, Y. 1997. Factors affecting oil uptake in tortilla chips in deep-fat frying. *Journal of Food Engineering*. 31(4): 485-498.
- MOZAFFARIAN, D., EMELIA J. BENJAMIN, E.J., GO, A., ARNETT, D.K., BLAHA, M.J., CUSHMAN, M., DAS, S.R., DE FERRANTI, S., DESPRÉS, J.P., FULLERTON, H.J., HOWARD, V.J., HUFFMAN, M.D., ISASI, C.R., JIMÉNEZ, M.C., JUDD, S.E., KISSELA, B.M., LICHTMAN, J.H., LISABETH, L.D., LIU, S., MACKEY, R.H., DAVID J. MAGID, DARREN K. MCGUIRE, EMILE R. MOHLER, CLAUDIA S. MOY, PAUL MUNTNER, MICHAEL E. MUSSOLINO, KHURRAM NASIR, ROBERT W. NEUMAR, GRAHAM NICHOL, LATHA PALANIAPPAN, DILIP K. PANDEY, MATHEW J. REEVES, CARLOS J. RODRIGUEZ, WAYNE ROSAMOND, PAUL D. SORLIE, JOEL STEIN, AMYTIS TOWFIGHI, TANYA N. TURAN, SALIM S. VIRANI, DANIEL WOO, ROBERT W. YEH, MELANIE B. TURNER. 2016.

- Heart disease and stroke statistics—2016 update: A report from the american heart association. *Circulation*. 133(4): 38-360.
- MUJUMDAR, A. S. 2014. Handbook of industrial drying, fourth edition. CRC Press, Estados Unidos.
- MUÑOZ, V. V. 2013, Efecto del tratamiento térmico para la exportación al mercado de estados unidos sobre la maduración y la calidad de frutos de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido "pococi" con diferentes índices de cosecha. Licenciatura en Ingeniería Agronómica Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- NIELSEN. 2014, 17/10/2014. A nivel global las ventas de *snacks* alcanzan \$347 mil millones de dólares anuales. 'Recuperado' 14 de Agosto, 2017. 'Internet:' <http://www.nielsen.com/ec/es/press-room/2014/ventas-globales-snacks.html>.
- NOZAL, M. J. 2003. Determination of oxalic acid and other organic acids in honey and in some anatomic structures of bees. *Apidologie*. 34(2): 181-188.
- NUSSINOVITCH, A. & HIRASHIMA, M. 2013. Pectin. *In* Cooking innovations: Using hydrocolloids for thickening, gelling, and emulsification. CRC Press. Cap. 13, pp. 209-230.
- OWUSU-APENTEN, R. 2004. Introduction to food chemistry. Taylor & Francis, Estados Unidos.
- PAREEK, S. 2016. Ripening physiology: An overview. *In* Postharvest ripening physiology of crops. CRC Press. Cap. 1, pp. 1-48.
- PEREZ-TINOCO, M. R., PEREZ, A., SALGADO-CERVANTES, M., REYNES, M. & 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(6): 945-953.
- PIMA 2012. Tendencias de consumo de frutas, hortalizas, pescado y mariscos en las familias de Costa Rica Costa Rica, PIMA-CENADA.
- PINTHUS, E. J. & SAM SAGUY, I. 1994. Initial interfacial tension and oil uptake by deep-fat fried foods. *Journal of Food Science*. 59(4): 804-807.
- POLL, L., PETERSEN, M. & NIELSEN, G. S. 2003. Influence of harvest year and harvest time on soluble solids, titrateable acid, anthocyanin content and aroma components in sour cherry (*Prunus cerasus* L. Cv. "Stevnsbær"). *European Food Research and Technology*. 216(3): 212-216.
- RAMÍREZ-NAVAS, J. S. 2012. Análisis sensorial: Pruebas orientadas al consumidor. *Revista ReCiTeIA*. 12(1): 84-102.
- RAO, M. A. & LOPES DA SILVA, J. A. 2006. Pectins. *In* Food polysaccharides and their applications. CRC Press. Cap. 11, pp. 353-411.



- RODRIGUEZ-AMAYA, D. B. 2001. A guide to carotenoid analysis in foods. ILSI Press, Washington, Estados Unidos.
- RODRÍGUEZ, M. D., ARIZA, A. L. G., PÉREZ, A. H. & MORA, M. E. D. 2013. Introducción al análisis estadístico multivariado. Editorial Universidad del Norte, Colombia.
- ROSANA, G. M. 2012. Vacuum frying of fruits applications in fruit processing. *In* Advances in fruit processing technologies. CRC Press. Cap., pp. 331-344.
- SAHIN, S. & SUMNU, S. G. 2007. Physical properties of foods. Springer New York, Estados Unidos.
- SALAZAR, D. 2012, Establecimiento de la escala de madurez y potencial de vida útil durante el almacenamiento de papaya (*Carica papaya* L.) híbrido pococí. Licenciatura en Ingeniería Agronómica con énfasis en Fitotecnia Universidad de Costa Rica. Costa Rica.
- SALUNKHE, D. K. & KADAM, S. S. 1995. Handbook of fruit science and technology: Production, composition, storage, and processing. Taylor & Francis,
- SCHREIER, P. & SCHWAB, W. 2002. Enzymic formation of flavor volatiles from lipids. *In* Lipid biotechnology. CRC Press. Cap. 15, pp. 293-318.
- SCHWEIGGERT, R. M., KOPEC, R. E., VILLALOBOS-GUTIERREZ, M. G., HÖGEL, J., QUESADA, S., ESQUIVEL, P., SCHWARTZ, S. J. & CARLE, R. 2014. Carotenoids are more bioavailable from papaya than from tomato and carrot in humans: A randomised cross-over study. *The British Journal of Nutrition*. 111(3): 490-498.
- SCHWEIGGERT, R. M., MEZGER, D., SCHIMPF, F., STEINGASS, C. B. & CARLE, R. 2012a. Influence of chromoplast morphology on carotenoid bioaccessibility of carrot, mango, papaya, and tomato. *Food Chemistry*. 135(4): 2736-2742.
- SCHWEIGGERT, R. M., STEINGASS, C. B., ESQUIVEL, P. & CARLE, R. 2012b. Chemical and morphological characterization of Costa Rican papaya (*Carica papaya* L.) hybrids and lines with particular focus on their genuine carotenoid profiles. *J Agric Food Chem*. 60(10): 2577-85.
- SCHWEIGGERT, R. M., STEINGASS, C. B., HELLER, A., ESQUIVEL, P. & CARLE, R. 2011a. Characterization of chromoplasts and carotenoids of red- and yellow-fleshed papaya (*Carica papaya* L.). *Planta*. 234(5): 1031–1044.
- SCHWEIGGERT, R. M., STEINGASS, C. B., MORA, E., ESQUIVEL, P. & CARLE, R. 2011b. Carotenogenesis and physico-chemical characteristics during maturation of red fleshed papaya fruit (*Carica papaya* L.). *Food Research International*. 44(5): 1373-1380.

- SELVARAJ, Y., PAL, D. K., SUBRAMANYAM, M. D. & IYER, C. P. A. 1982. Changes in the chemical composition of four cultivars of papaya (*Carica papaya* L.) during growth and development. *Journal of Horticultural Science*. 57(1): 135-143.
- SELVENDRAN, R. R. & MACDOUGALL, A. J. 1995. Cell-wall chemistry and architecture in relation to sources of dietary fibre. *European Journal of Clinical Nutrition*. 49(3): 27-41.
- SEYMOUR, G. B. & KNOX, J. P. 2002. Pectins and their manipulation. Blackwell, Estados Unidos.
- SEYMOUR, G. B., TAYLOR, J. E. & TUCKER, G. A. 2012. Biochemistry of fruit ripening. Springer, Holanda.
- SIKORSKI, Z. Z. E. & KOLAKOWSKA, A. 2010. Frying fats. *In* Chemical and functional properties of food lipids. CRC Press. Cap. 16, pp. 325-343.
- SINHA, N., SIDHU, J., BARTA, J., WU, J. & CANO, M. P. 2012. Handbook of fruits and fruit processing. John Wiley & Sons, Estados Unidos.
- SOLANO, J. & VILLALOBOS, R. 2000. Regiones y subregiones climaticas de Costa Rica. Gestión de desarrollo, instituto meteorológico nacional.
- SOUZA, L. M. D., FERREIRA, K. S., CHAVES, J. B. P. & TEIXEIRA, S. L. 2008. L-ascorbic acid, <sup>2</sup>-carotene and lycopene content in papaya fruits (*Carica papaya* L.) with or without physiological skin freckles. *Scientia Agricola*. 65(3): 246-250.
- SULLIVAN, D. M. & CARPENTER, D. E. 1993. Methods of analysis for nutrition labeling. AOAC International,; 455-534.
- SUMNU, S. G. & SAHIN, S. 2008. Advances in deep-fat frying of foods. CRC Press, Estados Unidos.
- TERUEL, M. R., GARCÍA-SEGOVIA, P., MARTÍNEZ-MONZÓ, J., LINARES, M. B. & GARRIDO, M. D. 2014. Use of vacuum-frying in chicken nugget processing. *Innovative Food Science & Emerging Technologies*. 26(1): 482-489.
- TRIOLA, M. F. 2004. Correlación y regresión. *In* Estadística. Pearson Educación, México. Cap. 9, pp. 494-563.
- TRONCOSO, E. & PEDRESCHI, F. 2009. Modeling water loss and oil uptake during vacuum frying of pre-treated potato slices. *LWT - Food Science and Technology*. 42(6): 1164-1173.
- U.S. DEPARTMENT OF AGRICULTURE AGRICULTURAL RESEARCH SERVICE. 2014, 15/8/2016. Usda national nutrient database for standard reference, release 27. 'Recuperado' 16 de Febrero, 2017. 'Internet:' <https://www.ars.usda.gov/northeast-area/beltsville-md/beltsville-human-nutrition-research-center/nutrient-data-laboratory/docs/sr27-home-page/>.

- UMAÑA, G., LORÍA, C. L. & GÓMEZ, J. C. 2011. Efecto del grado de madurez y las condiciones de almacenamiento sobre las características fisicoquímicas de la papaya híbrido pococí. *Agronomía Costarricense*. 35(2): 61-73.
- VALERO, D. & SERRANO, M. 2010. Fruit ripening. *In* Postharvest biology and technology for preserving fruit quality. CRC Press. Cap. 2, pp. 7-47.
- VARGAS, A. 2015. Proyecto de chips fritos al vacío para exportación en Costa Rica. Proyecto CEPAL-FIDA (M042) Fortalecimiento de cadenas de valor. Costa Rica.
- VASSILIKI, O., MAGDALINI, K. & DIMITRIS, M.-K. 2014. Frying of foods. *In* Handbook of industrial drying, fourth edition. CRC Press. Cap. 59, pp. 1189-1207.
- VELIOGLU, Y. S. 2009. Food acids. *In* Advances in food biochemistry. CRC Press. Cap. 10, pp. 313-339.
- WEXLER, L., PEREZ, A. M., CUBERO-CASTILLO, E. & VAILLANT, F. 2016. Use of response surface methodology to compare vacuum and atmospheric deep-fat frying of papaya chips impregnated with blackberry juice. *CyTA - Journal of Food*. 14(4): 578-586.
- WONGMETHA, O., KE, L.-S. & LIANG, Y.-S. 2015. The changes in physical, bio-chemical, physiological characteristics and enzyme activities of mango cv. Jinhwang during fruit growth and development. *NJAS - Wageningen Journal of Life Sciences*. 73(1): 7-12.
- WOODROOF, J. 2012. Commercial fruit processing. Springer, Holanda.
- YAHIA, E. M. 2011. Postharvest biology and technology of tropical and subtropical fruits: Mangosteen to white sapote. Woodhead Publishing Series in Food Science, Technology and Nutrition, Estados Unidos.
- YAHIA, E. M. & ORNELAS-PAZ, J. D. J. 2009. Chemistry, stability, and biological actions of carotenoids. *In* Fruit and vegetable phytochemicals. Wiley-Blackwell. Cap. 7, pp. 177-222.
- ZERPA-CATANHO, D., ESQUIVEL, P., MORA-NEWCOMER, E., SÁENZ, M. V., HERRERA, R. & JIMÉNEZ, V. M. 2017. Transcription analysis of softening-related genes during postharvest of papaya fruit (*Carica papaya* L. 'Pococí' hybrid). *Postharvest Biology and Technology*. 125(1): 42-51.

## 12. Anexos

### Anexo 1. Fichas técnicas del ácido cítrico y ácido málico utilizados.

	<b>FICHA TÉCNICA ACIDO CITRICO ANHIDRO</b>		Código: FT MI 004
	Elaborado por: Alejandro Mesén	Revisado por: Julio Ortega	Firma de aprobación: 
			Página 1 de 5
			Fecha de elaboración: Octubre, 2015
			Fecha última versión: Mayo, 2017

#### 1. Producto

**Nombre del producto:** Ácido cítrico anhidro

**Fórmula química:** C<sub>6</sub>H<sub>8</sub>O<sub>7</sub>

**E NO:**330

**Fabricante:** Weifang Ensing Industry Co. Ltd.

**País de origen:** China

**Notificación de Materia Prima:** MPA-CN-17-00652

#### 2. Descripción

Es un buen conservante, antioxidante natural, acidificante y regulador de pH que se añade industrialmente como aditivo en el envasado de muchos alimentos.

#### 3. Ingredientes

Este producto está compuesto de ácido cítrico.

#### 4. Características sensoriales

Características	Método	Especificaciones
Apariencia	AOAC	Polvo cristalino
Color	AOAC	Blanco
Olor	AOAC	Característico
Sabor	AOAC	Característico

#### 5. Características físicas/químicas

Características	Método	Especificaciones
Identificación	AOAC	Pasa la prueba
Apariencia de la solución	AOAC	Pasa la prueba
Análisis	AOAC	% 99.5~100.5
Humedad	AOAC	% ≤0.2
Sustancias fácilmente carbonizables	A @470 nm	AOAC ---- ≤0.52
	T @470 nm	% ≥30
Sulfato	AOAC	ppm ≤150
Oxalato	AOAC	ppm ≤100
Ceniza Sulfatada	AOAC	% ≤0.05
	AOAC	
	AOAC	

	<b>FICHA TÉCNICA ÁCIDO MÁLICO DL</b>			Código: FT MI 006
	Elaborado por: Alejandro Mesén	Revisado por: Julio Ortega	Firma de aprobación: 	Página: 1 de 3 Fecha de elaboración: Octubre, 2015 Fecha última versión: Mayo, 2017

### 1. Producto

**Nombre del producto:** Ácido Málico DL

**Fórmula química:**  $C_4H_6O_5$

**CAS NO.:** 617-48-1

**E NO:**296

**Fabricante:** CHANGMAO BIOCHEMICAL ENGINEERING COMPANY LIMITED

**Pais de origen:** China

**Notificación de Materia Prima:** MPA-CN-17-01428

### 2. Descripción

Se emplea como aditivo, específicamente como acidulante saborizante y estabilizante. El ácido málico algunas veces se utiliza en la industria cosmética para ajustar el pH.

### 3. Ingredientes

Este producto está compuesto de ácido málico.

### 4. Características sensoriales

Características	Método	Especificaciones
Apariencia	AOAC	Polvo cristalino
Color	AOAC	Blanco
Olor	AOAC	Característico

### 5. Características físicas/químicas

Características	Método	Especificaciones
Análisis (como $C_4H_6O_5$ )	AOAC	99.0-100.5 %
Ácido fumárico	AOAC	≤ 1.0 %
Ácido málico	AOAC	≤ 0.05 %
Materiales insolubles en agua	AOAC	≤ 0.1 %
Residuos por ignición	AOAC	≤ 0.1 %
Rotación específica	AOAC	-0.10~+0.10

### 6. Características microbiológicas

No aplica

### 7. Especificaciones Metales Pesados

Características	Método	Especificaciones
Arsénico	AOAC	≤ 2 mg/kg
Plomo	AOAC	≤ 2 mg/kg



**Anexo 2.** Probabilidades asociadas a variables de respuesta analizadas para determinar el efecto del estado de madurez de las papayas y la adición de ácido málico sobre las características de los chips.

**Cuadro XXIX.** Probabilidades asociadas a los resultados obtenidos a partir del análisis del contenido de grasa y aw en los chips de cada estado de madurez y concentración de ácido málico utilizada.

<b>Variables respuesta</b>	<b>Estado de madurez</b>	<b>Concentración de ácido málico</b>
Aw	0,4203	0,0726
grasa	0,4088	0,3396

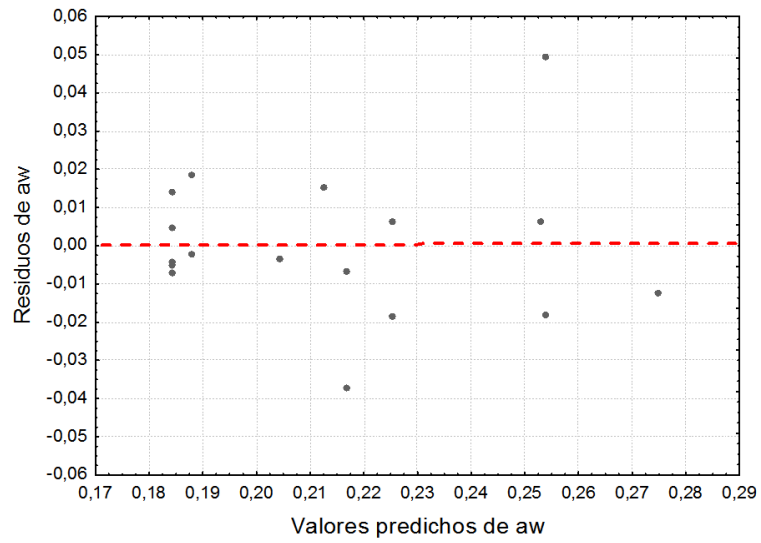
\*Significativo, con un nivel de confianza del 95 %.

**Cuadro XXX.** Probabilidades asociadas a los resultados obtenidos a partir de la prueba sensorial para cada uno de los Clusters analizados.

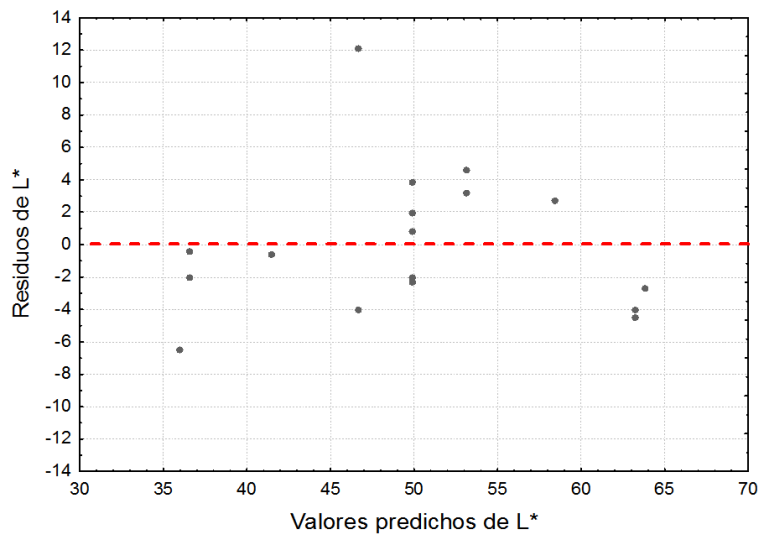
<b>Cluster</b>	<b>Probabilidad</b>		
	<b>Estado</b>	<b>Concentración Ácido Málico</b>	<b>Estado x Concentración Ácido Málico</b>
1	<,0001*	0,2582	0,5391
2	0,1971	0,0033*	0,8167
3	0,0197*	0,1255	0,0211*

\*Significativo, con un nivel de confianza del 95 %

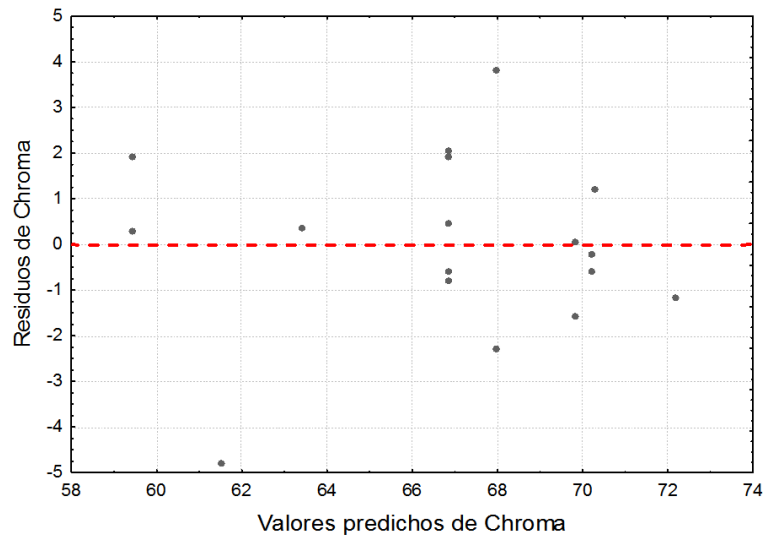
**Anexo 2.** Gráficos de aleatoriedad de los residuos para los valores de  $a_w$ ,  $L^*$ ,  $C^*$ ,  $^{\circ}H$  y  $\Delta E$ .



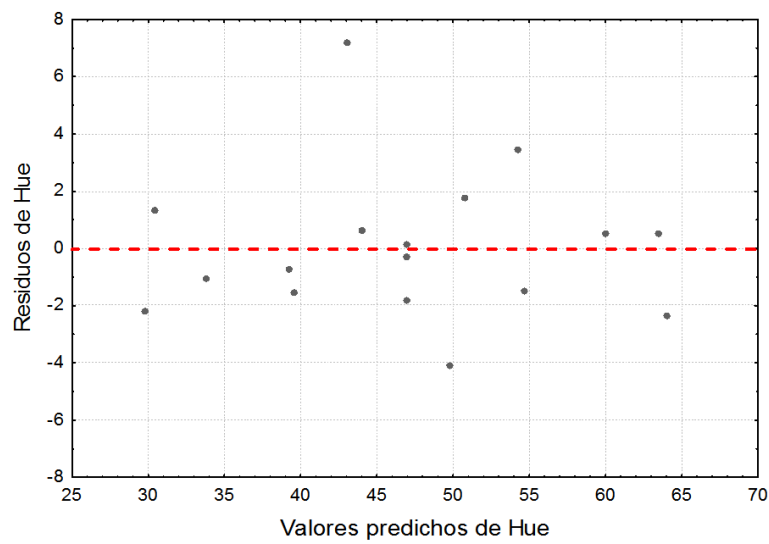
**Figura 20.** Gráfico de aleatoriedad para los valores de  $a_w$  de los chips de papaya fritos al vacío.



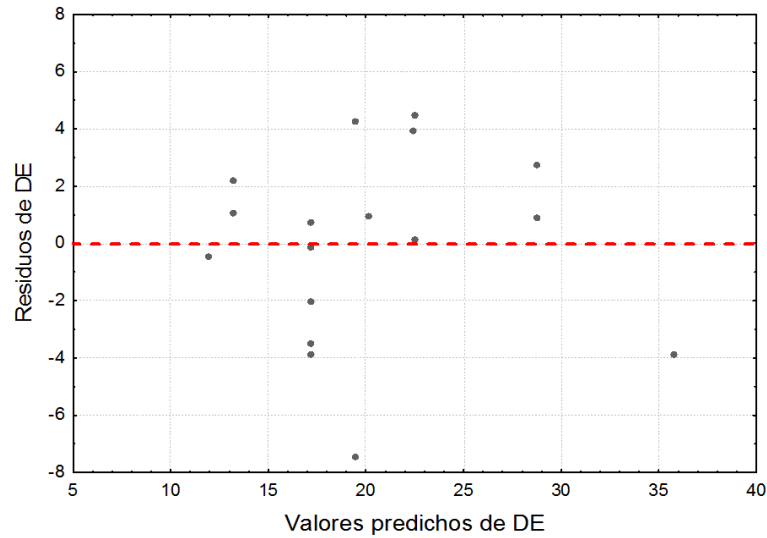
**Figura 21.** Gráfico de aleatoriedad para los valores de  $L^*$  de los chips de papaya fritos al vacío



**Figura 22.** Gráfico de aleatoriedad para los valores de C\* de los chips de papaya fritos al vacío



**Figura 23.** Gráfico de aleatoriedad para los valores de °H de los chips de papaya fritos al vacío



**Figura 24.** Gráfico de aleatoriedad para los valores de  $\Delta E$  de los chips de papaya fritos al vacío

**Anexo 3.** Análisis de varianza para el modelo de superficie de respuesta generado.

**Cuadro XXXI.** Análisis de varianza de las variables de humedad, grasa, aw, L\*, C\*, °H,  $\Delta E$  y rendimientos para el modelo de superficie de respuesta generado.

Variable		SS	df	MS	F	p
<b>Humedad</b>	Regresión	4,549	9	0,505	2,0	<b>0,190936301</b>
	Residual	1,792	7	0,256		
	Falta de ajuste	1,501746	5	0,300349	2,071	0,3570
	Error puro	0,290096	2	0,145048		
	Total SS	6,341050	16			
	<b>R2</b>	<b>0,717</b>				
<b>Grasa</b>	Regresión	268,907	9	29,879	1,7	<b>0,2552081</b>
	Residual	125,076	7	17,868		
	Falta de ajuste	110,140117	5	22,028023	2,950	0,2723
	Error puro	14,935489	2	7,467744		
	Total SS	393,982699	16			
	<b>R2</b>	<b>0,683</b>				
<b>Aw</b>	Regresión	0,015	4	0,004	7,6	<b>0,00270809</b>
	Residual	0,006	12	0,000		
	Falta de ajuste	0,005455	10	0,000546	4,090	0,2123
	Error puro	0,000267	2	0,000133		
	Total SS	0,020239	16			
	<b>R2</b>	<b>0,717</b>				

**Continuación cuadro XXXI.** Análisis de varianza de las variables de humedad, grasa, aw, L\*, C\*, °H, ΔE y rendimientos para el modelo de superficie de respuesta generado.

Variable		SS	df	MS	F	p
<b>Rendimiento de fritura</b>	Regresión	10,775	9	1,197	1,0	<b>0,50338019</b>
	Residual	8,248	7	1,178		
	Falta de ajuste	7,805721	5	1,561144	7,059	0,1287
	Error puro	0,442296	2	0,221148		
	Total SS	19,023185	16			
	<b>R2</b>	<b>0,566</b>				
<b>Rendimiento total</b>	Regresión	3,513	9	0,390	0,6	<b>0,791919738</b>
	Residual	4,844	7	0,692		
	Falta de ajuste	4,258284	5	0,851657	2,906	0,2756
	Error puro	0,586112	2	0,293056		
	Total SS	8,356942	16			
	<b>R2</b>	<b>0,420</b>				
<b>L*</b>	Regresión	1283,213	2	641,607	28,1	<b>0,00001259</b>
	Residual	319,872	14	22,848		
	Falta de ajuste	299,669816	12	24,972485	2,472	0,3239
	Error puro	20,202496	2	10,101248		
	Total SS	1603,085732	16			
	<b>R2</b>	<b>0,800</b>				
<b>C*</b>	Regresión	234,265	3	78,088	16,5	<b>0,00010111</b>
	Residual	61,464	13	4,728		
	Falta de ajuste	56,995454	11	5,181405	2,319	0,3398
	Error puro	4,468585	2	2,234293		
	Total SS	295,729150	16			
	<b>R2</b>	<b>0,792</b>				
<b>°H</b>	Regresión	1749,451	3	583,150	71,4	<b>0,00000002</b>
	Residual	106,232	13	8,172		
	Falta de ajuste	104,207491	11	9,473408	9,357	0,1004
	Error puro	2,024822	2	1,012411		
	Total SS	1855,683336	16			
	<b>R2</b>	<b>0,943</b>				
<b>ΔE</b>	Regresión	620,362	3	206,787	15,7	<b>0,00013224</b>
	Residual	171,682	13	13,206		
	Falta de ajuste	161,719973	11	14,701816	2,952	0,2802
	Error puro	9,962007	2	4,981004		
	Total SS	792,043766	16			
	<b>R2</b>	<b>0,783</b>				

**Anexo 4.** Ecuaciones de L\*, C\* y °H, a partir del modelo de superficie de respuesta diseñado.

**Ecuación 10.**  $L^* = 49,931176 - 8,277237T - 5,044649t$

**Ecuación 11.**  $C^* = 66,864314 - 3,169622T - 2,045556t - 2,233750T t$

**Ecuación 12.**  $^{\circ}H = 46,921569 - 10,200165T - 4,595778t + 1,713490V$