



COLEGIO DE POSTGRADUADOS
INSTITUCIÓN DE ENSEÑANZA E INVESTIGACIÓN EN CIENCIAS AGRÍCOLAS

CAMPUS VERACRUZ
POSTGRADO EN AGROECOSISTEMAS TROPICALES

**APROVECHAMIENTO INTEGRAL Y AGREGACIÓN DE VALOR DEL FRUTO
DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) cv. MARADOL, CON BASE EN EL POTENCIAL
DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE**

LUCIANA ROMERO GONZÁLEZ

TESIS

PRESENTADA COMO REQUISITO PARCIAL
PARA OBTENER EL GRADO DE:

DOCTORA EN CIENCIAS

TEPETATES, MANLIO FABIO ALTAMIRANO, VERACRUZ, MÉXICO.

2019



CAMPUS VERACRUZ

COLEGIO DE POSTGRADUADOS

Institución de Enseñanza e Investigación en Ciencias Agrícolas
Campeche-Córdoba-Montecillo-Puebla-San Luis Potosí-Tabasco-Veracruz

"Año del Caudillo del Sur, Emiliano Zapata"

SADER
SECRETARÍA DE AGRICULTURA
Y DESARROLLO RURAL



43-03-03

CARTA DE CONSENTIMIENTO DE USO DE LOS DERECHOS DE AUTOR Y DE LAS REGALÍAS COMERCIALES DE PRODUCTOS DE INVESTIGACIÓN

En adición al beneficio ético, moral y académico que he obtenido durante mis estudios en el Colegio de Postgraduados, la que suscribe **LUCIANA ROMERO GONZÁLEZ**, alumna de esta Institución, estoy de acuerdo en ser partícipe de las regalías económicas y/o académicas, de procedencia nacional e internacional, que se deriven del trabajo de investigación que realicé en esta Institución, bajo la dirección del Profesor **ELISEO GARCÍA PÉREZ**, por lo que otorgo los derechos de autor de mi tesis **APROVECHAMIENTO INTEGRAL Y AGREGACIÓN DE VALOR DEL FRUTO DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) cv. MARADOL, CON BASE EN EL POTENCIAL DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE** y de los productos de dicha investigación al Colegio de Postgraduados. Las patentes y secretos industriales que se puedan derivar serán registrados a nombre del Colegio de Postgraduados y las regalías económicas que se deriven serán distribuidas entre la Institución, el Consejero o Director de Tesis y la que suscribe, de acuerdo a las negociaciones entre las tres partes, por ello me comprometo a no realizar ninguna acción que dañe el proceso de explotación comercial de dichos productos a favor de esta Institución.

Tepetates, Veracruz, a 04 de noviembre de 2019.

LUCIANA ROMERO GONZÁLEZ

Firma

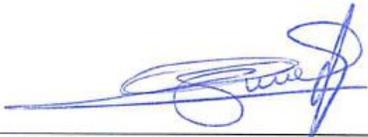
DR. ELISEO GARCÍA PÉREZ

Vo. Bo. Profesor Consejero o Director de Tesis

La presente tesis, titulada: APROVECHAMIENTO INTEGRAL Y AGREGACIÓN DE VALOR DEL FRUTO DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) cv. MARADOL, CON BASE EN EL POTENCIAL DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE, realizada por la alumna: **LUCIANA ROMERO GONZÁLEZ**, bajo la dirección del Consejo Particular indicado, ha sido aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

DOCTORA EN CIENCIAS
AGROECOSISTEMAS TROPICALES

CONSEJO PARTICULAR

Consejero	 _____
	Dr. Eliseo García Pérez
Director de tesis	 _____
	Dr. Fredy Morales Trejo
Asesor	 _____
	Dr. Cesáreo Landeros Sánchez
Asesor	 _____
	Dr. Josafhat Salinas Ruíz
Asesor	 _____
	Dra. Itzel Galaviz Villa

APROVECHAMIENTO INTEGRAL Y AGREGACIÓN DE VALOR DEL FRUTO DE PAPAYA (*Carica papaya* L.) cv. MARADOL, CON BASE EN EL POTENCIAL DE COMPUESTOS BIOACTIVOS Y ACTIVIDAD ANTIOXIDANTE

Luciana Romero González, Dr
Colegio de Postgraduados, 2019

La papaya es un fruto tropical de alto consumo en México por su sabor agradable, además, de sus propiedades benéficas para el sistema digestivo. Este fruto contiene compuestos bioactivos con actividad antioxidante, a los cuales se les ha dado poco énfasis. Por lo anterior, en el presente trabajo de investigación se planteó como objetivo caracterizar el fruto de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol, a través de parámetros fisicoquímicos, análisis de compuestos bioactivos y actividad antioxidante para generar alternativas de agregación de valor con base en la situación actual del cultivo. El trabajo se realizó con frutos de huertos comerciales de productores del municipio de Cotaxtla, Veracruz. Se realizó una encuesta a productores y se colectaron frutos en diferentes estados de madurez, determinando humedad, sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT), firmeza, color, proteína, fibra, cenizas, fenoles totales (FT), actividad antioxidante (AA) y la presencia de ácidos grasos. Se utilizó un diseño completamente al azar, con tres repeticiones. Los datos se trabajaron bajo un análisis de varianza y prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%. El principal destino de la producción de frutos de papaya es para el mercado nacional y solo el 5% es de exportación. Esto se debe a la falta en el cumplimiento de los requisitos fitosanitarios, dado que los productores no aplican buenas prácticas agrícolas (BPA). La percepción de los productores sobre el aprovechamiento del fruto para la agregación de valor resultó en una actitud positiva, ya que el 56.3% mencionó estar interesado en dar algún tipo de aprovechamiento. La presencia de proteína en la cáscara presentó el máximo porcentaje 8.88%, seguida de la semilla con 6.14% y pulpa 2.18%. En fibra los valores fueron de 18.6% en semillas, 11.4% en cáscara y pulpa presentó el 10.8%. Los fenoles totales variaron de 200 a 1506 mg GAE 100 g⁻¹ d.w., en relación a la parte analizada. Los antioxidantes mostraron valores en pulpa 485, cáscara 1539.1 y semilla 935.1 µM TE g⁻¹ d.w, bajo el método ABTS. Respecto la pulpa de papaya conservada al vacío los mejores resultados los

presentó el sorbato de potasio en combinación con benzoato de sodio. La caracterización del fruto permitió generar alternativas de valor para el aprovechamiento integral de la papaya. Los productores necesitan opciones rentables que den valor agregado al fruto mediante procesos de conservación, ya que actualmente sólo se comercializa en fresco.

Palabras clave: *Carica papaya*, fenoles totales, alternativas de valor, procesos de conservación, vida de anaquel.

INTEGRAL USE AND ADD OF VALUE OF THE FRUIT OF PAPAYA (*Carica papaya* L.)
cv. MARADOL, BASED ON THE POTENTIAL OF BIOACTIVE COMPOUNDS AND
ANTIOXIDANT ACTIVITY

Luciana Romero González, Dr
Colegio De Postgraduados 2019

Papaya is a tropical fruit of high consumption in Mexico for its pleasant taste, in addition, its beneficial properties for the digestive system. This fruit contains bioactive compounds with antioxidant activity, which have been given little emphasis. Therefore, in this research work, the objective was to characterize the fruit of papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol, through physicochemical parameters, analysis of bioactive compounds and antioxidant activity to generate value aggregation alternatives based on the current crop situation. The work was carried out with fruits from commercial orchards of producers in the municipality of Cotaxtla, Veracruz. A survey of producers was carried out and fruits were collected in different stages of maturity, determining humidity, total soluble solids (TSS), pH, titratable acidity (TA), firmness, color, protein, fiber, ash, total phenols (TF), antioxidant activity (AA) and the presence of fatty acids. A completely randomized design was used, with three repetitions. The data were worked under an analysis of variance and Tukey test at a significance level of 5%. The main destination of papaya fruit production is for the national market and only 5% is for export. This is due to the lack of compliance with phytosanitary requirements, since producers do not apply good agricultural practices (GAP). The perception of the producers on the use of the fruit for the aggregation of value resulted in a positive attitude, since 56.3% mentioned being interested in giving some kind of use. The presence of protein in the shell showed the highest percentage 8.88%, followed by the seed with 6.14% and pulp 2.18%. In fiber, the values were 18.6% in seeds, 11.4% in shell and pulp presented 10.8%. Total phenols varied from 200 to 1506 mg GAE 100 g⁻¹ d.w., in relation to the part analyzed. The antioxidants showed values in pulp 485, shell 1539.1 and seed 935.1 μ M TE g⁻¹ d.w, under the ABTS method. Regarding the vacuum-preserved papaya pulp, the best results were presented by potassium sorbate in combination with sodium benzoate. The

characterization of the fruit allowed the generation of value alternatives for the integral use of papaya. Producers need profitable options that give added value to the fruit through conservation processes, since it is currently only sold fresh.

Keywords: *Carica papaya*, total phenols, value alternatives, conservation processes, shelf life.

Dedico esta tesis:

A Dios, por hacerme parte de su magnífica creación, por crear en mí un ser pensante, por darme la fortaleza en los días difíciles y por todo su infinito amor.

A mi consejo particular ya que la presente tesis es parte de un trabajo en equipo donde ellos fueron mis faros guías.

A mi familia que siempre creyó en mí.

Agradecimientos:

Un especial agradecimiento a mi consejero Dr. Eliseo García Pérez por su valioso tiempo, apoyo y amistad. A mi Director de Tesis Dr. Fredy Morales Trejo por sus consejos, dedicación y esfuerzo para que todo marchará correctamente. Al Dr. Cesáreo Landeros Sánchez, Dra. Itzel Galaviz Villa y al Dr. Josafhat Salinas Ruíz; por cada una de sus contribuciones a la mejora de la presente tesis, a mi persona y vida profesional. A todos ellos les doy mi más sincero agradecimiento por ser mi faro guía a lo largo de mi estancia doctoral, sin ustedes esto no hubiese sido posible.

Al Consejo Nacional de ciencia y tecnología CONACYT, por la beca otorgada.

A Daiana Sánchez Platas por tantas ausencias; a mi compañero de vida Emmanuel Alejandro Sánchez Platas por su infinito apoyo y ser un pilar en mi vida.

A mis hermanas Dora luz y Delia por su gran apoyo; en especial a mi hermana Sonia por cuidar de mi hija, a mis padres por crear valores en mí.

A mis amigas Rosy, Yadira, Mijal, Anabel y Leamsy por tan bella amistad, risas y ánimos cuando el estrés me presionaba. A mis compañeros de generación por su contribución e invaluable amistad, quienes hicieron de este largo camino algo muy placentero.

Agradezco infinitamente la amistad y gran ayuda de la química Nora; gracias por su gran apoyo a tantas horas de trabajo en el laboratorio.

A todos los que de alguna manera contribuyeron a mi formación les doy mi más grande e infinito agradecimiento.

*“Dichoso es el que tiene una profesión
que coincida con su afición”*

George Bernard Shaw

CONTENIDO

	Página
1 Introducción general	1
2 Planteamiento del problema de investigación	3
3 Hipótesis general y particulares	4
4 Objetivos general y particulares	5
5 Marco teórico conceptual	6
5.1 Metodologías de aplicación al tema de investigación	7
5.2 Teorías que respaldan el trabajo de investigación	10
5.2.1 Teoría general de sistemas (TGS)	11
5.2.2 Teoría de los sistemas complejos	13
5.3 Fundamentos filosóficos	13
5.3.1 Positivismo como un método	14
6 El concepto de Agroecosistema	15
6.1. El Agroecosistema con cultivo de papaya	17
6.1.1 Agricultura	19
6.1.2 Aprovechamiento integral	20
6.1.3 Valor agregado	20
6.1.4 Cadena de valor	21
6.1.5 Compuestos bioactivos	21
6.1.6 Actividad antioxidante	21
6.1.7 Vida de anaquel	22
6.1.8 Bromatología	22
6.1.9 Antimicrobianos sintéticos	25
7 Marco Referencial	26
7.1 Clasificación y características botánicas de <i>Carica papaya</i> L	26
7.2 Producción de papaya Maradol a nivel nacional	27
7.3 Importancia del consumo de frutos	28
7.3.1 Propiedades nutricionales de la papaya y sus beneficios a la salud	28

7.4	Procesos de conservación de frutas y verduras en la agroindustria	30
7.4.1	Tendencias en el procesamiento mínimo de frutas y hortalizas	30
7.4.2	Tecnología e innovación en empacado de alimentos	31
7.4.3	Factores que determinan la vida de anaquel	33
7.5	Efecto de los compuestos fenólicos presentes en algunos alimentos sobre la salud humana	34
7.6	Métodos para determinar la actividad antioxidante en alimentos	35
7.7	Cromatografía de Gases (CG), Espectrofotometría de Masas (EM) y Espectrofotómetro UV-VIS	38
8	Literatura citada	40

Capítulo 1

1	Situación actual del cultivo de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) cv. Maradol, sobre el aprovechamiento integral del fruto para dar valor agregado; en el municipio de Cotaxtla, Veracruz	47
1.1	Introducción	48
1.2	Materiales y métodos	49
1.3	Resultados y discusión	50
1.4	Conclusiones	62
1.5	Literatura Citada	63

Capítulo 2

2	Cambios fisicoquímicos que se presentan en el fruto de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) cv. Maradol, en diferentes estados de madurez	64
2.1	Introducción	65
2.2	Materiales y métodos	66
2.3	Resultados y discusión	70
2.4	Conclusiones	80

2.5	Literatura citada	81
Capítulo 3		
3	Caracterización fisicoquímica de la cáscara, semilla y pulpa del fruto papaya (<i>Carica papaya</i> L.) cv. Maradol para su aprovechamiento integral	84
3.1	Introducción	85
3.2	Materiales y métodos	86
3.3	Resultados y discusión	92
3.4	Conclusiones	101
3.5	Literatura citada	102
Capítulo 4		
4	Evaluación del efecto de la aplicación de antimicrobianos sintéticos en frutos de papaya (<i>Carica papaya</i> L.) cv. Maradol mínimamente procesada y almacenada en refrigeración	105
4.1	Introducción	106
4.2	Materiales y métodos	108
4.3	Resultados y discusión	112
4.4	Conclusiones	125
4.5	Literatura Citada	126
9	Contrastación de hipótesis	128
10	Conclusiones generales	130
11	Anexos	131

LISTADO DE CUADROS

	Página
Cuadro 1 Principales constituyentes presentes en las distintas partes del árbol de papayo	29
Cuadro 2 Clasificación de los modelos de ensayo <i>in vitro</i> según su modo de reacción ET o HAT	36
Cuadro 3 Parámetros fisicoquímicos, contenido de fenoles y actividad antioxidante en extractos en el fruto de papaya Maradol en diferentes etapas de maduración	71
Cuadro 4 Coeficientes de correlación entre parámetros fisicoquímicos y propiedades de color de los frutos de papaya Maradol en diferentes etapas de maduración	80
Cuadro 5 Propiedades nutricionales de pulpa, cáscara y semilla del fruto papaya <i>Carica papaya</i> L cv Maradol	95
Cuadro 6 Propiedades bioquímicas de pulpa, cáscara y semillas del fruto papaya <i>Carica papaya</i> L cv Maradol	97
Cuadro 7 Escala hedónica de 9 puntos utilizada para la determinación de la preferencia de las rebanadas de papaya empacadas al vacío	111
Cuadro 8 Resultados fisicoquímicos de las rebanadas de papaya conservadas aplicando dos tratamientos y un control	112
Cuadro 9 Parámetros físicos y químicos en las tres diferentes tratamientos	119

LISTADO DE FIGURAS

	Página	
Figura 1	Ciclo empírico analítico	9
Figura 2	Resumen de los componentes que forma a la (TGS)	12
Figura 3	Modelo teórico conceptual del agroecosistema con fruto papayo	18
Figura 4	Mapa geográfico de la zona de estudio	50
Figura 5	Edad promedio en porcentaje de los productores de papaya en el municipio de Cotaxtla, Veracruz	51
Figura 6	Años de experiencia en el cultivo de papaya por los productores de papaya en la región Centro de Veracruz	52
Figura 7	Hectáreas sembradas por los productores de papaya en la región Centro del estado de Veracruz	53
Figura 8	Rendimiento en el cultivo de papaya en la región centro del estado de Veracruz	58
Figura 9	Costos de producción (\$) por hectárea sembrada de papayo de la región centro del estado de Veracruz	58
Figura 10	Precio de venta, mínimo, en promedio y máximo por kilogramo de papaya en la región centro de Veracruz	59
Figura 11	Percepción visual del color en el fruto de papayo (<i>Carica papaya</i> L.) cv. Maradol durante diferentes estados de madurez	74
Figura 12	Parámetros de color en el epicarpio durante las etapas de maduración de los frutos de papaya cv Maradol	75
Figura 13	Comportamiento de la firmeza en rebanadas de papaya durante el tiempo de almacenamiento $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ en tres diferentes tratamientos	115
Figura 14	Comportamiento de los sólidos solubles totales ($^{\circ}\text{Brix}$) en rebanadas de papaya durante el tiempo de almacenamiento $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ en tres diferentes tratamientos	116

Figura 15	Comportamiento del pH en rebanadas de papaya durante el tiempo de almacenamiento $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en tres diferentes tratamientos	117
Figura 16	Comportamiento de la acidez titulable en rebanadas de papaya durante el tiempo de almacenamiento $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en tres diferentes tratamientos	118
Figura 17	Comportamiento de la luminosidad L^* en rebanadas de papaya mínimamente procesadas conservadas en refrigeración $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en tres diferentes tratamientos	121
Figura 18	Comportamiento de la saturación (Chroma) en rebanadas de papaya mínimamente procesadas conservadas en refrigeración $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en tres diferentes tratamientos	121
Figura 19	Comportamiento del Hue° en rebanadas de papaya mínimamente procesadas conservadas en refrigeración $5 \pm 1^{\circ}\text{C}$ en tres diferentes tratamientos	122

1. INTRODUCCIÓN GENERAL

La papaya (*Carica papaya* L.) es la tercera fruta tropical más producida en el mundo, después del mango y la piña (CAJAMAR, 2014). México ocupa el primer lugar como exportador de papaya a EE.UU., seguido de Belice y Guatemala, exportando 121,770 t (ITC, 2017).

Los países que destacan por mayor producción en toneladas de papaya son la India, Brasil, México, Indonesia, República Dominicana, Nigeria, República Democrática del Congo, Cuba, Colombia y Venezuela; mientras tanto, los de mayor superficie sembrada son la India, Nigeria, Bangladesh, Brasil, México, Perú, República Democrática del Congo, Indonesia, Venezuela y Kenia. México ocupa el cuarto lugar en rendimiento, en el quinto lugar se encuentra la India, República dominicana e Indonesia ocupan el primer y segundo lugar respectivamente (SIAP, 2017).

Este fruto se cultiva principalmente en los estados de Oaxaca, Chiapas, Guerrero, Jalisco, Michoacán, Nayarit, Quintana Roo, Tabasco, Veracruz y Yucatán, con un volumen de producción de 919,425 t y un valor de 2,696.9 millones de pesos (Propapaya, 2014).

El manejo inadecuado en las etapas de pre- y post-cosecha, es un punto crítico en el control de calidad de la fruta de papaya. Los problemas fitopatológicos provocan una pérdida de entre 40 y 50% de los cultivos de papaya, induciendo a una corta vida de anaquel en post-cosecha (Jung *et al.*, 2007). Muchas empresas pierden competitividad internacional, por la falta de conocimiento para cumplir con las exigencias y normativas de los mercados demandantes de frutas. Por lo que es necesario implementar metodologías eficientes para mejorar los procesos que forman parte del sector frutícola. Las frutas tropicales, posterior a su cosecha y aún después de haber sido mínimamente procesadas, continúan lentamente su proceso metabólico de respiración, transpiración y maduración. Esto ocasiona cambios en color, sabor y calidad nutricional, favoreciendo en algunos casos las condiciones para la proliferación de microorganismos (Rangel y López, 2012).

La papaya, al ser una fruta tropical climatérica tiene una vida post-cosecha corta, lo que implica pérdida de peso, rápido ablandamiento de la pulpa y crecimiento microbiano. Su conservación se complica una vez cosechado el fruto, ya que bajo condiciones ambientales normales, completa su madurez en aproximadamente una semana. Por tanto, es de suma importancia tener conocimiento del manejo post-cosecha de la fruta (Albertini *et al.*, 2015).

Por esta razón, es necesario buscar alternativas que ayuden a disminuir las pérdidas de los frutos que no cumpla con los estándares de calidad. La elaboración de productos procesados permitirá prolongar la vida de anaquel, además de dar un valor agregado al fruto.

La comercialización de frutas y hortalizas mínimamente procesadas, es un área de oportunidad en la industria alimentaria para satisfacer la demanda de productos frescos con aceptables atributos de calidad (aparencia, textura, sabor) de consumo inmediato. Es importante desarrollar alimentos mínimamente procesados que brinden al consumidor las mismas propiedades nutricionales que los alimentos frescos. Además, que satisfagan la demanda existente y originen mayores beneficios monetarios a los productores agrícolas y se minimicen las mermas en la producción de frutas y verduras. Es importante evaluar alternativas de conservación y transformación que permitan aprovechar integralmente estos productos para incrementar su competitividad en el mercado y dar valor agregado a nuevos productos procesados a partir de la pulpa, semilla, cáscara y compuestos bioactivos de la papaya. Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo fue caracterizar el fruto de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol, a través de parámetros fisicoquímicos, análisis de compuestos bioactivos y actividad antioxidante para generar alternativas de agregación de valor con base en la situación actual del cultivo.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

La papaya producida en México tiene una posición relevante en el mercado internacional; sin embargo, enfrenta constantemente la amenaza competitiva de otros países productores, tal como Brasil y la India, los cuales producen papaya de mejor calidad. Esto provoca mermas en la producción, reduce los ingresos de los productores de papaya y descarta las posibilidades de exportación ya que el producto no cumple con los estándares de calidad y sanidad post-cosecha.

El desplome de los precios obliga a los productores a mantener el cultivo hasta que el fruto llega hasta su máximo punto de maduración en la planta, debido al alto costo de la cosecha, aunado a la corta vida de anaquel de la papaya la cual provoca pérdidas económicas cuantiosas (Jayathunge *et al.*, 2011). La madurez de consumo de la papaya Maradol se alcanza entre los 8 y 12 días después de la cosecha en condiciones de almacenamiento a temperatura ambiente (García *et al.*, 2016). La cáscara y semillas de papaya pueden ser aprovechadas mediante procesos agroindustriales alternos al consumo de la pulpa, tales como la extracción de aceite y compuestos bioactivos.

Los productores de papaya en el estado de Veracruz necesitan opciones rentables que den valor agregado al fruto mediante procesos de conservación y transformación. Existe una demanda de alimentos de alta calidad, prácticos y frescos. Por esta razón, es necesario aplicar innovaciones tecnológicas que ofrezcan al consumidor alimentos con procesos mínimos de conservación.

Actualmente, la papaya es un fruto que sólo se comercializa en fresco. Aunque en México se produce papaya deshidratada, a nivel internacional se comercializan otras presentaciones que dan valor agregado al fruto, tales como: jaleas, mermeladas, jugos, vinos y pulpa en almíbar. La falta de desarrollo tecnológico en nuestro país para el aprovechamiento integral de la papaya (cáscara, pulpa y semilla del fruto), ha generado la necesidad de realizar un caracterización del fruto (*Carica papaya* L.) cv Maradol, mediante el análisis de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y parámetros fisicoquímicos que permitan generar alternativas de agregación de valor.

Por lo anterior, se planteó la siguiente pregunta de investigación:

¿Qué alternativas de agregación de valor es posible formular y desarrollar, para aprovechar integralmente el fruto de papaya, evitar pérdidas y aumentar la rentabilidad del cultivo?

3. HIPÓTESIS

3.1 General

Las alternativas para el aprovechamiento integral del fruto de papaya y agregación de valor, están en función de la calidad fisicoquímica, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante.

3.2 Particulares

H01. La situación del cultivo de papaya y la percepción sobre las alternativas de agregación de valor del fruto, depende del nivel tecnológico y socioeconómico de los productores.

H02. Los cambios fisicoquímicos y compuestos bioactivos presentes en el fruto de papaya, están en función de los diferentes estados de madurez.

H03. El aprovechamiento integral del fruto (cáscara, semilla y pulpa) está en función del contenido nutricional, compuestos bioactivos y actividad antioxidante.

H04. La vida de anaquel y la calidad nutricional de la pulpa de papaya depende de la aplicación de antimicrobianos sintéticos y los procesos de conservación.

4. OBJETIVOS

4.1 General

Caracterizar el fruto de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol, a través de parámetros fisicoquímicos, análisis de compuestos bioactivos y actividad antioxidante para generar alternativas de agregación de valor con base en la situación actual del cultivo.

4.2 Particulares

OP1: Conocer la situación actual del cultivo de papaya y la percepción de los productores sobre alternativas de agregación de valor en Cotaxtla, Veracruz.

OP2: Analizar los cambios fisicoquímicos y compuestos bioactivos que se presentan en el fruto de papaya en diferentes estados de madurez.

OP3: Determinar la composición química proximal, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de las fracciones obtenidas de las distintas partes del fruto de papaya (cáscara, semilla y pulpa).

OP4: Evaluar la vida de anaquel y calidad nutricional de la pulpa de papaya con la aplicación de antimicrobianos sintéticos y procesos de conservación.

5. MARCO TEÓRICO CONCEPTUAL

Las presentes líneas tienen como objetivo explicar los fundamentos teóricos que permiten establecer las bases epistemológicas, teóricas y conceptuales sobre las cuales se apoya el presente trabajo de investigación.

Toda investigación científica, por lo general, carece de teorías que respalden y sustenten el conocimiento generado. Investigar científicamente es una tarea que implica un aprendizaje que demandará disciplinar y sistematizar el pensamiento, la aplicación de normas estrictas determinadas por un método, la originalidad y creatividad de quien hace investigación. Investigar científicamente requiere conocer los conceptos centrales del área del saber en qué se está investigando, así como los procesos que la comunidad científica en general utilizan para generar nuevos conocimientos, considerados válidos (Gómez, 2006).

Se debe comprender que la investigación científica implica no solo un trabajo intelectual y de reflexión destinado a elaborar una conjetura posible, sino también un trabajo empírico, un trabajo de recolección de datos destinado a obtener información que apoye o refute los supuestos planteados en dicha investigación. Esto, necesitará del desarrollo de capacidades para obtener conclusiones coherentes y apropiadas, en caso de existir, a partir de la información obtenida. Se debe distinguir entre opinión, basada en la intuición o en preconcepciones, y un argumento, sustentado por un trabajo reflexivo y sistemático, destinado a probarlo (Wanden *et al.*, 2010). Por lo anterior, es de gran importancia tener claramente las definiciones, conceptos y teorías que ayudarán a respaldar el conocimiento generado en el presente trabajo de investigación. A continuación, se expondrán algunos de los conceptos, teorías y sus fundamentos que respaldan dicha investigación, la cual ha sido desarrollada con el objetivo de caracterizar al fruto de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol mediante el análisis de compuestos bioactivos, actividad antioxidante y parámetros fisicoquímicos, a fin de generar alternativas de agregación de valor con base en la situación actual del cultivo.

5.1. Metodologías de aplicación al tema de investigación

En todo trabajo de investigación es importante conocer los conceptos y definiciones que permiten explicar y comprender el fenómeno de estudio. En este trabajo se abordó y comprendió de manera holística la problemática que se presentó en el agroecosistema con cultivo de papaya, abordándolo desde los factores: social, ambiental, económico, tecnológico y político. Existen además otros conceptos como el de agroecosistema, aprovechamiento integral, valor agregado, conservación, compuestos bioactivos, vida de anaquel, entre otros; los cuales son indispensables para establecer el contexto de análisis del problema de investigación.

El presente trabajo propone alternativas rentables para brindar solución a algunos de los problemas tecnológicos, económicos y sociales que presenta el cultivo de papaya. Por ello, se consideró el paradigma positivista también denominado paradigma cuantitativo, ya que se planteó una hipótesis la cual se verificó y comprobó. En este sentido, los estudios explicativos pueden ocuparse tanto de la determinación de las causas, como de los efectos (investigación experimental), mediante la prueba de hipótesis (Berrios *et al.*, 2009).

Toda investigación científica tiene un fundamento de carácter académico y científico, con una clara predisposición dialéctica en la que predomina el análisis, la síntesis, la inducción y la deducción del trabajo de investigación. Es de análisis porque permite desglosar las partes del tema investigado y someterlo al mundo de la ciencia. El sintético por cuanto se abstrae el conocimiento para poder llegar a generalizaciones. Es inductivo porque se va de lo particular a lo general en el proceso de investigación. Es deductivo por cuanto en algunas etapas de la investigación se parte de lo general a lo particular (Reza, 1997).

Como se mencionó con anterioridad, la investigación se abordó desde el paradigma positivista, además del constructivista. Ya que la realidad es única, puede ser fragmentada para su análisis y las partes pueden ser manipuladas independientemente.

De acuerdo con la concepción dialéctica del conocimiento, existen múltiples realidades construidas por cada persona, por lo tanto, el estudio de cada una de sus partes está influenciada por la existencia de las otras. Es constructivista porque el conocimiento generado es producto de la revisión bibliográfica bajo un juicio crítico que refleja el nivel de conocimiento adquirido (Dobles *et al.*, 1998). Tiene un sustento bibliográfico, documental y de campo; se dice que es bibliográfico porque se consultaron libros, textos, revistas, folletos e internet; documental por la consulta de información que facilitó el desarrollo de la investigación y de campo debido a la observación objeto de estudio en su realidad inmediata, aplicando como herramienta de trabajo un cuestionario que dio a conocer el estado actual del cultivo de papaya en Cotaxtla, Veracruz. (Rojas, 2011).

En general, para el análisis de la presente investigación se empleó el enfoque empírico-analítico a partir de que el objeto de estudio es un conjunto de partes interdependientes. Caracterizado porque su estructura y sus funciones lo distinguen del medio ambiente en el que está inmerso y permite establecer relaciones entre los diversos componentes, sistemas y subsistemas (Trebuil, 1990).

En la figura 1 se muestran los pasos del método empírico-analítico el cual es un modelo del método científico basado en la experimentación y la lógica empírica, junto a la observación de fenómenos y análisis estadísticos, es ampliamente utilizado en el campo de las ciencias sociales y naturales. El proceso del método inicia con la identificación del problema finalizando con el análisis e interpretación (Inche *et al.*, 2003).

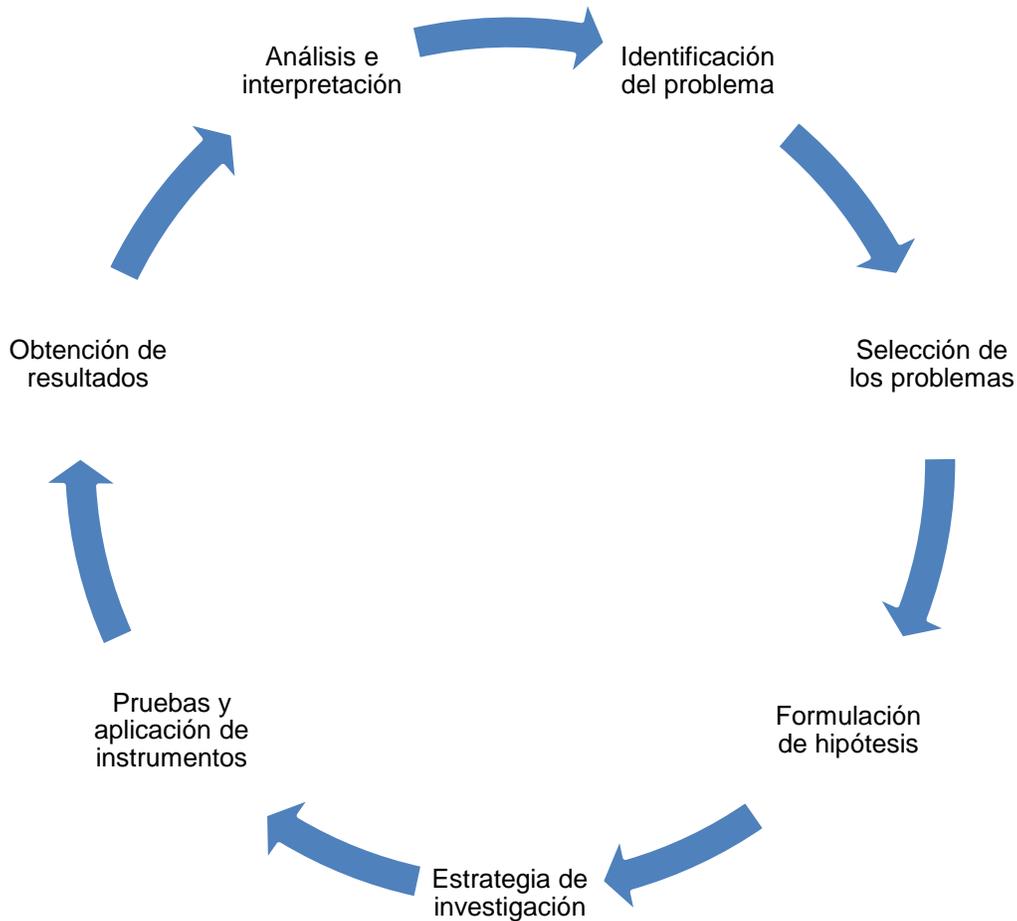


Figura 1. Ciclo Empírico-Analítico.

Esta investigación concibe la integración en cada uno de los fenómenos que surgen en diferente nivel jerárquico (Trebuil, 1990); sin que el término jerárquico denote necesariamente una relación de poder, sino una subordinación puramente clasificatoria, en cuanto a estructura (Herrscher, 2005). En ella, se pueden observar todos los sistemas existentes bajo la idea unificadora de la realidad y de los objetos (recursividad) (Johansen, 2004).

Esta metodología también es dinámica, porque reconoce que la evolución agroecológica está en función de procesos socio-económicos, vistos desde un enfoque interdisciplinario (Trebuil, 1990). La método empírico-analítico requiere del empleo de algunas herramientas metodológicas inductivas y deductivas para obtener un diagnóstico lo más cercano a la realidad; estas herramientas son asociadas generalmente a la investigación

cualitativa y cuantitativa, respectivamente. La investigación cuantitativa es empleada para obtener y analizar datos cuantitativos de las variables; y la investigación cualitativa para llevar registros narrativos de los fenómenos que son estudiados mediante técnicas como la observación participante, y entrevistas semi estructuradas (entrevistas a informantes clave para conocer el estado actual del cultivo). De esta forma, la metodología cuantitativa estudia la asociación o relación entre variables numéricas, y la cualitativa lo hace en contextos estructurales y situacionales (Pita y Pértegas, 2002).

5.2 Teorías que respaldan el trabajo de investigación

La teoría es un sistema de enunciados que establecen relaciones (implicación, causalidad, correlación, probabilidad) entre conceptos (de diferente extensión o intensidad) de una misma disciplina o afines. Los enunciados pueden diferir según sus niveles de verificación, generalidad, y profundidad. Por ello, una teoría evoluciona, se vuelve compleja (no necesariamente complicada), explica mejor esa fracción de la realidad e incluso, puede volverse un modelo de análisis para los científicos, es decir, un paradigma (George, 2005).

El papel del científico y de la ciencia, consiste en construir teorías; no deducirlas, inducirlas o interpretarlas de los datos. En repetidas ocasiones se plantean teorías simples y genéricas, sin contenido relevante, mientras es posible construir teorías con mayor complejidad y valor. En un lenguaje simple, es un conjunto organizado de ideas para tratar de explicar un fenómeno.

De manera más técnica, una teoría científica es un sistema de leyes empíricas relacionadas con un sistema formal. Una estructura de ideas sistemáticas de amplio alcance que explica regularidades, observadas o postuladas, en los objetos y los eventos. Una teoría puede integrar términos no observables, se comprende que la mente humana, por razones observacionales, filosóficas, construye las teorías.

Las teorías pueden exhibir un alto grado de formalización o pueden estar estructuradas como: un relato y explicar un fenómeno. Una teoría, a diferencia de una ley, no puede ser fácilmente comprobada. Para comprobar una ley empírica se mide la relación entre lo observable y las teorías, por su parte, pueden estar vinculadas con varias leyes, e incluso predecir nuevas (Anderson, 1994). Una buena teoría explica, predice y satisface

a la crítica (Dean *et al.*, 1994). Una teoría bien formulada contribuye a la organización y acumulación de conocimientos y se basa generalmente en conocimientos consolidados en el pasado. Desde el punto de vista práctico, está a la espera de problemas concretos todavía no identificados que habrá de resolver (Weick, 1989).

5.2.1 Teoría general de sistemas (TGS)

Un sistema es un conjunto de elementos (Von Bertalanffy, 1986) que suman esfuerzos de manera coordinada en constante interacción (Bertoglio, 1993) para alcanzar objetivos en común; es claramente identificable por una frontera que lo delimita y para en un ambiente con el que guarda una estrecha relación (Arras, 2010). Cada uno de estos elementos puede considerarse un sistema de menor complejidad o de menor tamaño, llamado subsistema. Así también, cada uno de esos sistemas pueden ser elemento de un sistema más grande o suprasistema. Cada sistema, al trabajar de manera ordenada y coordinada, origina que durante el trabajo se genere sinergia, y se alcanza con los objetivos del mismo.

Para facilitar el estudio de los sistemas se han clasificado en abiertos y cerrados. Sistemas abiertos son aquellos que se encuentran en relación con el medio circundante; a medida que integran el entorno (la totalidad) aumenta su complejidad (Bertoglio, 1993). Generalmente, este tipo de sistemas tienen un periodo de vida más largo ya que se encuentran en constante retroalimentación con los resultados, por lo que pueden mejorarse y actualizarse o incluso sufrir una reestructuración, de ser necesario. Los sistemas cerrados son aquellos que se encuentran aislados por completo de su ambiente externo. No tienen mecanismos de recolección de información del exterior, por lo que tienden a desaparecer al no contar con una retroalimentación que les dé información sobre el resultado de sus acciones pasadas (Arras, 2010).

Parte fundamental de un sistema, es la retroalimentación, la cual se define como el proceso durante el cual la información de salida o respuestas se convierten nuevamente en entradas o estímulos, y eventualmente alcanza un grado de estabilidad para seguir operando. Lo escrito anteriormente se puede resumir en la figura 2.

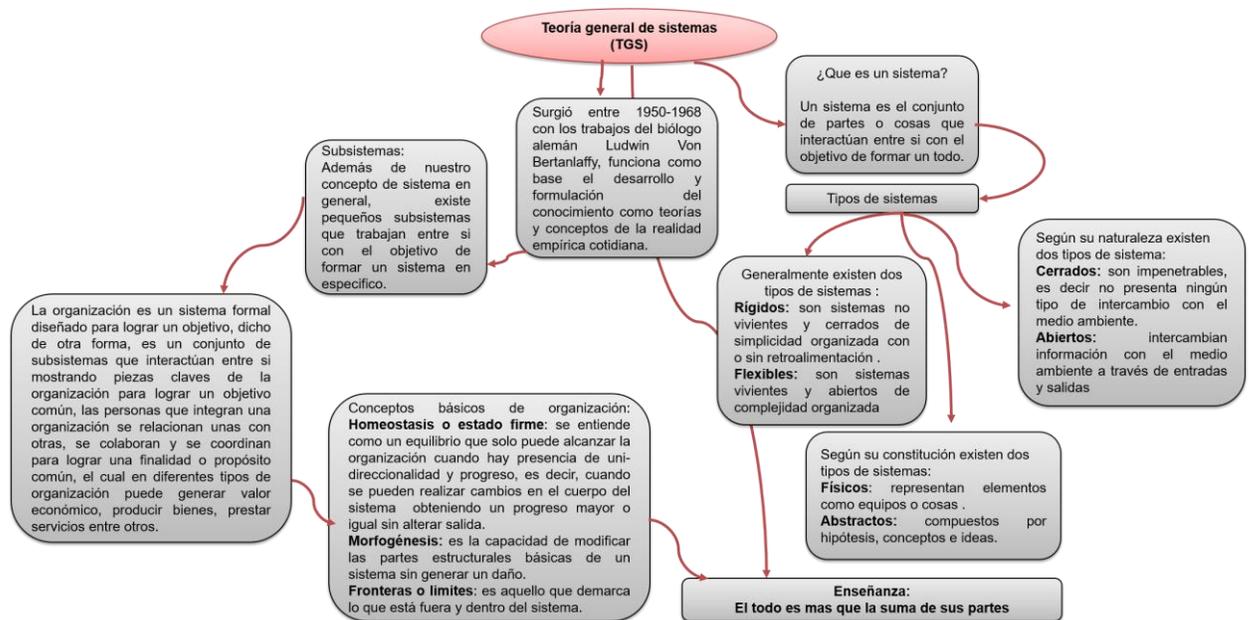


Figura 2. Resumen de los componentes que integran la TGS.

La teoría general de sistemas tiene características que la definen, adopta un enfoque holístico, provoca la generalidad de leyes particulares, utiliza modelos matemáticos, promueve la unidad en la ciencia, y proporciona un marco de referencia coherente para la organización del conocimiento. Los sistemas se integran de un conjunto de elementos que trabajan agrupadamente para lograr el objetivo general del todo. La TGS se puede aplicar a tres niveles: el científico, para la explicación científica de los sistemas; el tecnológico, que aborda los conflictos que se generan en las interacciones entre sociedad y tecnología; y el filosófico, que pretende reorientar el pensamiento mediante un nuevo paradigma científico (Bertalanffy, 1968). Esta teoría se aplica generalmente para el estudio, análisis y comprensión de los agroecosistemas (AES), concepto en el cual está inmerso este trabajo de investigación.

La teoría sistémica está íntimamente vinculada a la cibernética; la cual es la teoría del control y de la comunicación, conocida también; como la ciencia del gobierno y de la regulación de los sistemas (Herrscher, 2008). Por lo tanto, desde el punto de vista estructural funcionalista, el productor (controlador, de acuerdo a la cibernética) siempre tratará de mantener un estado en función de las características de su contexto, que es su ubicación en la sociedad. Dentro de esta estructura también podemos ubicar a las instituciones públicas y privadas, asociaciones, entre otras. Con esta perspectiva, el tipo

de manejo que el productor decida aplicar sobre el AES dependerá de su bagaje cultural, del producto de las interrelaciones que mantenga con el sector social al cual pertenece, y de la influencia que ejerzan sobre él otras organizaciones en las que participe (instituciones de investigación, asociaciones, entre otras).

5.2.2. Teoría de los Sistemas Complejos

De acuerdo con Edgar Morín (1988), la naturaleza humana pertenece al mundo de lo complejo, y este es parte de la complejidad del universo. Entonces vivir, en la complejidad provoca incertidumbre en nuestra mente, porque la complejidad externa es inconmensurable. Lo que hacemos es fraccionar parte de las realidades para comprenderla y utilizar ese conocimiento para vivir cómodamente y dar respuesta a nuestras preguntas existenciales. Para muchos, dicha teoría genera confusión y no conocimiento por la diversidad en discurso sobre el tema.

Para Morín (1990), la teoría de la complejidad analiza la realidad como un tejido de eventos, acciones, interacciones, retroacciones, determinaciones y azares, que constituyen nuestro mundo fenoménico. La complejidad es una palabra problema y no una palabra solución (Morín, 2003). De allí la necesidad, para el conocimiento, de poner orden en los fenómenos rechazando el desorden, de descartar lo incierto, es decir, de seleccionar los elementos de orden y de certidumbre, de quitar ambigüedad, clarificar, distinguir, y jerarquizar (Morín, 1990).

La teoría de la complejidad en el presente trabajo muestra un sistema complejo que involucra el cultivo de papaya, con efecto del controlador (productor), las condiciones ambientales, el manejo agronómico, los diferentes eslabones que integran el sistema producto papaya, sus entradas y salidas, así como la interacción de los factores sociales y políticos; donde todos estos elementos se interrelacionan constituyendo perfectamente un agroecosistema.

5.3 Fundamentos filosóficos

La ciencia debe ser capaz, como lo ha dicho Popper (1999), de describir, predecir y, eventualmente, controlar los fenómenos de que se trata. Para ello cualquier rama de

ciencia ha de contar con los tres elementos básicos que la caracteriza: instrumentos, técnicas o métodos, y teorías, debidamente interrelacionadas (Poblete, 1999).

5.3.1. El método positivista

La epistemología ubica dos grandes corrientes dentro de la investigación sistémica; el idealismo y el materialismo. El primero está ubicado dentro de la línea Galileana, mientras que el materialismo se ubica en la Aristotélica. Las investigaciones ubicadas en la línea Galileana se rigen primero mediante una idea y le acontece la observación, donde la ciencia se ve como explicación causal; el objetivo de esta línea es generar eficiencia financiera y económica; una corriente completamente positivista. Dentro de esta corriente se ubica el presente trabajo de investigación ya que en esta corriente se encuentra el conocimiento de frontera: los sistemas complejos, las neurociencias, la mecánica cuántica, entre otras.

El término positivismo fue utilizado por primera vez por el filósofo y matemático francés del siglo XIX Auguste Comte (1798-1857), pero algunos de los conceptos positivistas se atribuyeron a los filósofos David Hume (1711-1775), Saint-Simón (1760-1825) e Immanuel Kant (1724-1804). El argumento del positivismo es que sólo conocemos lo que nos permite la ciencia, y el único método de conocimiento es el de las ciencias naturales. El método de las ciencias naturales (descubrimiento de las leyes causales y el control que éstas ejercen sobre los hechos) no sólo se aplica al estudio de la naturaleza, sino también al estudio de la sociedad. Por esto la sociología; entendida como la ciencia de aquellos hechos naturales constituidos por las relaciones humanas y sociales es un resultado característico del programa filosófico positivista.

El estudio del método positivista comprende el punto de partida del método científico, es decir, sus fundamentos básicos, la constitución del método positivo en general y sus aplicaciones a las diversas ciencias que forman la actividad intelectual del hombre, principalmente a las ciencias filosóficas. Positivo es inseparable de relativo. En el positivismo no sólo se da la afirmación de la unidad del método científico y de la primacía de dicho método como instrumento cognoscitivo, sino que se exalta la ciencia como único medio en condiciones de solucionar los problemas humanos y sociales en el transcurso del tiempo (Casal y Norka, 2002).

Hasta este momento, el conocimiento generado en este trabajo de investigación se inserta dentro de la filosofía positivista, puesto que estudia los hechos económicos dados por el entorno (sociedad). El positivismo supone que la realidad está dada y que puede ser conocida de manera absoluta por el sujeto cognoscente, y que, por tanto, de lo único que había que preocuparse, es de encontrar el método adecuado y válido para “descubrir” esa realidad. En particular, asume la existencia de un método específico para conocer la realidad y propone su uso como garantía de verdad y legitimidad para el conocimiento (Meza, 2010).

La ciencia positivista se cimienta sobre el supuesto de que el sujeto tiene una posibilidad absoluta de conocer la realidad mediante un método específico. Otro aspecto importante del positivismo es que se supone que tanto las ciencias naturales como las sociales pueden hacer uso del mismo método para desarrollar una investigación (Tejeda, 2006). Desde esta perspectiva se considera que el método científico es único en todos los campos del saber, por lo que la unidad de todas las ciencias se fundamenta en el método, es decir; lo que hace a la ciencia es el método con el que se tratan los “hechos”.

6. El concepto de Agroecosistema

En México, Efraín Hernández (1977) fue pionero en introducir el concepto de agroecosistema (AES) en el estudio de la realidad agrícola. Menciona que un AES es un ecosistema modificado en menor o mayor grado por el hombre para usar los recursos naturales en el proceso de agricultura, ganadería, forestal y producción de vida silvestre.

Odum (1972). lo definió como un ecosistema modificado por el hombre, en el que la diversidad de especies se transforma y se distribuye, con el fin de hacer eficiente la captación de las diversas formas de energía que entran al sistema, todo con el fin de obtener satisfactores.

Por su parte, Marten (1988) aportó al concepto cuando dice que para definir el AES es preciso conocer sus propiedades, ya que de ellas nace el objetivo de su existencia, estas propiedades son: productividad (cantidad de alimento), estabilidad (consistencia en la producción), sustentabilidad (mantenimiento de un nivel específico de producción a largo plazo), equidad (distribución uniforme de la producción) y autonomía (autosuficiencia del agroecosistema).

Octavio Ruíz (1995), señaló que en el AES interactúan factores socioeconómicos y tecnológicos para la utilización de los recursos naturales con fines de producción y obtención de alimentos y servicios, en beneficio del hombre.

Pérez-Vázquez (1996) afirmó que antes de abordar el concepto de agroecosistema, es importante reconocer que los ecosistemas naturales son la base de los sistemas agrícolas o agroecosistemas. Este autor hace mención que los ecosistemas tienen un valor biológico, ecológico y estético; mientras que los AES tienen un valor social y económico en términos de producción agropecuaria y otros satisfactores sociales.

El agroecosistema basado en la teoría general de sistemas se considera como un sistema abierto que posee estructura, componentes, entradas, salidas y la función e interacción entre sus elementos; en el cual se realiza intercambio de materia, energía e información con la finalidad de lograr un objetivo en particular.

Chiavenato (1997) mencionó que el AES es considerado un sistema abierto por que tiene relación permanente con su entorno, mediante el intercambio de materia, energía, información e interacción constante entre el sistema y el ambiente.

Altieri (1999) definió al agroecosistema como la unidad ecológica principal que contiene componentes bióticos y abióticos que son interdependientes e interactivos, y por intermedio de los cuales se procesan los nutrimentos y el flujo de energía.

Autores como Wood *et al* (2000), definieron al agroecosistema como un recurso biológico y natural, un sistema administrado por los seres humanos con el objetivo principal de producir alimentos, así como otros bienes no alimentarios de utilidad social y servicios ambientales. Gliessman (2002), sostuvo que el agroecosistema ofrece un marco de referencia para analizar sistemas de producción de alimentos en su totalidad, incluyendo el complejo conjunto de entradas, salidas y las interacciones entre sus partes.

León-Sicard (2009) afirmó que los agroecosistemas no terminan en los límites del campo o de la finca, puesto que ellos influyen y son influenciados por factores de tipo cultural. No obstante, el límite social, económico, ambiental o político de un AES es difuso, debido a que está mediado por procesos de decisiones intangibles provenientes tanto del agricultor como de otros actores individuales e institucionales.

El agroecosistema (AES) es un modelo conceptual de la actividad agrícola en su nivel mínimo de control cibernético humano; es considerado como la unidad óptima para el estudio de la agricultura y su propia transformación; está eventualmente integrado a un sistema agrícola rural y regional a través de cadenas producción-consumo (o autoconsumo), con interferencias de política, cultura y de instituciones públicas y privadas. El AES es un sistema contingente, construido a partir de la modificación social de un sistema natural, para contribuir a: la producción de alimentos, materias primas y servicios ambientales que la sociedad demanda; al bienestar de la población rural y a su propia sostenibilidad ecológica.

El AES posee procesos dinámicos de retroalimentación y control, regulados y autorregulados, como respuesta a variaciones internas y de su entorno, y de las capacidades de quien controla el sistema. La dimensión espacial y objetivos del AES dependen del tipo de controlador que lo regula, de los recursos que éste maneja y de su interrelación con el entorno complejo (Martínez *et al.*, 2011).

Por su parte, Sarandon (2014), mencionó que los agroecosistemas son sistemas complejos, cuyas propiedades están determinadas por sus componentes y las interacciones entre ellos, dentro de un marco de manejo donde el ser humano está íntimamente inserto en un contexto sociocultural que determina la manera en que toma decisiones.

En la década de los años 70 surgió el concepto de agroecosistema, y a partir de entonces ha ido evolucionando y adaptándose de acuerdo a la perspectiva de acción de diversos autores (Vilaboa *et al.*, 2011).

6.1 El agroecosistema con cultivo de papaya

En el (AES) con cultivo de papaya se relacionan elementos que desempeñan diversas funciones que conllevan a la producción del fruto de papaya fresca para el consumidor final. Estos elementos actúan como eslabones que facilitan la producción fase inicial, pasando por la comercialización, hasta su fase final, el consumo. Todo este proceso lo hace ver como un sistema dinámico donde cada eslabón tiene su propia estructura, función y diversos componentes.

En este sentido se puede considerar que el AES con cultivo de papaya incluye no solo el campo (parcela) donde se cultiva el producto, sino también la infraestructura de transporte y procesamiento, las fuentes de demanda y las comunidades rurales que apoyan directa o indirectamente y son apoyadas por empresas agrícolas (Gallopín,1994; Waltner-Toews, 1994a, 1994b). Por lo tanto, pueden caracterizarse por tener dimensiones tanto biofísicas y socioeconómicas.

Se les considera a los AES un sistema ya que los elementos que lo forman interactúan entre sí; de esa manera el comportamiento de un elemento dentro sistema afecta a otro con el que tenga relación. Por lo tanto, es importante entender las relaciones entre los elementos del sistema, y no solamente las partes que lo integran (Bertalanffy, 1989).

En la figura 3 se muestra como los elementos que integran o forman el agroecosistema con cultivo de papaya se relacionan.

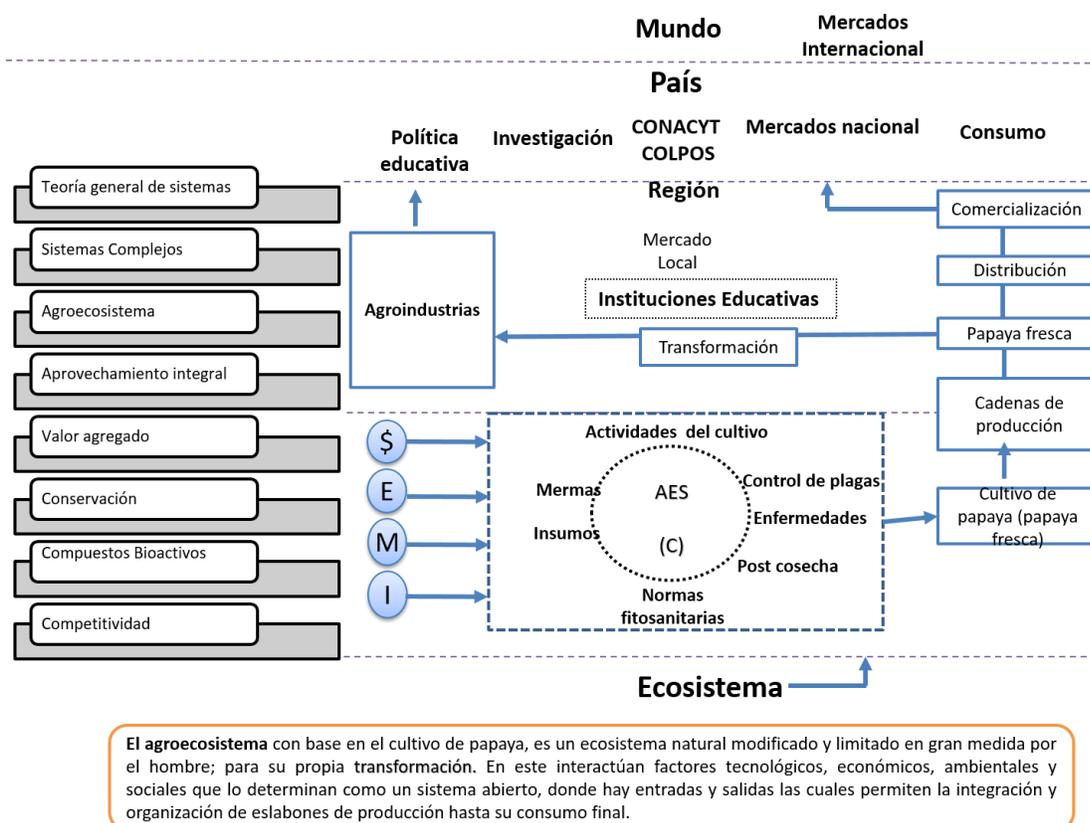


Figura 3. Modelo teórico conceptual del agroecosistema con papaya.

El modelo muestra un sistema complejo, donde se involucra el cultivo de papaya, con efecto del controlador (productor), las condiciones ambientales, el manejo agronómico, los diferentes eslabones que integran el sistema producto papaya, sus entradas y salidas, así como la interacción de los factores de la sociedad y la política. Se tiene como base al ecosistema donde interactúan todos los componentes bióticos y abióticos, en el siguiente nivel se sitúa al AES con sus interrelaciones de manejo agronómico, las entradas como dinero, energía, insumos, y las salidas; en este caso se visualiza el fruto en fresco; para lo cual se sitúa a un tercer nivel la transformación, donde se relacionan otros componentes como el mercado, la demanda, la industria, instituciones de investigación hasta llegar al mercado internacional como último nivel analizado.

En general, para el análisis de esta investigación se empleó el enfoque empírico-analítica a partir de que el objeto de estudio es un conjunto de partes interdependientes, caracterizado porque su estructura y sus funciones lo distinguen del medio ambiente en el que está inmerso, y permite establecer relaciones entre los diversos componentes, sistemas y subsistemas.

Lo anterior, coincide con el concepto descrito por Bertalanffy (1976) y Conway (1985), donde se considera al agroecosistema basado en la teoría general de sistemas como un sistema abierto que posee estructura, componentes, entradas (inputs), salidas (outputs) y función e interacción entre sus elementos y componentes. En éste, ocurre intercambio de energía, materia e información con la finalidad de lograr un objetivo en particular que coincide con los productos de salida: alimentos, materias primas y servicios. Para comprender mejor a los AES y las partes que lo integran dentro de la investigación; es de gran importancia conocer cuáles son los elementos que entrarán como parte del sistema, por tanto, a continuación, se describen algunos de los conceptos que son de interés para el presente trabajo; tales como agricultura, aprovechamiento integral, valor agregado, innovación, conservación, compuestos bioactivos, vida de anaquel, transformación entre otros.

6.1.1 Agricultura

La agricultura es una actividad desarrollada por el hombre desde tiempos remotos; dicha acción tiene la finalidad de generar alimento para toda la humanidad. De manera general,

se considera como nueva agricultura, alternativa y sostenible aquella que conserva los recursos que hacen posible la actividad agraria y preserva la integridad del medio en que se inserta; proporciona la producción suficiente para alimentar a la población; mejora la eficiencia en el uso de los insumos; diversifica sus métodos, prácticas y variedades (vegetales y animales); realiza una gestión comercial más inteligente, basada en la calidad de sus productos; y, para finalizar intensifica la gestión en general, sustituyendo la aportación de factores de producción exteriores al AES por un mayor conocimiento de los factores internos, es decir, de su ecología (Ruíz, 1994).

6.1.2 Aprovechamiento integral

El aprovechamiento integral de las frutas y hortalizas implica un reto en la contribución de nuevas ideas en la elaboración de productos innovadores, ayudando a contribuir en mejores oportunidades para los productores rurales mediante el desarrollo de un mercado potencial y fortaleciendo las capacidades organizativas de los mismos. Muchos de los cultivos de papaya no tienen un aprovechamiento óptimo como recurso alimentario (Tapia, 1990). En el sector industrial, su procesamiento es limitado, sin usos alternos que contribuyan a diversificar su utilización, a pesar de la demanda potencial y creciente que las empresas alimenticias presentan por alimentos que se destacan por su valor nutritivo y nutracéutico (Tapia y Frías, 2007).

6.1.3 Valor agregado

Es “el monto por el cual el valor de un producto se incrementa en cada etapa de su producción, excluyendo los costos iniciales” Esta definición incluye como aspectos importantes el valor monetario de un producto (o servicio) y el proceso productivo. Este último elemento es retomado por la Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO, 2004) en una definición que, a pesar de su imprecisión conceptual en lo referido al cálculo del valor agregado, rescata otros dos factores relevantes, la calidad del producto y la percepción y disposición de compra del consumidor: “El valor agregado proviene de la diferencia entre lo que cuesta poner un producto de determinadas características en el mercado y lo que el cliente está dispuesto a pagar por él, o lo que éste percibe como valor”. El valor agregado es un concepto central en lo que respecta a economía; se refiere al valor que cada bien o servicio

adquiere en la cadena de producción, es decir, al valor que se genera en cada nueva participación de trabajo o procesamiento, analizado en unidades monetarias (Porter, 1990).

6.1.4 Cadena de valor

El concepto de cadena de valor, desarrollado por Michael Porter (1986) establece una forma para clasificar los procesos de una compañía en dos grupos: unos primarios y otros de soporte. En el grupo de procesos primarios se encuentran los procesos de logística hacia adentro, operaciones, logística hacia afuera, mercadeo y servicio posventa. En el grupo de procesos de soporte se encuentran procesos de administración, gestión de tecnología, gestión del recurso humano y gestión de compras y adquisiciones. El valor se agrega en la medida en que cada proceso se hace más productivo. Es decir, el valor es la suma de los beneficios percibidos que el cliente recibe menos los costos percibidos por él al adquirir y usar un producto o servicio (Cáceres y Escobar, 2006).

6.1.5 Compuestos bioactivos

Son sustancias químicas que se encuentran en pequeñas cantidades en las plantas y ciertos alimentos (como frutas, verduras, nueces, aceites y granos integrales). Los compuestos bioactivos cumplen funciones en el cuerpo que pueden promover la buena salud; por ejemplo, la prevención del cáncer, enfermedades del corazón y otras. Estos compuestos bioactivos incluyen al licopeno, resveratrol, lignanos, índoles y a los taninos por citar algunos ejemplos (Aponte *et al.*, 2008).

6.1.6 Actividad antioxidante

Los componentes bioactivos son constituyentes extranutricionales que se encuentran en pequeñas cantidades en algunos alimentos, dentro de estos compuestos se encuentran los antioxidantes, los cuales son de suma importancia en la salud, son necesarios para el buen funcionamiento del cuerpo manteniendo un balance de óxido reducción constante, preservando el equilibrio entre la producción de pro-oxidantes que se generan como resultado del metabolismo celular y los sistemas de defensa antioxidantes. La pérdida de este balance de óxido-reducción se caracteriza por un aumento en los niveles de radicales libres y especies reactivas, que no alcanza a ser compensado por los sistemas de defensa antioxidantes, causando daño y muerte celular. Cuando se produce

un desbalance entre la velocidad de formación y neutralización de los radicales libres, da como resultado un aumento en la concentración de éstos en el organismo y origina lo que se conoce como estrés oxidativo (Turrens, 2003).

6.1.7 Vida de anaquel

La vida de anaquel o durabilidad de un alimento se define como el período de tiempo durante el cual el alimento se conserva apto para el consumo desde el punto de vista sanitario y mantiene características sensoriales, físicas, químicas, nutricionales y funcionales por encima de un grado límite de calidad. Un alimento debe cumplir las características de calidad cuando se almacena bajo las condiciones recomendadas y depende de muchos factores, incluyendo la calidad de los ingredientes, la composición y estructura del producto, las condiciones de procesamiento, las características del envase y las condiciones de almacenamiento, manejo y distribución (De Villavicencio *et al.*, 2017).

Se deben mantener las características y desempeño del producto como fueron proyectados por el fabricante. El producto es consumible o usable durante este periodo, brindándole al usuario final las características, desempeño, seguridad y beneficios sensoriales esperados. Cuando cualquier atributo se pierde, se termina inevitablemente la vida útil del alimento.

Los factores intrínsecos como la materia prima, composición y reformulación (nutrientes, uso de preservantes), actividad de agua, valor de pH y acidez total, potencial redox, oxígeno disponible; influirán notablemente en la vida de anaquel de los productos (Labuza, 1982).

La vida de anaquel de un producto se define también, como el periodo de tiempo en el que un producto alimenticio una vez que es elaborado, empacado y almacenado, bajo condiciones establecidas, permanece óptimo y adecuado para su consumo (Estrada, 2015).

6.1.8 Bromatología

La bromatología es una de las disciplinas que estudia la composición química de los alimentos. La palabra Bromatología viene del griego “*Beopos*” que quiere decir “Alimento”

y tiene relación con ciencias como la química, la biología y la física; igualmente con la nutrición, la bioquímica, la farmacología y la toxicología (Ramírez, 2008).

Desde el punto de vista etimológico, la palabra bromatología significa ciencia de los alimentos. Definirla como concepto no es sencillo, ya que su sentido de ciencia ha ido variando en su desarrollo histórico y, según las épocas, se ha hecho mayor énfasis en los aspectos, o enfoques que han estado más en relación con las preocupaciones de cada momento. Expertos dicen ser más fácil describir el concepto de bromatología que definirlo.

Actualmente se entiende a la bromatología como una ciencia que responde a un cuerpo coherente de conocimientos sistematizados acerca de la naturaleza de los alimentos, de su composición química y de sus comportamientos bajo diversas condiciones. Por tanto, se puede definir como la ciencia que se centra en el estudio de los alimentos desde todos los puntos de vista posibles, teniendo en cuenta todos los factores involucrados, tanto en la producción de las materias primas, como en su manipulación, elaboración, conservación, distribución, comercialización y consumo. Es una ciencia multidisciplinar cuya estructura interna abarca numerosos aspectos (Bello, 2000).

Las diversas sustancias químicas integradas en la composición de los alimentos resultan un factor de fundamental importancia para las distintas fases implicados en los procesos de fabricación, comercialización y consumo de los mismos. La bromatología debe ser una ciencia aplicada, directamente relacionada con la industria alimentaria y las leyes de la alimentación dentro de una perfecta compenetración entre la ciencia y la práctica (Bello, 2000).

Los compuestos bioactivos también denominados fitoquímicos presentes en los alimentos y sus derivados son unos de los temas mayormente investigados. Recientes estudios han indicado el mecanismo fundamental del potencial preventivo de algunos de estos componentes, los cuales juegan un rol importante por su potencial antioxidante, antiinflamatorio, aumento potencial inmune, efecto antihormonas, modificación de enzimas encargadas de metabolizar las drogas, influencia sobre el ciclo celular y diferenciación celular, entre otros (Tsuda *et al.*, 2004).

Los compuestos bioactivos de mayor interés son los fenoles, debido a que estos componentes presentan efectos benéficos en la salud; su presencia está directamente relacionada con la dieta en las personas. Las frutas y verduras son las fuentes principales de fenoles, también se incluyen en el vino, semillas, flores, cerveza, té verde, té negro, soya, etc. Estos compuestos deben ser consumidos en la dieta humana de forma habitual (Yao *et al.*, 2004). Uno de los tantos beneficios es que reduce el riesgo de muchas enfermedades, incluyendo a las enfermedades crónicas como las cardiovasculares, hipertensión, cáncer y diabetes (Kris-Etherton *et al.*, 2004).

El consumo de dichos compuestos ha demostrado un incremento en su capacidad antioxidante, el número y la posición de grupos hidroxilo, la glicosilación y otras sustituciones determinan la actividad de secuestro de radicales por los compuestos fenólicos. Las diferencias que existen entre la actividad de secuestro de radicales están atribuidas a las diferencias estructurales de hidroxilación, glicosilación y metoxilación.

Los antioxidantes son sustancias que pueden defender al organismo de radicales libres, pues van a desempeñar un papel protector contra las especies reactivas de oxígeno (EROS), estrés oxidativo y enfermedades crónicas no transmisibles, por medio de diferentes mecanismos (redox o donación de electrones). Por otro lado, los antioxidantes se clasifican en dos grupos: enzimáticos (endógenos) y no enzimáticos (exógenos) (Venkatachalam *et al.*, 2014). Los antioxidantes enzimáticos comprenden; superóxido dismutasa (SOD), catalasa (CAT) y glutatión peroxidasa, y son producidos en los sistemas humanos. Mientras que, los antioxidantes no enzimáticos, son proporcionados por los alimentos y son ricos en frutas y verduras; polifenoles, carotenoides, vitaminas y minerales (Venkatachalam *et al.*; Rajendran *et al.*, 2014) y se podrían considerar como agentes preventivos, por ello que la demanda del consumo de alimentos antioxidantes se ha incrementado. Entre ellos se encuentran a los polifenoles que son el grupo de antioxidantes naturales más amplio en frutas y verduras; sin embargo, se debe considerar que el contenido de estos varía, ya que diversos autores mencionan que, la parte no comestible de las frutas (por ejemplo, cáscara, semillas, etc.) puede tener mayores contenidos nutricionales que la parte comestible (pulpa), es decir, contenido de compuestos bioactivos con mayor actividad antioxidante (Morais *et al.* 2015; Can 2017).

6.1.9 Antimicrobianos sintéticos

Los antimicrobianos son compuestos químicos añadidos o presentes en los alimentos que retardan el crecimiento microbiano o inactivan a los microorganismos y por lo tanto detienen el deterioro de la calidad y mantienen la seguridad del alimento (Davidson, 1997). Estos pueden ser sustancias de carácter sintético o natural, capaces de inhibir el crecimiento y destruir microorganismos. Algunos de los antimicrobianos sintéticos son los sulfitos y dióxidos de azufre, nitrito, sales de nitrito, ácido sórbico, y sus sales de sodio y potasio, ésteres de glicerol, ácido propionico, epóxidos, antibióticos y algunos aceites naturales esenciales, entre otros (Blanchard, 2000).

7. MARCO REFERENCIAL

7.1 Clasificación y características botánicas de *Carica papaya* L

La papaya pertenece a la familia botánica Caricaceae y su nombre científico es *Carica Papaya* L. La familia Caricaceae comprende cuatro géneros: *Carica*, *Jacarilla*, *Cylicomorpha* y *Jacaratia* y 71 especies, siendo el género *Carica* el de mayor número con 57 especies, *Jacarilla* con 10, *Cylicomorpha* con 2 y *Jarilla* con 2 (Torres, 1985). La planta de papaya es herbácea y de crecimiento rápido. Se clasifica como una especie perenne, ya que puede llegar a vivir unos 20 años. Se considera una hierba arborescente porque es muy poco lignificada. Por estas razones, en el caso de la papaya, el término árbol no es botánicamente apropiado.

La papaya pertenece a un grupo de especies de plantas conocidas como laticíferas. Estas plantas contienen una serie de células ramificadas e interconectadas que forman una matriz de tubos complejos y dispersos a lo largo de la mayoría de los tejidos, que secretan una sustancia conocida como “látex” (Rodríguez *et al.*, 2009).

La papaya (*Carica papaya*) es la especie más cultivada y conocida de los cuatro géneros de la familia caricáceae. La región de origen exacta no está completamente documentada, diferentes autores mencionan que es originaria de América Tropical, el Sur de México y América Central (Maisarah *et al.*, 2013; Rahmani y Aldebasi, 2016; Prabha y Modgil, 2018).

Este fruto es una fuente de azúcares naturales, vitamina C, contiene calcio y fósforo; es bajo en calorías y tiene valor medicinal. Se ha utilizado como laxante desde la antigüedad y también para el tratamiento de diversos trastornos digestivos, diabetes *mellitus* y es también eficaz para reducir el nivel de colesterol en la sangre (Prabha y Modgil, 2018). Su amplia aceptabilidad para consumo está relacionada con el alto contenido de vitaminas, minerales y compuestos fenólicos (Ali *et al.*, 2016; Salla *et al.*, 2016).

La vida de anaquel de la papaya a menudo se ve limitada por ser un fruto altamente perecedero y susceptible a diversas enfermedades postcosecha, debido a los cambios drásticos en las propiedades físicoquímicas. Las pérdidas postcosecha no sólo incluyen

pérdidas físicas en cantidad, sino también a la degradación de los compuestos bioactivos esenciales y en general a los atributos de calidad (Udomkun *et al.*, 2016).

Estos cambios están influenciados por la variedad, la región, técnicas de cultivo y etapa de maduración de la fruta durante la cosecha (Nuncio *et al.*, 2014). El manejo agronómico en general, afecta considerablemente la calidad del fruto.

7.2 Producción de papaya Maradol a nivel nacional

México ocupa el quinto lugar como productor a nivel mundial, principalmente de la especie Maradol; esta posición le permite destinar la quinta parte de la producción a los mercados internacionales. En 2015, Oaxaca fue el estado que encabezó la lista nacional de producción, entidad que, junto con Chiapas, Colima y Veracruz aportaron al mercado casi el 73% de este fruto. Además, dentro del grupo de frutales reportados por el servicio de Información agroalimentaria y pesquera (SIAP) la papaya cubre el 1.5% y 1.4 % del total de la superficie sembrada y cosechada (Feito y Portal, 2013).

La naturaleza de la fruta y su alta demanda ha permitido a México posicionarse como líder en exportaciones a nivel mundial, seguido en Latinoamérica por Belice y Guatemala. El mayor porcentaje de la producción se exporta (84%) hacia Estados Unidos.

A pesar de la relevancia del fruto en la economía mexicana, los productores de papaya se enfrentan a diferentes retos que han influido en las tasas de crecimiento de su producción y rendimiento; entre estos se encuentran problemas financieros, ausencia de tecnología e infraestructura, falta de capacitación y organización para la adecuada comercialización, altas mermas y falta de estrategias para el desarrollo de capital humano (Guzmán *et al.*, 2008). Además, los problemas propios del cultivo y su entorno: virus y plagas, cambios climáticos como falta de lluvia o disminución de las temperaturas. Investigadores de la Universidad de Florida, plantearon que las fluctuaciones en la producción de papaya en México se deben fundamentalmente al incremento de los costos de producción, dificultades de acceso a créditos y a las diferentes plagas y enfermedades que han atacado este cultivo. Otros estudios han demostrado que la cadena agroalimentaria de la papaya variedad Maradol se enfrenta a problemas asociadas a la baja capacidad de innovación y desarrollo, redes de comercialización cerradas, dependencia del exterior en la producción de semillas, uso intensivo de

químicos en cada etapa del proceso, altas mermas, altos costos económicos, altas vulnerabilidades a factores climatológicos y plagas, entre otros (Propapaya, 2014).

Entre los principales estados productores de papaya Maradol destacan por importancia de producción Veracruz el cual destina para este cultivo 2500 Ha; distribuidos entre los municipios de Cotaxtla, Tlalixcoyan, Soledad de Doblado, Actopan, Tierra Blanca y Manlio Fabio Altamirano en donde se concentra el 80% de la producción. Cotaxtla es el mayor productor con una superficie sembrada de 550 Ha y una producción de 17,050.00 t (SIAP, 2017).

7.3 Importancia del consumo de frutos

En la actualidad los hábitos alimenticios han cambiado, ahora los consumidores no tienen tiempo para preparar sus alimentos, por lo tanto, buscan comida lista para consumir. Las frutas son una excelente alternativa de alimentación sana y rápida que ayuda a resolver tal problemática (Bierhals *et al.*, 2011). El consumo de frutas aporta sustancias nutritivas al organismo, principalmente de vitaminas A y C, fibra y minerales, además de beneficios a la salud gracias a la presencia de antioxidantes que disminuyen el estrés oxidativo, previniendo o retardando algunas enfermedades (Jahan *et al.*, 2011). Una de las alternativas para consumir productos de mayor calidad, inocuos, saludables, que satisfagan las exigencias de los actuales consumidores, los cuales demandan productos mínimamente procesados listos para consumirse, es través de la conservación de alimentos. Existen varios métodos de conservación los cuales se basan en factores que evitan el crecimiento de los microorganismos y los cambios bioquímicos causados por enzimas. Estos métodos implican el control de temperatura, humedad, acidez o presencia de oxígeno; sin embargo, debe considerarse que el consumidor busca alimentos que conserven sus características nutricionales y sensoriales (Barbosa *et al.*, 2003).

7.3.1 Propiedades nutricionales de la papaya y los beneficios a la salud

La papaya no sólo posee un excelente sabor, buen color y delicioso aroma, además, es una fruta muy saludable y excelente fuente de vitamina A, C, B1, B2, hierro, calcio, fósforo, contiene aproximadamente de 85-90% de agua, 10-13% de azúcar, 0.6% de proteína. El valor nutricional de la fruta depende de la variedad, factores ecológicos

durante su desarrollo, y de la etapa de madurez, por lo que es de gran importancia el manejo de pre y poscosecha. El consumo de papaya es ideal para aliviar el estreñimiento debido a que su contenido de fibra le confiere propiedades laxantes. Ejerce un efecto saciante, lo que beneficia a las personas que llevan a cabo una dieta para perder peso (Ezike, 2009)

La presencia de pequeñas cantidades de compuestos bioactivos (vitaminas, tocoferoles, polifenoles, carotenoides, fitoesteroles, etc.) son en parte, responsables del valor nutricional en los alimentos. Algunos de estos compuestos bioactivos se caracterizan por poseer capacidad antioxidante y secuestrador de los radicales libres. Normalmente estos compuestos se encuentran en cantidades muy pequeñas, del orden de microgramos o nanogramos por 100 g de fruta o producto vegetal (Ramírez y Pacheco, 2009).

El fruto de papaya presenta alto contenido de nutrientes en las diferentes partes que lo integran a este delicioso fruto; lo anterior se puede observar en el siguiente Cuadro 1.

Cuadro 1. Principales constituyentes presentes en las distintas partes del árbol de papaya

Partes	Constituyentes
Fruta	Proteínas, grasas, fibras, carbohidratos, minerales: calcio, fósforo, hierro, vitaminas C, tiamina, riboflavina, niacina y caroteno, aminoácidos, ácidos cítrico y málico (fruta verde).
Jugo	Ácidos N-butíricos, ácidos <i>n</i> -hexanoicos y <i>n</i> -octanoicos, lípidos, mirísticos, Linoleico, linolenico y ácido oleico.
Semilla	Ácidos grasos, proteína cruda, fibra cruda, carpaina, bencilisotiocinato, bencilglucosinolato, glucotropacolina, benciltiourea, hentriacontano, Sitostrol, enzima myrosina.
Raíz	enzima myrosina
Hojas	Vitamina E y C, carpaina, colina.
Látex	Enzimas proteolíticas, papaína y quimiopapaína, glutamina, ciclortransferasa, quimopapinas A, B y C, peptidasa A y B, lisozimas.

Fuente: Rehman *et al.*, 2003; Krishna *et al.*, 2008.

7.4 Procesos de conservación de frutas y verduras en la agroindustria

El propósito de la agricultura es la producción de alimentos necesarios para la alimentación humana y animal, sin embargo, una gran parte de éstos tienen vidas útiles cortas (cosecha-consumo). Uno de los principales papeles que desempeña la agroindustria es propiciar el aumento del tiempo de conservación mediante tratamientos adecuados, permitiendo la planificación del suministro de alimentos, tanto en periodos de sobreproducción como en épocas de escasez (Plank R., 2005).

Para la conservación de los alimentos se han desarrollado muchos procedimientos, algunos de los cuales surgieron hace siglos, e incluso milenios. Sin embargo, su aplicación en escala industrial comenzó al final del siglo XVIII. El concepto general de la preservación de los alimentos es prevenir o evitar el desarrollo de microorganismos (bacterias, levaduras y mohos), para que el alimento no se deteriore durante el almacenaje; al mismo tiempo, se deben controlar los cambios químicos y bioquímicos que provocan deterioro. De esta manera, se logra obtener un alimento sin alteraciones en sus características organolépticas típicas (color, sabor y aroma), y puede ser consumido sin riesgo durante un cierto período (Hidalgo *et al*, 2006).

7.4.1 Tendencias en el procesado mínimo de frutas y hortalizas

El mercado de frutos mínimamente procesados constituye un sector de rápido crecimiento dentro de la industria alimentaria, debido a la alta demanda de alimentos de fácil preparación y consumo que aporten beneficios para la salud (Robles *et al.*, 2007; Andrade *et al.*, 2010) la papaya (*Carica papaya*) representa una importante fuente de antioxidantes naturales tales como vitamina C, carotenoides y compuestos fenólicos; por lo que puede considerarse como un fruto potencial para integrarse a este mercado. El procesamiento mínimo engloba operaciones como lavado, pelado, deshuesado, cortado y sanitizado (Andrade *et al.*, 2010). Posteriormente, los productos son colocados en bolsas selladas o empaques semipermeables y almacenados, con o sin atmósfera modificada, en refrigeración (Francis *et al.*, 2012; Rangel y López, 2012).

La comercialización de estos productos puede estar limitada en gran parte por excesivo ablandamiento de tejidos y oscurecimiento la pulpa, debido a que después de la cosecha y procesamiento, el metabolismo sigue activo (Teixeira *et al.*, 2012). Además, el

procesado mínimo acelera algunas reacciones biológicas, como la respiración y la pérdida de humedad (Rathod *et al.*, 2011). Estas reacciones inducen a cambios que impactan principalmente las características sensoriales del producto que pueden acortar la vida de anaquel (Alegría *et al.*, 2012; Ruelas *et al.*, 2013).

Un producto fresco cortado de buena calidad presenta apariencia fresca, textura aceptable, buen sabor y olor, seguridad microbiológica y vida útil prolongada que permita incluir al producto dentro de un sistema de distribución (Belloso y Rojas, 2005).

Otra variable importante es el tipo de recubrimiento, envase y empaquetado, que se utilice en productos mínimamente procesados. Se han realizado diversos estudios para determinar la vida de anaquel en diferentes productos, tratando de encontrar las condiciones adecuadas de envasado y evitar la degradación del producto. La vida de anaquel se determina al someter a estrés el producto, siempre y cuando las condiciones de almacenamiento sean controladas (Charm, 2007).

7.4.2 Tecnología e innovación en empaquetado de alimentos

Para prolongar la vida post-cosecha de los productos hortofrutícolas se han implementado diferentes tecnologías, entre ellas el almacenamiento a bajas temperaturas, la utilización de empaques plásticos para crear atmósferas modificadas y controladas, la aplicación de tratamientos hidrotérmicos, irradiación y formulaciones que contienen agentes biológicos, entre otros (Quezada *et al.*, 2003). Todas ellas a su vez ejercen cierto control en la incidencia de microorganismos patógenos. Se ha reportado que durante el manejo post-cosecha de los productos vegetales se pueden estimar pérdidas hasta del 40%, estas varían entre productos, áreas de producción y época del año (Aular, 2006).

Los procesos de conservación que la industria ofrece deben permitir obtener productos de excelente calidad, a un precio razonable y que, por encima de todo, sean seguros. Así, se busca que los nuevos métodos de tratamiento y conservación sean menos agresivos con el alimento, con un menor consumo energético y más eficaz contra enzimas y microorganismos alterantes patógenos. Actualmente, el consumidor valora no solo la vida útil, sino también la calidad de los alimentos, lo cual ha llevado a la creación del concepto de conservación utilizando tratamientos no térmicos. El objetivo con el que

se están desarrollando estos métodos, es eliminar, o al menos minimizar, la degradación de la calidad de los alimentos que se produce con el proceso térmico. Los alimentos pueden ser procesados por tratamientos no térmicos utilizando presiones hidrostáticas, campos magnéticos oscilantes, campos eléctricos pulsantes de alta intensidad, pulsos luminosos intensos, irradiación, métodos químicos, bioquímicos y métodos combinados (Rodríguez y Saucedo *et al.*, 2014).

Los alimentos sufren deterioro ocasionado por la acción de agentes biológicos (microorganismos, enzimas), físicos (luz, aire) y químicos (oxidación). Para retrasar el deterioro natural del alimento es necesario emplear métodos de conservación, éstos controlan las variables intrínsecas y extrínsecas de un alimento, prolongando la vida útil, brindando inocuidad, facilitando el transporte, el procesamiento y posibilitando el intercambio comercial. Para lograr lo descrito anteriormente se emplean tratamientos de tipo físico, químico y métodos emergentes.

Los empaques son cada vez más importantes para estos tipos de productos ya que forman una parte significativa del valor de la marca, la innovación e imagen y se adecúan a las necesidades de los consumidores, adaptándose al estilo de vida cada vez más cambiante. Por tanto, la prioridad principal de los empaques es la preservación y protección de todo tipo de productos, siendo los alimentos y las materias primas el campo de mayor prioridad. Estos productos requieren atención dada la contaminación generada por microorganismos (bacterias, esporas, hongos, etc.) durante la manipulación (Tharanathan, 2003).

Los empaques juegan un papel muy importante en la vida cotidiana de las personas, ya que son útiles en muchos campos de la industria. En el campo alimentario, estos cumplen funciones específicas tales como contener, proteger, informar y atraer, todo ello en aras de satisfacer las exigencias de los clientes. Es bien conocido que la presentación de los productos ante el consumidor es clave y se convierte en una estrategia de mercadeo, donde el empaque es el protagonista esencial. En este sentido, es de importancia tener en cuenta el diseño, el tipo de material usado y las características funcionales del mismo, principalmente cuando se incorpora el término “sostenibilidad del empaque” que

comprende eficiencia en términos económicos, sociales y ambientales (Navia *et al.*, 2014).

En la actualidad, se han hecho innovaciones importantes aplicando tecnologías modernas como el envasado en atmósferas modificadas, envasado aséptico, empaques que soportan condiciones extremas de temperatura (cocción de alimentos en hornos de microondas), empaques activos, materiales elaborados con nanopartículas, entre otros. Desde el punto de vista ambiental, los nuevos desarrollos comprenden materiales biodegradables específicamente de fuentes naturales, como polímeros de origen vegetal, animal o microbiano. Existen también innovaciones en los procesos de reciclaje y reutilización de materiales plásticos usados en la industria de los empaques; sin embargo, la naturaleza compleja de los plásticos en términos de composición polimérica y la presencia de impurezas demandan pre-tratamientos de limpieza y separación, previos al reciclaje (Ruelas *et al.*, 2013).

La industria de alimentos y los proveedores de los materiales usados en empaques alimentarios tienen gran responsabilidad y compromiso para proporcionar alimentos inocuos a los consumidores; debido a ello es fundamental prevenir cualquier peligro procedente del empaque hacia el alimento que pueda poner en riesgo la seguridad del mismo. Por lo anterior, es pertinente considerar el comportamiento de algunos de los componentes de los materiales de empaque como aditivos, plastificantes, colorantes, antiestáticos en las interacciones con los productos empacados durante el almacenamiento (González *et al.*, 2016).

7.4.3 Factores que determinan la vida de anaquel

La calidad de los productos alimenticios es afectada por una diversidad de factores que determinan su vida de anaquel. Esto se debe a que los alimentos sufren un proceso de degradación natural que puede ser física, biológica, química, o una combinación de las mismas. Esta degradación no solamente acorta la vida de anaquel, sino que en muchos casos afectará su valor nutritivo (Marín, 1999). Los principales factores que afectan la calidad de un producto alimenticio, así como su vida de anaquel, son: temperatura, humedad, concentración de oxígeno y luz. También existen factores de procesamiento y de empaque. Todos estos factores interactúan y pueden acelerar o disminuir los

procesos de degradación, reacciones físico-químicas, crecimiento y actividad microbiana, actividad enzimática, rancidez (oxidación lipídica), degradación de vitaminas y cambios en características organolépticas (Anzueto, 2002; Marín, 1999) Los factores intrínsecos como la materia prima, composición y reformulación (nutrientes, uso de preservantes), actividad de agua, valor de pH y acidez total, potencial redox, oxígeno disponible; influirán notablemente en la vida de anaquel de los productos (Labuza, 1982).

Existen métodos que han sido usados para contrarrestar los procesos de degradación, tales como el uso y aplicación de sistemas antioxidantes, recubrimientos con películas comestibles, uso de antimicrobianos naturales y sintéticos, aplicación de atmósferas controladas y modificadas, entre otros.

7.5 Efecto de los compuestos fenólicos presentes en algunos alimentos sobre la salud humana

En los últimos años se han generado importantes cambios en los hábitos de consumo, impulsados por la continua aparición de evidencias científicas que acreditan cómo a través de la dieta y sus componentes se pueden modular algunas funciones fisiológicas específicas en el organismo y por tanto favorecer el bienestar y la salud (Jiménez, 2013). En tal sentido, se están produciendo continuos avances en el desarrollo de alimentos percibidos más saludables, fundamentados en la presencia de compuestos biológicamente activos. En la actualidad los problemas de salud pública se centran principalmente en el envejecimiento de la población y en el aumento de la prevalencia de determinadas enfermedades crónicas (Herrera *et al.*, 2014). La oxidación inducida por especies reactivas de oxígeno (ROS) dan lugar a la desintegración de la membrana celular, daño de la proteína de la membrana y la mutación del ADN, que pueden iniciar el desarrollo de enfermedades incluyendo el cáncer, la diabetes, enfermedades neurodegenerativas y disfunciones cardiovasculares (Ravishankar *et al.*, 2013; Xiao *et al.*, 2014). Recientemente, estudios epidemiológicos sugieren que el consumo de compuestos bioactivos con potencial antioxidante, como vitaminas, carotenoides, flavonoides y otros compuestos fenólicos tiene efectos protectores contra las enfermedades anteriormente mencionadas. Además de sus propiedades biológicas, últimamente los compuestos bioactivos con gran potencial antioxidante han despertado

el interés en las tecnologías de alimentos, ya que pueden ser utilizados como sustitutos de los antioxidantes sintéticos, proporcionando protección contra la degradación oxidativa de los radicales libres (Jiménez *et al.*, 2011).

Entre las sustancias antioxidantes se encuentran las vitaminas E y C, los carotenoides, el zinc, el selenio, los polifenoles y compuestos de azufre. La actividad antioxidante de la vitamina E es de las más importantes; existe evidencia científica de que la vitamina E puede ayudar a prevenir ciertas formas de cáncer, por lo anterior, se dice que los compuestos bioactivos son componentes de los alimentos que influyen en la actividad celular y en los mecanismos fisiológicos y en el fortalecimiento del sistema inmunológico, los cuales se encuentran presentes en frutas y verduras donde su disponibilidad cualitativa y cuantitativa dependerá de la especie del fruto, grado de maduración y la variedad (Azcona, 2013).

Los hábitos de alimentación son muy diversos en diferentes zonas del mundo, el valor medio de flavonoides se calcula como 23 mg/día (Hertog *et al.*, 1996), siendo la de mayor importancia la quercetina. Las fuentes principales de flavonoides son el té negro, las cebollas, las manzanas, la pimienta negra que contienen aproximadamente 4 g/kg de quercetina, las bebidas alcohólicas como el vino y la cerveza también son fuente importante. Los flavonoides como las catequinas y las epicatequinas de la manzana, la pera, el albaricoque, el melocotón, la cereza comprenden entre 9-156 mg/kg de muestra fresca (Tsanova-Sanova *et al.*, 2005). La ingesta promedio de flavonoides y flavonas se sitúa entre 20 y 26 mg/día, por lo que esta cantidad excede a otros antioxidantes de la dieta, tales como el β -caroteno (2-3 mg/día) y la vitamina E (7-10 mg/día), vitamina C (70- 100 mg/día). En muestras de cerveza se han encontrado alrededor de 29 nmol/L (Martínez *et al.*, 2002). A partir de esto se puede decir que los polifenoles representan una contribución muy importante al potencial antirradical en la dieta humana.

7.6 Métodos para determinar la actividad antioxidante en alimentos

La actividad antioxidante no se mide directamente, pero puede determinarse por los efectos del compuesto antioxidante en un proceso de oxidación controlado; por tal motivo la medición de la actividad antioxidante se puede valorar mediante la formación de

productos intermedios o finales por la reacción entre el oxidante (radicales libres) y el antioxidante.

Varios ensayos químicos *in vitro* se han desarrollado para medir la capacidad antioxidante de diversos componentes de productos vegetales que, basándose en el mecanismo de reacción. Los ensayos pueden ser divididos en dos categorías: los basados en la reacción por transferencia de átomos de hidrógeno (HAT), y los ensayos basados en la reacción por transferencia de electrones (ET) (Ndhlala, Moyo, & Van Staden, 2010). La clasificación se muestra en el siguiente Cuadro 2.

Cuadro 2. Clasificación de los modelos de ensayo *in vitro* según su modo de reacción ET o HAT (Huang, Ou, & Prior, 2005).

Categoría	Ensayo
Ensayos basados en la transferencia de átomos de hidrógeno (HAT)	Capacidad de absorción del radical oxígeno (ORAC) Parámetro antioxidante de captura de radicales (TRAP) Inhibición de la oxidación de los lípidos de baja densidad (LDL) Blanqueamiento del b-caroteno Inhibición de la oxidación de ácido linoleico
Ensayos basados en la transferencia de electrones (ET).	Capacidad antioxidante de equivalentes Trolox (TEAC, ABTS) 1,1-difenil-2-picril-hidrazilo (DPPH) Poder de reducción antioxidante del ion férrico (FRAP) Capacidad de reducción antioxidante del cobre (CUPRAC) Compuestos fenólicos totales por el Reactivo de Folin-Ciocalteu

Estos métodos deben ser rápidos, reproducibles y requerir cantidades pequeñas de los compuestos químicos por analizar, además de no estar influenciados por las propiedades físicas de dichos compuestos.

Los ensayos basados en la transferencia de electrones (ET) implican generalmente una reacción redox que involucran dos componentes: el oxidante y el antioxidante, en la cual el oxidante resulta como un indicador del punto final de reacción. Generalmente el cambio de color en el oxidante ocurre cuando este remueve un electrón del antioxidante, indicando que el grado de cambio de color es proporcional a la concentración de antioxidantes en la reacción (Ndhlala y Staden, 2010).

La mayoría de los ensayos basados en HAT monitorean una reacción cinética competitiva, generalmente están compuestos por un generador de radical libre, una molécula oxidable y un antioxidante. Dado que la transferencia de átomos de hidrógeno es un paso clave en la cadena radical, los métodos basados en HAT son más relevantes para medir la capacidad de antioxidante para romper la cadena de formación de radicales (Ndhlala y Staden, 2010).

Los ensayos basados en HAT y ET fueron desarrollados para medir la capacidad de atrapar radicales libres, en lugar de la capacidad preventiva antioxidante de una muestra (Huang y Prior, 2005).

Alternativamente, diversos compuestos cromógenos (ABTS, DPPH, DMPD, DMPO y FRAP) son utilizados para determinar la capacidad de los compuestos fenólicos que contienen los frutos para captar los radicales libres generados, operando así en contra los efectos perjudiciales de los procesos de oxidación, que implican a especies reactivas de oxígeno (EROS) (Arnous *et al.*, 2002).

Los métodos más aplicados son ABTS y DPPH. Ambos presentan una excelente estabilidad en ciertas condiciones, aunque también muestran diferencias. El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, mientras que el ABTS tiene que ser generado tras una reacción que puede ser química (dióxido de manganeso, persulfato potasio, ABAP), enzimática (peroxidase, mioglobulina), o también electroquímica. Con el ABTS se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica, mientras que el DPPH solo puede disolverse en medio orgánico, y el DMPD solo en medio acuoso. El radical ABTS tiene, además, la ventaja de que su espectro presenta máximos de absorbancia a 414, 654, 754 y 815 nm en medio alcohólico, mientras que el DPPH presenta un pico de absorbancia a 515 nm, y el DMPD a 505 nm (Gayosso *et al.*, 2011). Los resultados de los métodos se pueden reportar en TEAC, actividad antioxidante equivalente al Trolox ($\mu\text{mol TE/g}$ peso seco).

7.7 Cromatografía de Gases (CG), Espectrofotometría de Masas (EM) y Espectrofotómetro UV-VIS

Mediante la cromatografía de gases (CG) se puede determinar, por ejemplo, el perfil completo de las moléculas presentes en un lípido. Esta información se puede utilizar para calcular las cantidades de grasas saturadas, insaturadas, poliinsaturadas y colesterol, el grado de oxidación lipídica, el grado de daño por calor o radiación, detectar adulteración, y, determinar la presencia de antioxidantes (Olguín y Rodríguez, 2004).

La CG es esencialmente un método físico de separación en el que los componentes a separar se distribuyen entre dos fases, una inmóvil (lecho estacionario), y otra móvil (fase móvil). Un análisis cromatográfico implica el paso de una mezcla de las moléculas a separar a través de una columna que contiene una matriz capaz de retardar selectivamente el flujo de las moléculas. Las moléculas en la mezcla se separan debido a sus diferentes afinidades para la matriz en la columna. Cuanto más fuerte es la afinidad entre una molécula específica y la matriz, su paso es retardado y lento a través de la columna. Así, se pueden separar diferentes moléculas en base a la fuerza de su interacción con la matriz. Después de separarse por la columna, la concentración de cada una de las moléculas se determina a medida que pasan por un detector adecuado (por ejemplo, UV-visible, fluorescencia o ionización por llama).

La espectrofotometría de masas (EM) es otra de las importantes técnicas que se han desarrollado para el análisis del perfil en diversos compuestos. Se introdujo en el ámbito del análisis de biomoléculas al final de la década de los años 70 del siglo pasado con la aparición de diversas técnicas de ionización suave, como la desorción por campo eléctrico (FD), la desorción por plasma (PD) y la ionización por bombardeo con átomos rápidos (FAB) (Roepstorff y Richter, 1992). Es una técnica analítica instrumental de alta sensibilidad capaz de identificar cualitativa y cuantitativamente, y de forma inequívoca, cualquier tipo de mezclas de sustancias. Asimismo, esta técnica permite también determinar la masa molecular de un compuesto, así como de los diversos fragmentos que resultan de la ruptura controlada del mismo, dando estos una información muy valiosa sobre la estructura de la molécula (Abián *et al.*, 2008).

Comúnmente un espectrómetro de masas va acoplado a un sistema de separación cromatográfico, lo que ha permitido que se puedan identificar y cuantificar con mayor fiabilidad sustancias presentes en alimentos, puesto que un falso positivo puede desembocar en la paralización errónea de un determinado cargamento de alimentos, así como un falso negativo puede permitir que lleguen al mercado alimentos que no cumplen con la legislación. Este acoplamiento se realiza a través de una interface que conecta el sistema cromatográfico con el detector (Niessen, 2003).

Otras de las técnicas desarrolladas han sido los espectrofotómetros UV-VIS. Estos son instrumentos de laboratorio utilizados para análisis cualitativos y cuantitativos de compuestos químicos. La principal utilidad del espectrofotómetro es la capacidad de proyectar un haz de luz monocromática (de una longitud de onda particular) a través de una muestra y medir la cantidad de luz que es absorbida por dicha muestra, así como también la relación de la intensidad del color en una muestra y su relación a la cantidad de soluto dentro de la misma. La espectrofotometría UV-Visible es una técnica de medición de concentración de masa de elementos y compuestos químicos (Mavrodineanu, 1994).

Se fundamenta en medir la radiación monocromática absorbida por un elemento o molécula causante de desplazamientos electrónicos a capas superiores, estas transiciones determinan la región del espectro en la que tiene lugar la absorción. La ley fundamental en que se basa los métodos espectrofotométricos es la ley de Lambert-Beer en el cual establece que existe una relación lineal entre la absorbancia y la concentración y el camino óptico.

8. LITERATURA CITADA

- Abián J, M Carrascal and M Gay. 2008. "Introducción a la espectrometría de masas para la caracterización de péptidos y proteínas". *Proteomica*.2: 16-35.
- Alegría C, J Pinheiro, M Duthoit, EM Goncalves, M Moldão M. M., and M Abreu. 2012 Freshcut carrot (cv. *Nantes*) quality as affected by abiotic stress (heat shock and UV-C irradiation) pretreatments. *LWT-Food Science and Technology* 48:197-203.
- Ali A, GK Hei and Y W Kea. 2016. Efficacy of ginger oil and extract combined with gum arabic on anthracnose and quality of papaya fruit during cold storage. *Journal of Food Science and Technology* 53(3):1435-1444.
- Anderson C, J, R Manus and G S Roger. 1994. A theory of quality management underlying the Deming Management Method. *Academy of Management Review*. 19(3): 472-509.
- Andrade C, MJ, C Moreno G, A Henríquez B, A Gómez G and A Concellón A. 2010 Influencia de la radiación UV-C como tratamiento post-cosecha sobre carambola (*Averrhoa carambola* L.) mínimamente procesada almacenada en refrigeración. *Revista Iberoamericana de tecnología post-cosecha*. 11:18-27.
- Aponte M, M Calderón, A Delgado, I Herrera, Y Jiménez, Z Ramírez, J Rojas and Y Toro. 2008. Fitoquímicos. División de investigación de alimentos (D.I.A). División de nutrición en salud pública, Venezuela.
- Archbold D, A, R Koslanund and K Pomper W. 2003. Ripening and postharvest storage of pawpaw. *Horttechnology* 13 (3): 439-441.
- Arnous A., D Makris P and P Kefalas. 2002. Correlation of pigment and flavanol content with antioxidant proprieties in selected aged regional wines from Greece. *J. Food Comp. Anal.*, 15, 655-665
- Arras V, A. 2010. Comunicación organizacional (Tercera ed.). Chihuahua, Chihuahua, México: UACH.
- Aular J. 2006. Consideraciones sobre el manejo post-cosecha de frutas en Venezuela. In: Salamanca, G. (Ed.) Anales del Seminario Hortofrutícola Colombiano y I Congreso Iberoamericano sobre Sistemas de Procesado. Ibagué Tolima: 59-62.
- Belloso M, O Fortuny S and R Baldwin A. 2005. Conservación mediante recubrimientos comestibles. In: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. Centro de Investigaciones en Alimentación y Desarrollo A.C. Hermosillo, Sonora, México p. 558.
- Berrios D, G Omaira and G Briceño M. 2009. Enfoques epistemológicos que orientan la investigación de 4to nivel. *Visión Gerencial*. 8: 47-54.
- Bertoglio O, J. 1993. Introducción a la Teoría General de Sistemas. México, D.F.: Limusa.
- Cáceres D, F Silviotti, G Ferrer, G Sotto and C Bisio. 2009. Agriculturización estrategias campesinas en el norte de la provincia de Córdoba. In: Actas de las VI Jornadas Interdisciplinarias de Estudios Agrarios y agroindustriales. Buenos Aires: UBA. p. 27.

- Casal R, A and V Norka. 2002. La corriente positivista y su influencia en la ciencia contable. *Actualidad Contable FACES*. 5(5): 7-22.
- Chiavenato I. 1997. Teoría de sistemas In: *Introducción a la Teoría General de la Administración*. Cuarta edición. McGraw-Hill. pp: 725-761
- Davidson P, M and S Zivanovic. 2003. The use of natural antimicrobials. En: *Food Preservation Techniques*. Zeuthen P, L Bogh-Sorensen. (Ed.). Washington. Pp: 5-29
- De Villavicencio M, N, R Hernández Á, I Rodríguez Á, I Rodríguez J and Y Torres L. 2017. Metodología para la estimación de la vida útil de los alimentos. Procedimiento general. *Ciencia y tecnología de los alimentos Vol. 17*. N° 1.
- Dean J, W, and E David B. 1994. Management Theory and Total Quality: Improving Research and Practice through Theory Development. *Academy of Management Review*. 19(3): pp. 392-418.
- Dobles C, M Zúñiga and García J. 1998. *Investigación en educación: procesos, interacciones y construcciones*. San José: EUNED.
- Estrada G, I, E Hernández A, A Tagle R and F Lagunes F. 2015. Determinación de vida de anaquel en confitados. *Revista de tecnología e innovación*. 2(3): 392-400.
- Ezike A, P Akah, C Okoli, N Ezeuchenne and S Ezeugwu. 2009. *Carica papaya* unripe fruit may be beneficial in ulcer. *J Med Food*. 12(6). Pp. 68-73).
- Feitó D and M Porta. 2013. La competitividad en las exportaciones de papaya de México: Un análisis cuantitativo. *Perspectivas: revista análisis de economía, comercio y negocios internacionales.*, 7(2):27-54.
- Francis G, A, A Gallones, G Nychas J, J Sofos N, G Colelli, M Amodio L and G Spano 2012. Factors Affecting Quality and Safety of Fresh-Cut Produce. *Critical Reviews in* 52:595-610.
- Gallopín G, C. 1994. Agroecosystem health: A guiding concept for agricultural research In *Agroecosystem health: Proceedings of an International Workshop* (N. O. Nielsen, ed.), pp. 51–65.
- George A, L and A. Bennett. 2005. *Case Studies and Theory Development in the Social Sciences*. MIT Press, Cambridge, MA.
- Gliessman S. 2002 *Agroecología. Procesos ecológicos en agricultura sostenible*. Costa Rica. LITOCAT. 340 p.
- Gómez M. 2006. *Introducción a la metodología de la investigación científica* Editorial brujas. 150 pp. 1era edición. ISBN 987-591-026-0.
- Guzmán E, R Gómez, A Pohlan J, J Álvarez J, J Pat and V Geissen V. 2008. La producción de papaya en tabasco los retos del desarrollo sustentable. *El cotidiano*, 23(147):99-106.
- Hernández X, E. 1977. El agroecosistema: Concepto central en el análisis de la enseñanza, la investigación y la educación agrícola en México. En E. Hernández

- (Ed.). Agroecosistemas de México: contribuciones a la enseñanza, investigación y divulgación agrícola. 11-12.
- Herrscher G, E. 2005. Pensamiento Sistémico. Caminar el cambio o cambiar el camino. Ed. Granica. México D.F. 266 pp.
- Hidalgo I, S, M de la Llana G, A Pavía M. 2006. Innovaciones en el procesado de alimentos. Tecnologías no térmicas. Rev med univ navarra, 50(4), 71-74.
- Huang D, B Ou, and R Prior. 2005. The Chemistry behind Antioxidant Capacity Assays. Journal of Agricultural and Food Chemistry, 53, 1841-1856, pp. 1841-1848. Noviembre 18, 2016, De American Chemical Society Base.
- Jahan S, T Gosh, M Begum and B Saha K. 2011. Nutritional profile of some tropical fruits in Bangladesh. Especially anti-oxidant vitamins and minerals. Bangladesh Journal of Medical Science, 10(2):95-103.
- Jansson C, T Pihlström, B Österdahl and K Markides E. 2004. "A new multi-residue method for analysis of pesticide residues in fruit and vegetables using liquid chromatography with tandem mass spectrometric detection". *J Chromatogr A*; 10(23):93-104.
- Jayathunge K, H Prasad, M Fernando and K Palipane. 2011. Prolonging the postharvest life of papaya using modified atmosphere packaging. Journal of Agricultural Technology, 7(2):507–518
- Jung C, N, A Manenoi A and R Paull E. 2007. Papaya postharvest physiology and handling. Problems and Solutions. Acta Hort. 740: 285-293.
- Kris E, P, M Lefevre M, G Beecher R, M Gross D, C Keen L and T Etherton D. 2004. Bioactive compounds in nutrition and health-research methodologies for establishing biological function: The Antioxidant and Anti-inflammatory Effects of flavonoids on Atherosclerosis. Annual Review of Nutrition 24: 511 – 538.
- Krishna K, M Paridhavi. 2008. "Review on nutritional, medicinal and pharmacological properties of papaya (*Carica papaya* Linn.)." Nat Prod Radian, 7: 364- 373.
- Labuza T. 1982. "Shelf Life Dating of Foods". *Food y Nutrition Press Inc. Westport United States of America*. Pp: 30, 66.
- León S. 2009. Agroecología: desafíos de una ciencia ambiental en construcción. Agroecología 4: 7-17.
- Maisarah A, M, A Nurul B, R Asmah and O Fauziah O. 2013. Antioxidant analysis of different parts of *Carica papaya*. International Food Research Journal 20(3):1043-1048
- Marten G, G. 1988 Productivity, stability, sustainability, equitability and autonomy as properties for agroecosystem assessment. Agricultural Systems. 26: 291-316.
- Belloso O, M, G Rojas MA. 2005. Factores que afectan la calidad. En: Nuevas tecnologías de conservación de productos vegetales frescos cortados. González-Aguilar GA, Gardea AA, Cuamea-Navarro F (eds) CIAD AC. Hermosillo. 558 pp.

- Martínez D, JP, F Gallardo L, LC Bustillo G, YA Pérez V. 2011. El agroecosistema, unidad de estudio y transformación de la diversidad agrícola. In: Comisión nacional para el conocimiento y uso de la biodiversidad (Conabio). La biodiversidad en Veracruz: Estudio de Estado.
- Mendoza G, A. 2012. La teoría en la investigación científica: marco teórico, modelo y medición. UANL. Primera Edición Madrid. 53pp.
- Morais D, R. Antioxidant activity, phenolics and UPLC-ESI-MS of extracts from different tropical fruits parts and processed peels. *Food Research International*. Vol 77 (3): 392-399.
- Morín E. 1990. Introducción al pensamiento complejo. Barcelona: Gedisa
- Morín E. 2003. El Método. V. La humanidad de la humanidad. La identidad humana. Madrid, Cátedra.
- Navia P, D, A Ayala A, C Villada C. 2014. Interacciones Empaque-Alimento: Miración. *Revista Ingenierías Universidad de Medellín*. 13(25):248.
- Ndhlala A, M Moyo M, and Van Staden J. 2010. Natural Antioxidants: Fascinating or Mythical Biomolecules. *Journal Molecules*, 15, 6905-6930.
- Niessen W, MA. 2003. Progress in liquid chromatography-mass spectrometry instrumentation and its impact on high-throughput screening". *J Chromatographo A*. 1000:413-436.
- Nuncio J, N, A Calín S, A Carbonell BA and Hernández F. 2014. Changes in quality parameters, proline, antioxidant activity and color of pomegranate (*Punica granatum* L.) as affected by fruit position within tree, cultivar and ripening stage. *Scientia Horticulturae* 165: 181-189.
- Odum E, P. 1972. *Ecología Tercera edición*, Editorial Interamericana. México, D.F. 308 p.
- Olguín L, P, M Rodríguez M. 2004. "Cromatografía de gases". *Métodos en Biotecnología. Universidad Nacional Autónoma de México*. 46 p.
- Pérez V, A. 1996. El concepto de Agroecosistemas: definiciones y enfoques. En: *Notas para el Curso Teórico-Práctico de Introducción al Estudio de los Agroecosistemas Tropicales*. Colegio de Postgraduados. Campus Veracruz. Manlio Fabio Altamirano, Veracruz, México. 2-19.
- Pita F, S and D Pértegas S. 2002. Investigación cualitativa y cuantitativa. *Cad Aten Primaria*, 9: 6-78
- Poblete G, Z. 1999. Criterios para identificar la relevancia de las investigaciones educacionales. *Pensamiento educativo*. Vol. 4. 313-331.
- Porter L,W. 1989. *Methods in Plant Biochemistry*, I: Plant Phenolics; Harborne, J.B., Ed.; Academic Press: London, UK, 1989; pp. 389–419. 4.
- Prabha A and R Modgil. 2018. Comparative nutritional quality evaluation of different cultivars of papaya. *Asian Journal of Dairy and Food Research* 37 (2):158-161.

- Prior R, L, G Cao. "In vivo total antioxidant capacity: comparison of different analytical methods". *Free Rad. Biol. Med.*, 27: 1173-1181.
- PRO-papaya 2017, Situación actual de la papaya. www.propapaya.org [consulta: 11 de enero 2019].
- Quezada J, M Díaz, M Gutiérrez and F Debeaufort. 2003. Application of edible coatings to improve shelf-life of mexican guava. *Acta Horticulturae* 599:589-594.
- Rahmani A and Y Aldebasi. 2016. Potential role of *Carica papaya* and their active constituents in the prevention and treatment of diseases. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 8(1): 11-15.
- Ramírez A y Pacheco, E. Propiedades funcionales de harinas altas en fibra dietética obtenidas de piña, guayaba y guanábana. *Inter-ciencia*, 34(2), 293-296, 2009.
- Rangel M, M and M López M. 2012. Cambios en frutas tropicales frescas, cortadas y empacadas en atmosfera modificada durante su almacenamiento en refrigeración. *Departamento de Ingeniería Química, Alimentos y Ambiental*. 6(2): 94-109.
- Rehman R, M Israr. 2003. *In vitro* regeneration of witloof chicory (*Cichorium intybus* L.) from leaf explants and accumulation of esculin." *In Vitro Cellular & Developmental Biology-Plant* 39(2): 142-146.
- Reza F. 1997. *Ciencia metodología e investigación*. Primera Edición, Editorial Imagen. México. 237-24
- Robles S, M, S Gorinstein, O Martín B, H Astiazarán G, G González A and R Cruz V. 2007. Frutos tropicales mínimamente procesados: potencial antioxidante y su impacto en la salud. *Inter-ciencia* 32:227-232.
- Rodríguez S, R, G Rojo M, R Martínez R, H Piña R, B Ramírez V, H Vaquera H and M Cong H. 2014. *Envases inteligentes para la conservación de alimentos Ra Ximhai*, vol. 10,6:151-173
- Roepstorff P, Richter W J. (1992). "Status of, and developments in, mass spectrometry of peptides and proteins". *International Journal of Mass Spectrometry and Ion Processes* 118(119):789-809.
- Rojas C, R. 2011. Elementos para el diseño de técnicas de investigación: una propuesta de definiciones y procedimientos en la investigación científica. *Tiempo de Educar*. 12(24):277-297
- Ruelas C, X, M Reyes Vega, B Valdivia U, JC Contreras E, JC Montañez S, AF Aguilera C and RD Peralta R. 2013 Conservación de frutas y hortalizas frescas y mínimamente procesadas con recubrimientos comestibles. *Revista Científica de la Universidad Autónoma de Coahuila* 5:31-37.
- Ruíz R, O. 1995. Agroecosistema: El término, concepto y su definición bajo el enfoque agroecológico y sistémico. *II Seminario Internacional de Agroecología*. Universidad Autónoma Chapingo. Chapingo, México. 9 p.

- Salla S, R Sunkara, S Ogutu, L Walker and M Verghese. 2016. Antioxidant activity of papaya seed extracts against H₂O₂ induced oxidative stress in HepG2 cells. *LWT Food Science and Technology* 66:293-297.
- Sarandón S, J. 2014. El agroecosistema: un ecosistema modificado. En: *Agroecología: Bases teóricas para el diseño y manejo de agroecosistemas sustentables*. Universidad Nacional de La Plata; Buenos Aires, Argentina. Pp: 100-130.
- SIAP. Servicio de información y estadística Agroalimentaria y Pesquera. 2017. http://infosiap.siap.gob.mx/agricola_siap_gb/icultivo/index.jsp
- Tapia M, S. 1990. Cultivos Andinos Sub-explotados y su aporte a la Alimentación. FAO, Santiago de Chile.
- Teixeira G, H A, J Durigan F, R Alves E and T O'Hare J. 2008. Response of minimally processed carambola to chemical treatments and low-oxygen atmospheres. *Postharvest Biology and Technology* 48:415-42.
- Tejeda J, D. 2006. El positivismo científico de Augusto Comte y lo utilizado por la ciencia del derecho en el siglo XX. Ensayo. Academia Vallet de Goytisolo.
- Tharanathan R. 2003. Biodegradable film and composite coatings: past, present and future. *Critical Review in Food Science and Technology* 14:71-78
- Trebuil G. 1990. Principles and steps of the method of diagnosis on agrarian systems: A case study from Sathing Phra area Southern Thailand. Part 1. Prince of Songkla University. Tailandia. pp. 29-64.
- Tsanova S, S, G Ribarova F. 2005. (+)-Catechin and (-)-epicatechin in Bulgarian fruits. *Journal of Food Composition and Analysis* 18: 691-698.
- Tsuda H, Ohshima Y, Nomoto H, Fujita K, Matsuda E, Iigo M, Takasuka N, Moore MA. 2004. Cancer prevention by natural compounds. *Drug Metabolism and Pharmacokinetics* 19(4): 245 – 263.
- Turrens E, J. 2003. Mitochondrial formation of reactive oxygen species. *Journal Physiology*, 552(2): 335-344.
- Udomkun P, M Nagle, D Argyropoulos, B Mahayothee, S Latif and J Müller. 2016. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chemistry* 196: 712-719.
- Venkatachalam K, R Rangasamy and Krishnan V. 2014. Total, antioxidant activity and radical scavenging capacity of selected fruits and vegetables from South India. *International Food Research Journal*. Vol 21(3): 1039-1043.
- Vilaboa A, J, P Díaz R, O Ruiz R, D Platas R, S González M, and F Juárez L. 2011. Caracterización socioeconómica y tecnológica de los agroecosistemas con bovinos de doble propósito de la región del Papaloapan, Veracruz, México. *Tropical and Subtropical Agroecosystems*. 10:53-62.
- Waltner T, D. 1994a. Ecosystem health: A framework for implementing sustainability in agriculture. In *Agroecosystem health: Proceedings of an International Workshop* (N. O. Nielsen, ed.), pp. 8–23.

- Waltner T, D. 1994b. Agroecosystem health care. In Agroecosystem health: Proceedings of an International Workshop (N. O. Nielsen, ed.), pp. 39–48.
- Wanden B, C , M Camilo A and J Culebras. 2010. Conceptos y definiciones de la desnutrición iberoamericana. *Nutr Hosp Supl.* 3(3):1-9.
- Weick K, E. 1989. "Theory Construction as Disciplined Imagination", *Academy of Management Review.* 14(4):516-531.
- Wood S, K. and S Zcherr J. 2000. Pilot Analysis of Global Ecosystems: Agroecosystems. International Food Policy Research Institute and World Resources Institute, Washington, D.C. USA. 125 p.
- Yao L, H, Y Jiang M, J Shi, FA Tomas B, N Datta, R Singanusong and S Chen S. 2004. Flavonoids in food and their health benefits. *Plant Foods for Human Nutrition* 59(3): 113-122.

CAPÍTULO 1

Situación actual del cultivo de papaya (*Carica papaya* L.) sobre el aprovechamiento integral del fruto para dar valor agregado, en el municipio de Cotaxtla, Veracruz

Resumen

El cultivo de papaya es uno de los frutales más rentables para el estado de Veracruz. El municipio de Cotaxtla es el principal productor de papaya con una superficie de 550 hectáreas. Los productores de papaya se enfrentan a numerosos problemas agronómicos. La principal variedad cultivada es Maradol. Uno de los principales inconvenientes a los que se enfrenta este cultivo es la alta susceptibilidad a virosis, entre otras enfermedades que pueden llegar a destruir por completo grandes hectáreas de este cultivo. Por tanto, el presente capítulo tuvo como objetivo conocer la situación actual del cultivo de papaya y la percepción de los productores sobre alternativas de agregación de valor en Cotaxtla, Veracruz. Se aplicó un cuestionario de opción múltiple a 32 productores de papaya para conocer el manejo agronómico, precio, calidad del fruto, comercialización, periodos de mayor y menor demanda; entre otros aspectos de importancia. Se logró percibir el interés de los productores en el desarrollo de productos industrializados que optimicen el aprovechamiento de la fruta, disminuyendo así las pérdidas que se generan. Dar valor aquellos frutos que no tienen mercado, es decir, que presentan daños por manipulación, por presencia de hongos, tamaño inadecuado o deformación. Lo anterior les permitirá mayor percepción económica al proporcionar un valor agregado al fruto de papaya.

Palabras clave: fruto, manejo agronómico, productores, calidad.

1.1 INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya* L.) es una planta herbácea, originaria de América tropical, que se cultiva en los trópicos y sub-trópicos más cálidos, tiene gran importancia económica por su alto valor nutritivo, propiedades sensoriales y medicinales, características que han contribuido en aumentar su cultivo. México ocupa el sexto lugar a nivel mundial por superficie sembrada, pero es el primero en exportación del fruto, principalmente a Estados Unidos y Canadá. Además, la papaya en México tiene una posición relevante en el mercado nacional, la principal variedad que se cultiva en México es Maradol. En la actualidad hay aproximadamente 12,500 hectáreas sembradas con papaya en el país; se siembra en 19 entidades de la República, con cosechas casi todo el año, los estados productores más importantes son Oaxaca (274,525 t, 31%), Chiapas (162,876 t, 18%), Colima (108,996 t, 12%), Veracruz (102,488 t, 12%) y Michoacán (51,846 t, 6%), que conjuntamente aportan el 79% del volumen total (FAO, 2015).

La papaya es una fruta susceptible durante el manejo post-cosecha, por lo que se requiere cuidados para evitar pérdidas y mermas de un alto costo económico. Las enfermedades post-cosecha pueden iniciarse durante la ontogenia del fruto o después de la cosecha con la maduración fisiológica. Después de cosechados, los frutos pasan por una serie de transformaciones endógenas resultado del metabolismo celular. El aumento de los azúcares solubles, de agua libre y de las pectinas es acompañado por la reducción de algunos componentes fenólicos y protopectínicos, que tornan los frutos más sensibles al daño mecánico y al ataque de diversos microorganismos. Por lo que en esta etapa es punto crítico en la calidad del fruto; por lo tanto, se deben implementar tecnologías que ayuden a minimizar este problema (Silva *et al.*, 2002). Las enfermedades fúngicas son la principal causa de pérdida de papaya durante la comercialización debido a la falta de controles fitosanitarios durante el cultivo y a un manejo inadecuado de almacenamiento (Flórez K., 2009).

Este fruto se comercializa para consumo en fresco y, en menor proporción, para obtener papaína que se usa en diferentes industrias alimenticias, del calzado, la industria cervecera, carnes, farmacéutica, productos de belleza y cosmética. La papaya se considera fuente de antioxidantes (carotenos, vitamina C y flavonoides), vitamina B

(ácido fólico y ácido pantoténico o vitamina B5), minerales (potasio, magnesio, entre otros) y fibra.

Con base en lo anterior, la presente investigación tuvo como objetivo conocer la situación actual del cultivo de papaya y la percepción de los productores sobre alternativas de agregación de valor en Cotaxtla, Veracruz.

1.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Se realizó la aplicación de un cuestionario estructurado con 38 reactivos de opción múltiple a 32 productores de papaya, en algunos de los municipios pertenecientes a la zona centro de Veracruz: Tlaxicoyan, Cotaxtla, Piedras Negras, Soledad de Doblado (Figura 4). Se obtuvo información útil para la caracterización del estado actual de la zona productiva e identificar cuál es la situación actual del cultivo y la percepción de los productores sobre las alternativas de agregación de valor.

Se consideraron diferentes aspectos relacionados con el cultivo de papaya. Las categorías exploradas de la investigación mediante el cuestionario fueron: edad del productor, escolaridad, ingreso por el cultivo de papaya, tipología del productor, productividad, organización de los productores, costos de producción, aprovechamiento del fruto y comercialización. Los datos obtenidos fueron analizados en Excel, mediante estadística descriptiva.

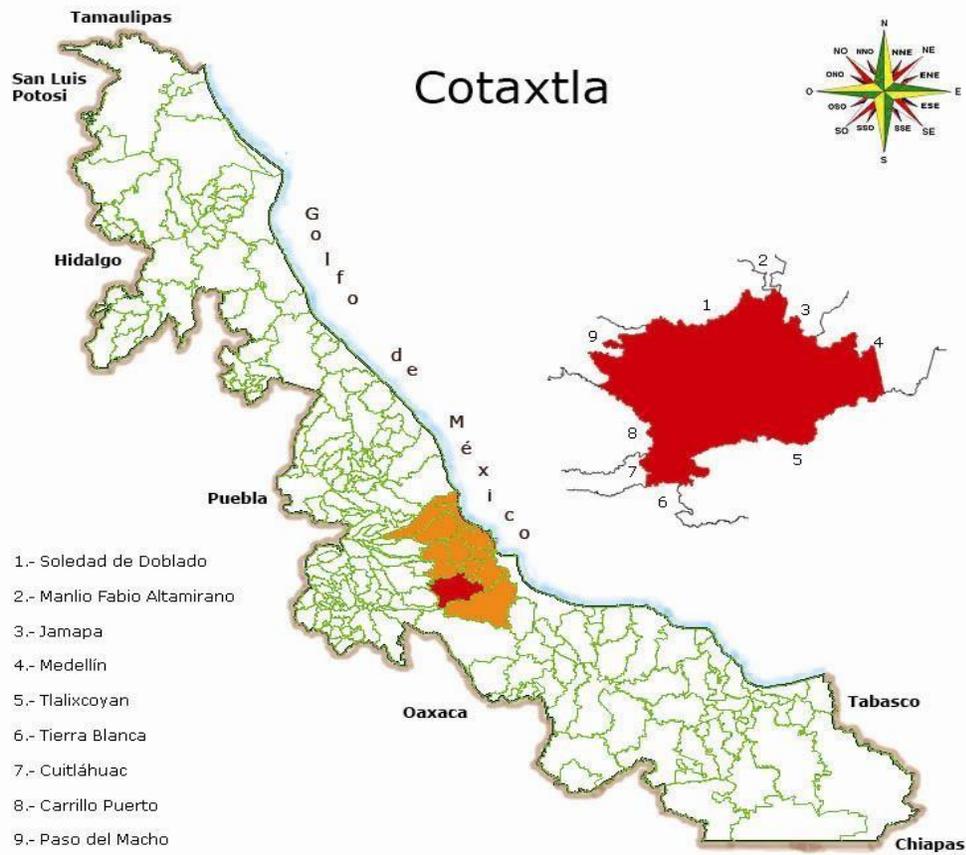


Figura 4. Mapa geográfico de la zona de estudio.

1.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Fueron entrevistados 32 productores dedicados al cultivo de papaya Maradol; dentro de los aspectos sociales destacó que el 6% tienen de 20 a 30 años de edad, 22% está entre 30 y 40 años, y el 72% restante lo integran productores que tienen de 40 a 70 años (Figura 5). En cuanto al nivel educativo, el 67% de los encuestados concluyó su escolaridad primaria, sólo el 6% cumple con alguna carrera, mientras que el 15% y 12% tienen secundaria y preparatoria, respectivamente.

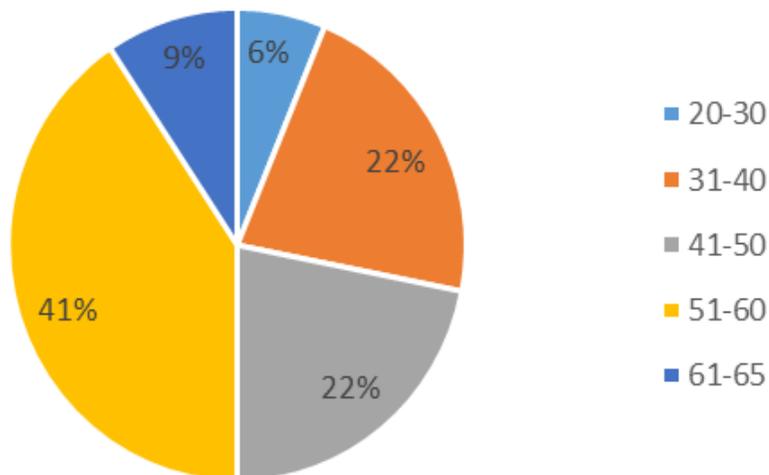


Figura 5. Edad promedio de los productores de papaya Maradol en el municipio de Cotaxtla, Veracruz.

En la figura 5 se observa que los productores de papaya son personas de edad madura, individuos que por su actual edad tienen años de experiencia en el cultivo de este fruto; tal como se muestra en la figura 6. Algunos de ellos mencionaron que la actividad requiere mucho compromiso, además de ser muy estresante la espera de la cosecha. Pues no saben si el clima será favorable durante el ciclo o si diversas plagas y enfermedades atacarán sus cultivos; siendo esta última la mayor incertidumbre que presenta dicha actividad. Las pérdidas en este cultivo pueden llegar hasta del 100% si no se atiende de manera oportuna con buenas prácticas agrícolas (BPM).

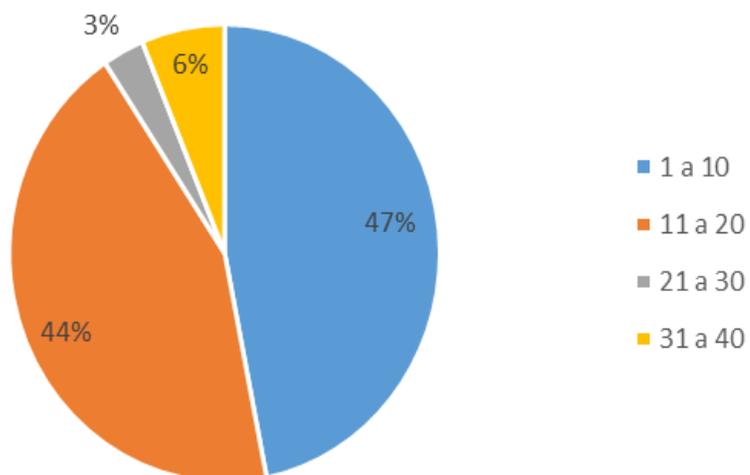


Figura 6. Años de experiencia de los productores de de papaya en la región de Cotaxtla, Veracruz.

La figura 7 muestra que el 37.5% de los productores entrevistados poseen entre 1 a 5 ha de cultivo, el 31.3% de 6 a 10 ha, y el resto (31.3%) cuentan con una superficie mayor a 11 ha. Lo anterior, indica que los productores de papaya entrevistados, se pueden catalogar como pequeños productores, ya que casi el 70% de ellos poseen superficies menores de 10 ha. Debido a las características de los productores es necesario trabajar en la organización de éstos para que tengan acceso a los apoyos otorgados por diferentes instancias gubernamentales de orden municipal, estatal y federal, a fin de lograr una producción de calidad para aprovechar favorablemente el mercado.

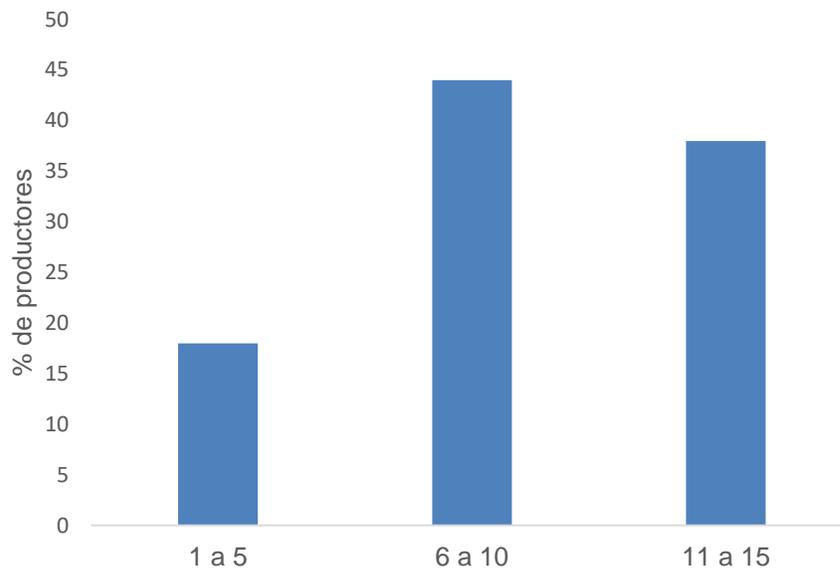


Figura 7. Superficie sembrada por los productores de papaya en la región centro del estado de Veracruz.

Para incrementar las áreas de cultivo y con ello la producción es necesario que las políticas de apoyos y subsidios hacia la actividad agrícola sean eficaces para el desarrollo sustentable de la producción de papaya. Dentro de la región existen estructuras asociativas que cumplen con la función de conocer y compartir conocimientos técnicos; así como capacitar a los productores sobre el manejo de plagas y enfermedades, innovación en cuanto a tecnología, nuevas investigaciones desarrolladas en el sentido de mejorar variedades. Entre otros temas, los productores pueden compartir su interés y prioridades en cuanto al cultivo se refiere, entre otras funciones.

Los productores mencionaron pertenecer al Sistema Producto Papaya, principal estructura organizativa que rige a nivel nacional en México. Dicha organización nace con el objetivo de fomentar mecanismos de coordinación que ayuden al sector papayero a responder de manera estable a las demandas de los mercados nacionales e internacionales y evitar la sobreproducción. Sin embargo, falta consolidar un volumen de producción mediante la comercialización conjunta, cuidar la sostenibilidad de la producción, mejorar la calidad y proteger los recursos naturales de las zonas de cultivo. De los productores entrevistados el 56.3% pertenece al sistema producto papaya y el 43.7% no pertenece a esta organización; la falta de una organización es un problema

que llevaría a los productores a otros problemas, ya que sin este tipo de organizaciones los avances del cultivo son mínimos.

Existen otras organizaciones las cuales fueron mencionadas por los entrevistados como son: Grupo Cotaxtla, Agrupación Unido Río Tonto, y el Consejo Nacional de Productores Veracruzanos.

El destino de la producción del fruto es alrededor del 69.2% para el mercado nacional, 17.9% al regional y local, 7.6% estatal y solo el 5.13% para exportación. Esto último, por la falta en el cumplimiento de los requisitos fitosanitarios, dado que los pequeños productores, por lo general, no aplican buenas prácticas agrícolas (BPA), en comparación con los productores con más volumen, donde sus procesos cumplen los estándares de exportación.

En relación con variedades establecidas, la que más predomina entre los productores de papaya en el municipio de Cotaxtla es la Maradol, lo que coincide con lo reportado por Menchú *et al.* (2016). De esta variedad se han derivado una serie de cultivares, tales como Maribel, Juan y Passion red.

Sin embargo, la variedad Maradol sigue siendo la más cultivada por los productores, por presentar mejores características de adaptabilidad, calidad del fruto y fácil comercialización por su alta aceptación en el mercado nacional. Es un fruto con tamaño aceptable (entre 1-2 kg), textura firme y mejor sabor por su alto contenido de sólidos solubles, a diferencia de otras variedades, donde la textura no es tan firme y conlleva a una pérdida mayor de firmeza en menor tiempo, disminuyendo así su vida de anaquel con mayor rapidez. De acuerdo con la información recaudada, las variedades que destacan en el municipio de Cotaxtla son: la Passion Red, línea chiapaneca, el Híbrido MS, Intenza, Carisem, Mandujano, Caribe, cubana y mulata.

Entre las variedades que más se recomiendan para la zona de estudio se encuentra Maradol (origen cubano), el híbrido MSXJ (INIFAP) y la variedad Mulata, que producen frutos de forma alargada y cilíndrica (formados de plantas hermafroditas) y esféricos (provenientes de plantas hembras), con peso de 1.3 a 2.75 kg, contenido de sólidos solubles de 8 a 10.1%, pulpa de color rojo y buena firmeza de pulpa.

Como se ha venido mencionando los pequeños productores han abandonado el cultivo de papaya por los altos porcentajes de pérdidas, lo cual se debe, en gran medida, a la presencia de plagas y enfermedades que atacan al cultivo de papaya, lo que provoca pérdidas hasta de un 100%. Aunado a esto, el desplome de los precios obliga a los productores a dejar el fruto en la planta hasta que caiga por sí sola, ya que el proceso de cosecha conlleva un gasto innecesario para el productor; es por esto que los productores de papaya en el municipio de Cotaxtla se han inclinado por el cultivo de limón persa por presentar menos problemas sanitarios hasta la fecha.

En cuanto a la disponibilidad de agua, el 19% es de temporal, el 47% utiliza sistemas de riego por goteo y un 34% combina el sistema de riego con el de temporal. El único sistema establecido en la región es el riego por goteo a través de las llamadas "cintas"; cuenta con una tubería primaria de mayor diámetro que va del pozo a la parte central del huerto y una red secundaria conectada a ésta, la cual distribuye el agua a cada papayo. Debido a que el papayo es una planta de rápido y continuo crecimiento, requiere altos requerimientos nutricionales, los cuales se suministran a través de las "cintillas".

Todos los productores encuestados realizan fertilización química, solo el 3% la combinan con fertilización orgánica. Entre los productos químicos utilizados se encuentran los productos granulados como sulfato de calcio, nitratos, fósforo, potasio, cloruro de potasio, fosfato negro, triple 16, triple 17 y triple 18; el más común es el fosfato diamónico, mejor conocido como DAP. Las aplicaciones varían para cada productor, algunos mencionaron que aplican de manera semanal, otros cada 15 días, 20 días, o de manera mensual. Los productores con menos hectáreas sembradas aplican únicamente una vez o dos veces por ciclo, todo depende de la problemática que se presente en los cultivos durante todo el ciclo. Muy pocos productores mencionaron que aplican las cantidades recomendadas por las etiquetas técnicas, la mayoría mencionó aplicar entre 200 kg hasta 2 t por ha; otros mencionaron que realizan aplicaciones de aproximadamente 200 g, 150 g, 50 g por planta. La densidad de siembra es, en promedio, de 2500 plantas por ha de cultivo.

La buena nutrición del cultivo se liga directamente con la calidad del fruto. La insuficiencia de nitrógeno produce frutos pequeños, la deficiencia de fósforo origina problemas en la

síntesis de azúcares, grasas y proteínas, así como en la acumulación de energía; el potasio se asocia con mala apariencia y sanidad del fruto (Epstein y Bloom, 2005).

Estos nutrimentos deben ser suministrados de manera regular, pero excesos de aplicación pueden originar trastornos fisiológicos y afectación ambiental por percolación y escurrimiento de nutrimentos (Lovatt, 2000).

La planta toma los elementos nutritivos directamente de lo aportado por el productor (Tapia *et al.*, 2007). Los resultados encontrados en el presente trabajo han demostrado que más del 50% de los productores aplica fertilizante sin tener en cuenta requerimientos por la planta, también es de gran importancia considerar las condiciones edáficas y climáticas, éstas son diferentes y como consecuencia pueden tener deficiencia o exceso de nutrimentos.

El 100% de los productores presentó o ha presentado problemas de plagas y enfermedades en sus cultivos. Los más comunes son: pulgones, arañas rojas, mosca de la papaya, enfermedades virales, enfermedades fungosas y enfermedades bacterianas.

Las buenas prácticas agrícolas no han sido aplicadas de manera eficiente durante el cultivo de papaya. No se han llevado a cabo análisis en base a la presencia de bacterias patógenas como *Samonella* y *Escherichia coli* las cuales están presentes en el medio ambiente y suelo. Y como consecuencia se contaminan los frutos durante el transporte por contaminación cruzada.

La cosecha de papaya se realiza de manera manual, separando el fruto de la planta; el producto cosechado se depositó en carretillas y se utilizó papel para evitar roces que puedan causar algún tipo de daño mecánico en el fruto. Posterior a ello, los frutos se envolvieron en papel estraza y colocados en cajas de cartón con capacidad de 6 a 8 piezas por caja, según la dimensión del fruto con el péndulo hacia abajo. Se minimizó, en gran medida, los daños mecánicos en los frutos y hace más eficiente el proceso de transporte; este proceso es aplicable únicamente para el mercado internacional. Cuando el producto tiene como destino los mercados internos nacionales, el fruto es transportado a granel desde el campo hasta los centros de consumo, en grandes camiones sin sistema de refrigeración; esto afecta la calidad del fruto y en consecuencia la comercialización del mismo. En nuestro país no se ha desarrollado una tecnología de empaque adecuada

para este producto. Los productores venden a pie de huerta a los diversos intermediarios que operan en la región.

La producción de papaya ha venido disminuyendo, lo que ha hecho a este cultivo poco redituable para los productores, esto se debe a la presencia de plagas y enfermedades que como se ha dicho anteriormente es un problema serio para estos cultivos. La calidad del fruto que se produce en la región de Veracruz no es de primera, aunado a esto el desplome de los precios y el cambio climático han resultado en pérdidas para la producción. Lo anterior ha orillado a los productores de papaya a realizar otras actividades, tales como el cultivo como el de maíz, frijol, limón y tomate de cáscara, la ganadería y la acuacultura. En la siguiente Figura 8 se muestra el rendimiento de papaya en tonelada por hectárea (t/ha).

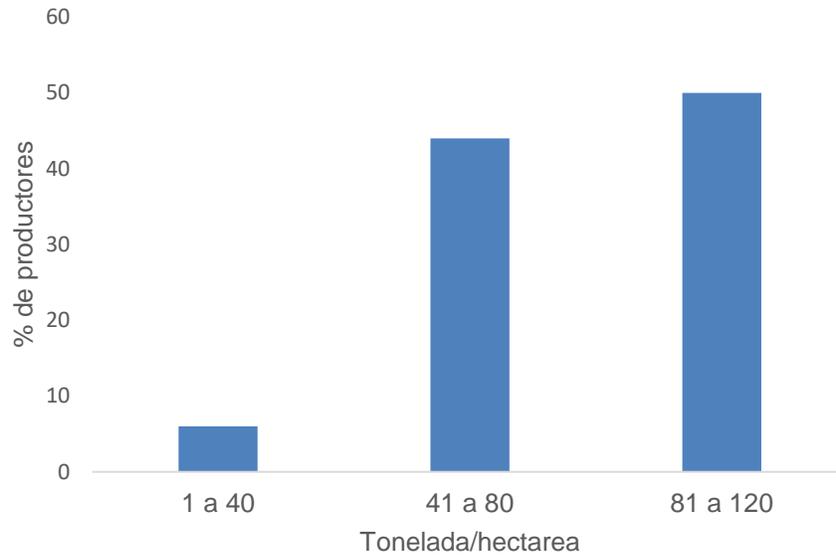


Figura 8. Rendimiento en el cultivo de papaya en la región centro del estado de Veracruz.

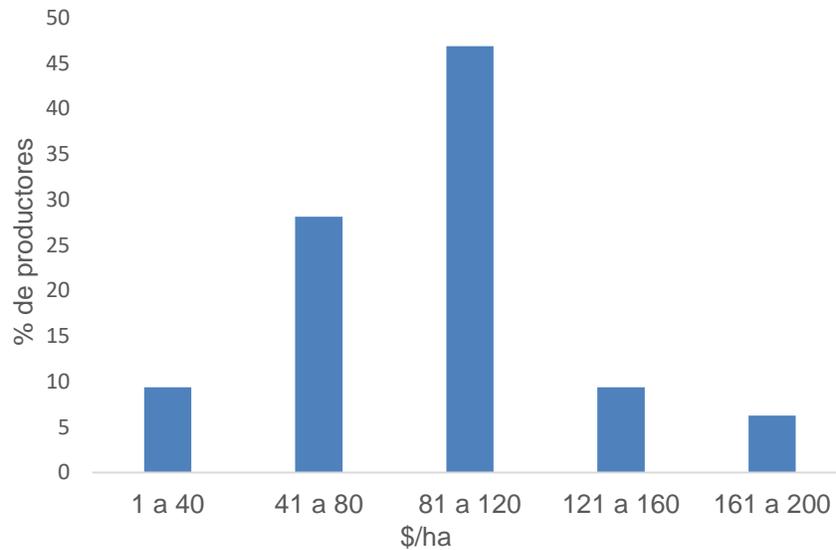


Figura 9. Costos de producción en pesos por hectárea sembrada de papayo de la región centro del estado de Veracruz.

El 81% de los productores está de acuerdo en que es rentable el cultivo de papaya, los precios que se manejan durante todo el año han presentado fluctuaciones con base en la oferta y la demanda del fruto. Para que el productor de papaya no pierda su inversión en esta actividad, debe de vender su fruto en \$2.83 por kg como mínimo. Cabe señalar

que si vende los frutos en \$1.41 por kg como ha venido ocurriendo, tienen pérdidas de inversión y, por tanto, esta actividad deja de ser rentable. La Figura 10 muestra los precios máximos, en promedio, y mínimos que se han pagado durante el año 2017 por cada kg de fruto a los productores de papaya.

El Sistema Nacional de Información e Integración de Mercados (INFOASERCA) establece un precio rentable para productores de \$3.20 pesos; dato que difiere por los valores obtenidos en el presente trabajo por productores del estado de Veracruz donde reportan \$2.83.

En ese mismo año, el precio máximo pagado a los productores ascendió a \$8.50 por kg, mientras que el más bajo fue de \$7.50 por kg, de lo anterior se puede precisar que el precio máximo pagado por kilo de papaya coincide con los reportados en la presente investigación. Por su parte, el precio que difiere con lo encontrado es el precio mínimo \$1.41 por kg. En los mercados mayoristas, la papaya se vendió por precios de entre \$10.32 y \$12.87 por kg. En los supermercados, oscilaron entre \$16.32 y \$20.27 por kg. La figura 10 muestra los precios que se han venido manejando durante el año en curso (2017) por kg de papaya.

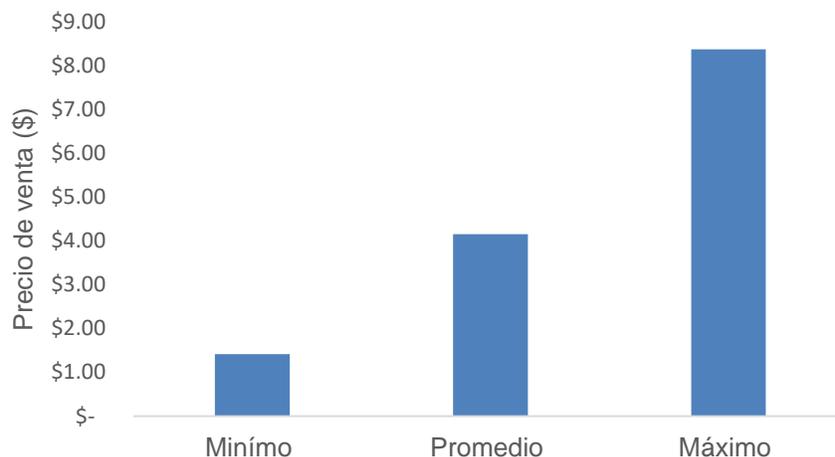


Figura 10. Precio de venta mínimo, promedio y máximo por kilogramo de papaya en la región centro del estado de Veracruz.

Los precios varían dependiendo de la demanda y producción que haya a nivel nacional. Los meses de mayor demanda de este fruto son de enero a abril y los de menos demanda de julio a octubre, por lo que existe influencia en el precio por la temporada a nivel nacional. Los meses con mayor flujo comercial al extranjero son de marzo a junio (SIAVI, 2017).

Los productores de papaya adquieren las semillas para la producción de proveedores certificados, ya que así se garantiza su germinación. El 43.3% utiliza mano de obra contratada, el 12.5% mano de obra familiar y el resto ambas, lo cual es de suma importancia, debido a que esta actividad productiva genera empleos en la región, ayudando a los pobladores a llevar el sustento a sus hogares.

El manejo post-cosecha que se le da al fruto, es precario e insuficiente, ya que en algunas ocasiones el fruto entra en contacto con el suelo; las carretillas con la que transportan el fruto al lugar de acopio no lucen limpias, utilizan papel periódico para envolver los frutos con la finalidad de evitar golpes y mallugaduras. No existe homogeneidad para la cosecha en cuanto al estado de madurez; por lo regular la cosecha no la realizan bajo la sombra, por lo que los rayos del sol y altas temperaturas repercuten en la calidad del fruto. Aunado a esto, el transporte sin sistema de refrigeración provoca que el fruto madure con mayor rapidez acortando su vida de anaquel.

El lavado y desinfectado se hace en campo, no realizan un secado ni escurrido posterior del fruto, lo cual puede generar contaminación de tipo fungosa por el exceso de humedad externa. Este proceso muchas veces no depende de los productores, en ocasiones quienes se encargan de lavar, desinfectar y transportar el producto son los intermediarios.

Los productores mencionaron que la producción de papaya es una actividad con muchos riesgos sobre todo fitosanitarios. Para enfrentar dicha problemática, los investigadores del centro de investigación INIFAP han trabajado en el desarrollo de nuevas variedades resistentes a plagas y enfermedades. Sin embargo, los costos para adquirir semillas y en general un paquete tecnológico de variedades con resistencia es muy costoso. Por tanto, solo productores muy consolidados adquieren semillas que garantizan la germinación y resistencia a plagas y enfermedades.

Las nuevas variedades de papaya, no han sido del agrado de los consumidores, por presentar menor firmeza en la pulpa, el grado de dulzura es menor a las variedades ya establecidas como Maradol.

Se logró apreciar preferencia, por parte de las organizaciones que apoyan esta actividad, dado que solo grandes y medianos productores son invitados a talleres y pláticas sobre Buenas Practicas de Manejo, avances sobre investigaciones a nuevas variedades y en general de la situación actual del cultivo de papaya. Estas reuniones se realizan, regularmente, en el centro de investigación INIFAP. Los pequeños productores que necesitan de asesoría para implementar mejores técnicas agrícolas en el cultivo de papaya son aquellos que no participan en dichas reuniones, lo que representa un problema que debería ser solucionado a la brevedad. Se pudo percibir que los productores con mayor número de hectáreas sembradas reciben apoyo de los técnicos que laboran para empresas de fertilizantes o bien propietarios de negocios agropecuarios.

Lo más relevante de la presente investigación es el aprovechamiento que los productores realizan con aquellos frutos que no cumplen con los estándares de calidad en tamaño, forma y sobreproducción.

Entre los aprovechamientos que actualmente realizan son la alimentación del ganado con frutos de papaya que no se comercializan, vender a proveedores para la elaboración de jabones y dulces, únicamente en pequeñas cantidades. Lo anterior, hace de vital importancia la generación de una planta piloto que pueda propiciar la conservación y transformación del fruto en productos agroindustriales, tal como se hace en cítricos, donde las grandes empresas están en la búsqueda de compuestos bioactivos que puedan dar valor y así desarrollar derivados del mismo.

Los resultados mostraron que los productores no tienen la capacidad técnica, ni cultural de realizar algún tipo de aprovechamiento a los frutos de papaya; se requieren de investigaciones que den valor agregado al fruto para minimizar pérdidas mediante la transformación de este, a través del desarrollo de fruta mínimamente procesada, deshidratada, elaboración de jugos, mermeladas, conservadas en almíbar; opciones rentables para el productor y no solo la opción de vender en fresco.

De los productores encuestados, el 56.3% mencionó que están interesados en dar algún tipo de aprovechamiento al fruto; sin embargo, no saben cómo hacerlo, ya que desconocen sobre el tema; el 43.7% restante no está interesado en llevarlo a cabo.

Se percibió una actitud positiva por parte los productores de papaya para elaborar productos deshidratados, la extracción de papaína, elaboración de jugos, pulpa en almíbar y dulces cristalizados. Mencionaron no contar con la capacitación, ni los recursos económicos para llevar a cabo estas actividades. Por tanto, es de suma importancia gestionar apoyos financieros, así como, proporcionar información sobre programas gubernamentales, tanto a nivel federal como estatal e incluso municipal que den este tipo de apoyos financieros para que los productores pueden tener accesos a éstos.

1.4 CONCLUSIONES

México ocupa el primer lugar como exportador del fruto de papaya, sin embargo en el estado de Veracruz la situación del cultivo presenta deficiencias en el manejo agronómico lo cual repercute en frutos de baja calidad en los parámetros de firmeza, °brix, peso, tamaño y forma inadecuado, principalmente. El destino de la producción es el 69.2% para el mercado nacional, 17.9% regional, 7.6% local-estatal y solo el 5.13% es de exportación. Por lo anterior, se deben de producir frutos de primera calidad para incursionar con un mayor porcentaje en el mercado internacional.

La pérdidas en la etapa post-cosecha son producto de una inadecuada manipulación que se le da al fruto. La papaya es transportada a granel desde el campo hasta los centros de consumo, en grandes camiones sin sistema de refrigeración; esto afecta la calidad del fruto y en consecuencia la comercialización del mismo. Aunado a esto, el incorrecto almacenamiento provoca que este madure más rápido disminuyendo su vida de anaquel.

La percepción de los productores sobre el aprovechamiento del fruto para la agregación resultó en una actitud positiva. El 56.3% mencionó estar interesado en dar algún tipo de aprovechamiento al fruto. Sin embargo, no saben cómo hacerlo, ya que desconocen sobre el tema. Entre los procesos de interés se encuentran productos deshidratado, la extracción de papaína, elaboración de jugos, pulpa en almíbar y dulces cristalizados.

1.5 LITERATURA CITADA

- Epstein E, Bloom J. 2005. Mineral Nutrition of Plants: Principles and Perspectives. Sinauer Associates, Inc. Sunderland, Massachusetts. 400 p.
- FAO. 2015. Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. <http://faostat.fao.org>.
- Flórez O, F Marín and J Angener. 2009. Estudio de las prácticas de cosecha y postcosecha de la papaya (*Carica papaya* vs Maradol), en el departamento de Huila, Colombia. Revista de investigación Agraria y Ambiental 1:29-36.
- Lovatt C, J. 2000. Nitrogen fertilization strategies to increase yield of the "Hass" avocado. Proceedings of the California Avocado Research Symposium. San Bernardino, California. pp. 75-85.
- Menchu R, JV. 2016. Manejo de los plaguicidas en el agroecosistemas con papaya (*Carica papaya* L.) en Cotlaxtla, Veracruz.
- SAGARPA. 2015. Servicio de información agroalimentaria y pesquera. www.siap.sagarpa.gob.mx
- Silva C, S Michereff, H Albuquerque, J Silva, S Oliveira and S Dantas. 2002. Epidemiologia de enfermedades fúngicas de postcosecha en frutos de papaya; Epidemiology of postharvest fungal diseases in papaya fruits. Biol. Micol 17:1-7.
- Tapia L, M Marroquin, F Cortés, I Anguiano, J Castellanos Z. 2007. Nutrición del Aguacate, pp. 87-107. In: D. Téliz y A. Mora (eds.). El Aguacate y su manejo integrado. 2ª Edición. Editorial Mundi-Prensa. México, D.F.

CAPÍTULO 2

Cambios fisicoquímicos que se presentan en el fruto de papaya (*Carica papaya* L.), cv Maradol en diferentes estados de madurez

Resumen

La papaya es un fruto tropical de alto consumo en México, no solo por el agradable sabor, sino por los beneficios a la salud humana debido al alto contenido de compuestos bioactivos como polifenoles y actividad antioxidante. El objetivo fue analizar los cambios fisicoquímicos y compuestos bioactivos que se presentan en el fruto de papaya en diferentes estados de madurez. Se tomó una muestra de 40 frutos en una huerta comercial en cuatro estados de madurez (EM). Se evaluó el contenido de humedad, sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT), índice de maduración (IM), firmeza, color, contenido fenólico total (FT) y actividad antioxidante (AA). Los resultados obtenidos mostraron cambios en el pH, con valores entre 5.36 y 5.82 con diferencias significativas entre estados de madurez. Los fenoles totales variaron de 500.51 a 429.04 mg GAE 100 g⁻¹ d.w., en función al estado de madurez. Los antioxidantes mostraron valores de 434.44 a 395.71 µM TE g⁻¹ d.w, bajo el método ABTS, ambos compuestos no variaron durante la maduración. Por tanto, se concluye que los parámetros fisicoquímicos cuantificados resultan de gran importancia para generar indicadores de calidad en el fruto de papaya y los contenidos de compuestos bioactivos evidencian el potencial benéfico a la salud; información útil para productores y consumidor final.

Palabras clave: compuestos bioactivos, sólidos solubles totales, índice de madurez, acidez titulable.

2.1 INTRODUCCIÓN

La papaya (*Carica papaya*) es la especie más cultivada y conocida de los cuatro géneros de la familia caricáceae. La región de origen exacta no está completamente documentada, diferentes autores mencionan que es originaria de América Tropical, el Sur de México y América Central (Maisarah *et al.*, 2013; Rahmani y Aldebasi, 2016; Prabha y Modgil, 2018).

Este fruto es una fuente de azúcares naturales, vitamina C, contiene calcio y fósforo; es bajo en calorías y tiene valor medicinal. Se ha utilizado como laxante desde la antigüedad y también para el tratamiento de diversos trastornos digestivos, diabetes *mellitus*, es eficaz para reducir el nivel de colesterol en la sangre (Prabha y Modgil, 2018). Su amplia aceptabilidad para consumo está relacionada con el alto contenido de vitaminas, minerales y compuestos fenólicos (Ali *et al.*, 2016; Salla *et al.*, 2016).

La vida de anaquel de la papaya a menudo se ve limitada por ser un fruto altamente perecedero y susceptible a diversas enfermedades post-cosecha, debido a los cambios drásticos en las propiedades fisicoquímicas. Las pérdidas post-cosecha no sólo incluyen pérdidas físicas en cantidad, sino también a la degradación de los compuestos bioactivos esenciales y en general a los atributos de calidad (Udomkun *et al.*, 2016). Estos cambios están influenciados por la variedad, la región, técnicas de cultivo y etapa de maduración de la fruta durante la cosecha (Nuncio *et al.*, 2014). Es una fruta climatérica con vida de anaquel corta; en condiciones ambientales normales, este fruto completa su madurez en aproximadamente una semana (Albertini *et al.*, 2016).

Durante la maduración del fruto, la cáscara experimenta cambios notables en el color como resultado de los cambios en el contenido de pigmentos, reducción de la clorofila y síntesis de carotenoides (Silva *et al.*, 2005). El criterio empleado comúnmente para la cosecha de papaya es la presencia de vetas longitudinales de coloración amarilla (también llamadas franjas o rayas), que aparecen y se concentran en el ápice de la fruta. La norma mexicana NMX-FF-041-SCFI-2007 (Secretaría de Economía, 2007) describió el color externo de la papaya Maradol basado en la presencia de vetas y porcentaje de color verde, amarillo o naranja en el fruto; según los siete grados de madurez que van de madurez fisiológica a madurez de consumo (Santamaría *et al.*, 2009). Cosechar antes

de la madurez fisiológica del fruto causa pérdidas en poscosecha (Souza *et al.*, 2017). Un estudio sobre la evolución de la maduración del fruto, es importante para definir el indicador de cosecha y hacer un manejo adecuado en poscosecha que permita incrementar la vida de anaquel para su posterior consumo. El objetivo fue analizar los cambios fisicoquímicos y compuestos bioactivos que se presentan en el fruto de papaya en diferentes estados de madurez.

2.2 MATERIALES Y MÉTODOS

2.2.1 Material vegetal

Los frutos de papaya (*Carica papaya L.*), cv. Maradol se recolectaron de un huerto comercial en Cotaxtla, Veracruz, México. Se seleccionaron frutos de forma y tamaño uniforme ($24,4 \pm 1,9$ cm), peso ($1,71 \pm 0,36$ kg fruta⁻¹), etapa de maduración (verde claro con una vena amarilla bien definida) y sin daños mecánicos. La longitud de las frutas se determinó con la ayuda de un calibrador vernier, mientras que el peso se realizó en una balanza electrónica.

Las frutas se sumergieron en una solución fungicida (1mL L⁻¹, v/v) de trifloxistrobina durante 1 minuto a 25°C. Se colocaron sobre papel para eliminar el exceso de solución y se mantuvieron a temperatura ambiente (aproximadamente 26°C y 42% RH) hasta la etapa de maduración correspondiente para su análisis.

Se usaron diez frutos para cada una de las cuatro etapas de maduración poscosecha (EM). Se determinó la humedad, los sólidos solubles totales (SST), el pH, la acidez titulable (AT), firmeza, el color del epicarpio, el contenido fenólico total y la actividad antioxidante (radical ABTS y DPPH). Se establecieron los EM: EM1 (indica papaya verde claro con una veta amarilla bien definida); EM2 (verde claro con 30% de amarillo con dos vetas); EM3 (verde claro con 50-70% de color amarillo dividido en tres o cuatro vetas) y EM4 (naranja de 90-100% con tonos de verde claro y punto de madurez para el consumo) (NMX-FF-041-SCFI-2007).

2.2.2 Reactivos y solventes

Los compuestos 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), 2,2-azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-sulfónico (ABTS), reactivo de Folin-ciocalteu, ácido gálico y 6-hidroxi-2,5. El ácido 7,8-

tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) se adquirió de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE. UU.). El metanol, etanol, hexano, acetona y otros disolventes fueron de grado reactivo y se utilizó en todo el proceso agua destilada.

2.2.3 Análisis químicos

Después de la separación manual de la cáscara y la semilla, el mesocarpio de papaya fresco se cortó en cubos pequeños de aproximadamente 1 cm³, se homogeneizó y se usó para la determinación de sólidos solubles totales (SST) según la AOAC (método de análisis 932.12) (AOAC, 2000), pH (método de análisis AOAC 981.12) y acidez titulable (TA) (método de análisis AOAC 942.15). Los SST y el pH se determinaron a 20°C utilizando un refractómetro manual tipo PAL-1 (Atago Co. Ltd., Tokio, Japón) y un potenciómetro para pH (Hanna Instruments, HI 3512; RI, EE.UU.), respectivamente. La AT, expresada como ácido málico por 100 g de pulpa, se determinó mediante titulación con NaOH 0.1 N. Todos los parámetros químicos de la fruta analizada se determinaron al menos por triplicado para cada fruta.

2.2.3.1 Textura

La determinación de la dureza de la pulpa se determinó con un penetrómetro digital (Bareiss, HPE-FFF Digital, FM02380; Oberdisingen, Alemania) equipado con una sonda de acero inoxidable de 5 mm de diámetro. Dado que la firmeza de la fruta de la papaya es muy variable dentro de una fruta, se eligieron tres puntos de medición cerca del diámetro máximo de la fruta.

2.2.3.2 Análisis de color

Los valores de color CIE-L*a*b* se obtuvieron utilizando un colorímetro triestímulo (Kangguang WSD-3A®; Beijing, China). Los valores de color L*, a* y b* indican luminosidad (0=negro y 100=blanco), enrojecimiento y amarillez de la muestra, respectivamente. El ángulo del tono (H°) o el tono es equivalente a $[\arctan (b^*/a^*)]$ y representa cambios en el color de la fruta, que varía de rojo (0°), a amarillo (90°), a verde-azul (180°), a azul (270°). Chroma (C*) se calculó utilizando la fórmula $C^*=[(a^*^2 + b^*^2)^{1/2}]$, y los niveles describen el grado de saturación o la intensidad del color. El color de la cáscara se determinó en 3 puntos distribuidos al azar en el epicarpio de cada fruta.

2.2.4 Polifenoles totales

Para la extracción de fenoles totales (FT) y antioxidantes de papayas frescas, se mezclaron aproximadamente 0,2 g de muestra con 20 mL de agua destilada en un matraz cónico que se envolvió con una lámina de aluminio. La mezcla se extrajo experimentalmente a una frecuencia de barrido de 40 kHz durante 30 minutos utilizando un baño ultrasónico (Branson CPX3800H Limpiador ultrasónico; CT, EE. UU.). Luego, la muestra se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos (Hermle Z306, Labortechnik GmbH, Wehingen, Alemania), para aclarar la solución. La muestra extraída se almacenó a -20°C antes del análisis de laboratorio.

Los contenidos fenólicos totales se evaluaron utilizando el ensayo de Folin-Ciocalteu basado en el método de Singleton y Rossi (1965), con una ligera modificación. Se mezcló un total de 100 μ L de muestra extraída con 150 μ L de reactivo de Folin-Ciocalteu en un tubo de ensayo. La mezcla se agitó continuamente y se dejó reaccionar durante 5 min. Posteriormente, la muestra se mezcló con 1,5 mL de solución de Na_2CO_3 al 20% (wv^{-1}) y 750 μ L de agua destilada, y se incubó a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad durante 90 minutos. El contenido de FT se midió a 760 nm utilizando el espectrofotómetro UV-VIS (Genesys 10S UV/Vis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.). Se graficó una curva de calibración estándar usando ácido gálico. El contenido de FT se expresó como mg de equivalente de ácido gálico (GAE) por 100 g de peso seco (d.w.) de muestra.

2.2.5 Capacidad antioxidante

Para la extracción de antioxidantes, se mezclaron 0,5 g de pulpa seca con 10 mL de metanol/agua (50:50 v v^{-1} , pH 2,0) en un matraz cónico que se envolvió con una lámina de aluminio. Luego, la mezcla se agitó a 50°C durante 30 minutos (baños de agua de agitación de precisión 2872, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.). Después, la muestra se centrifugó a 1500 rpm durante 15 min. El residuo se sometió a una segunda extracción con 10 mL de acetona/agua (70:30 v/v^{-1}) y se sometió nuevamente a agitación y centrifugación. En total se realizaron cuatro extracciones con la mezcla acetona/agua. Los cinco sobrenadantes se combinaron, completando un volumen de 50 mL con agua destilada. La muestra extraída se almacenó a -20°C antes del análisis.

2.2.5.1 Actividad de captación de radicales DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)

El método desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995) con una ligera modificación, se utilizó para determinar la capacidad de captación de radicales del DPPH. En resumen, la solución de DPPH se preparó disolviendo 3,9 mg de DPPH con 100 mL de metanol y luego se almacenó a -20°C antes del análisis. La solución de trabajo se ajustó para obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.01 unidades a 515 nm utilizando el espectrofotómetro UV-VIS. Se dejó reaccionar un total de 100 μ L de extracto de fruta con 3.9 mL de la solución de DPPH durante 30 minutos en condiciones de oscuridad. La absorbancia se midió a 515 nm y el resultado se expresó en μ M de Trolox equivalente (TE) por g (peso seco) de muestra.

2.2.5.2 Capacidad de eliminación del radical catión ABTS (ácido 2,2-azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-sulfónico)

La capacidad de eliminación de ABTS se determinó utilizando el método propuesto por Arnao *et al.* (2001) con algunas modificaciones. La solución madre incluía una solución ABTS⁺ 7 mM y una solución K₂S₂O₇ de 2,45 mM. La solución de trabajo se preparó mezclando las dos soluciones madre en cantidades iguales y luego se dejó reaccionar durante 12-16 horas a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad. La solución se diluyó posteriormente mezclando 1 mL de solución ABTS⁺ con etanol para obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.02 unidades a 734 nm usando el espectrofotómetro UV-VIS. Se dejó reaccionar a un total de 30 μ L de extracto de fruta con 3,0 mL de solución ABTS⁺ durante 6 minutos en condiciones de oscuridad. La lectura de absorbancia se tomó a 734 nm y el resultado se expresó en μ M TE por g d.w. de muestra.

2.2.6 Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Se realizó un análisis de varianza bajo un diseño completamente al azar utilizando el software SAS (Ver. 9.4, SAS Institute Inc., Cary, NC, EE. UU.). Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey a un nivel alfa del 5% y correlaciones de Pearson.

2.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2.3.1 Características fisicoquímicas de la fruta

Los resultados presentados en el Cuadro 3 muestran los valores de los parámetros fisicoquímicos y compuestos bioactivos de la papaya cv. Maradol en diferentes etapas de maduración.

2.3.1.1 Contenido de humedad

El contenido de humedad en las frutas de papaya es alto 89.64 ± 0.1 para EM, 90.65 ± 1.5 , 91.42 ± 0.6 , 91.39 ± 0.3 en EM2, EM3 y EM4 respectivamente (Cuadro 3). Estos resultados se deben a la capacidad de la papaya para mantener su contenido de humedad por más tiempo que otros frutos (Addai *et al.*, 2013). Prabha and Modgil (2018) reportaron 90.9-92.7% de humedad en los frutos maduros de papaya, los cuales coinciden con los encontrados en este trabajo y concuerda con lo reportado por Zuhair *et al.* (2013) que encontraron un contenido de humedad similar en *Carica papaya* L. cv. Exótica.

2.3.1.2 Acidez titulable (AT)

Los valores de acidez titulable en frutos de papaya no mostraron diferencias significativas en los diferentes estados de maduración. Los resultados del presente trabajo son similares a los reportados por Gayosso (2010) donde la acidez titulable se comportó de manera ascendente en (*Carica papaya* L. cv Maradol).

Selvaraj y Pal (1982) reportaron una disminución gradual en la acidez conforme avanza el estado de madurez del fruto. Bron y Jacomino (2006) encontraron resultados similares en % AT en frutos de papaya "Golden", con valores de 0.12 a 0.13 en los grados de madurez de 0 a 3, no mostrando diferencias significativas entre los mismos. Sin embargo; reportan valores altos de acidez en comparación a los obtenidos en esta investigación.

En la etapa poscosecha de los frutos climatéricos, la acidez disminuye durante la maduración en proporción al aumento del metabolismo. Esto resulta en una mayor degradación de ácidos orgánicos como sustrato para el proceso respiratorio, y una mayor conversión de azúcares. La acidez del fruto de papaya es baja en comparación con otras frutas, generalmente muestra valores inferiores al 0.2% de ácido cítrico. Los ácidos

principales son el cítrico y málico, seguidos del ácido alfa-cetoglutárico, que junto al ácido ascórbico contribuyen con el 85% de todos los ácidos de la papaya (Oliveira *et al.*, 2016).

2.3.1.3 pH

El pH se incrementó gradualmente durante los cuatro estados de madurez pasó de 5.36 a 5.83 con diferencias significativas entre EM ($P=0.001$) (Tabla 3). Esto coincide con lo reportado por Ovando *et al.* (2018), para *Carica papaya* L., mencionan que no existen diferencias significativas entre los cuatro estados de madurez analizados, pero si un incremento mínimo del pH. Las diferencias con respecto al pH pueden atribuirse a la variedad de papaya, condiciones agronómicas, ambientales y poscosecha. Así, Gayosso *et al.* (2010) encontraron un pH de 6.1 a 6.4

Cuadro 3. Parámetros fisicoquímicos, contenido de fenoles y actividad antioxidante en extractos en el fruto de papayo Maradol en diferentes etapas de maduración (Medias±error standar).

Propiedades	EM1	EM2	EM3	EM4
Humedad (%)	89.6±0.27 B	90.60±0.27 A	91.4±0.27 A	91.40±0.27 A
Acidez titulable (%)	0.06±0.003 A	0.064±0.003 A	0.06±0.003 A	0.059±0.003 A
pH	5.3±0.02 C	5.37±0.02 BC	5.4±0.02 B	5.82±0.02 A
Sólidos solubles (%)	9.3±0.18 A	9.30±0.18 A	9.2±0.18 A	9.37±0.18 A
Índice de madurez (IM)	131.1±16.2 A	153.6±38.1 A	152.9±43.8 A	155.6±39.3 A
Firmeza, N	61.9±1.35 A	53.58±1.35 B	50.5±1.35 B	18.50±1.35 C
Fenoles Totales, mg GAE 100 g ⁻¹ d.w.	500.5±92.5 A	472.75±57.1 A	482.1±78.5 A	429.04±119.7 A
DPPH, µM TE g ⁻¹ d.w	163.27±13.83 A	169.73±13.83 A	187.40±13.83 A	174.87±13.83 A
ABTS, µM TE g ⁻¹ d.w	434.44±21.9 A	422.78±21.9A	434.31±21.9 A	395.71±21.9A

*Base en peso seco. Medias ± SE; GAE-Equivalente a ácido gálico; TE-Equivalente a Trolox

2.3.1.4 Sólidos solubles totales (SST)

El contenido de sólidos solubles totales fue muy similar en los cuatro estados de madurez, varió de 9.32 a 9.37°Brix, estos resultados fueron ligeramente mayores a los reportados por Gayosso *et al.*, (2010).

La papaya tiene un bajo contenido de almidón (0.5-0.1%). Por lo tanto, no puede ser hidrolizado durante la maduración, lo que reduce los cambios fisicoquímicos del fruto durante el periodo posterior a la cosecha (Bron y Jacomino, 2006).

Para Zhou y Paull (2001), el contenido de azúcar en la papaya permanece constante durante la maduración post-cosecha, lo que sugiere que la acumulación de azúcar en la pulpa está relacionada con la translocación continua del azúcar de la planta al fruto.

En frutos de papaya, una disminución de la acidez está acompañada por un incremento en los azúcares. Al menos, una parte de este cambio puede deberse a la conversión metabólica de los ácidos en azúcares por la reacción de gluconeogénesis. Una conversión de ácidos a azúcares no pareció tener lugar en la etapa de maduración, debido a que la disminución de los ácidos cítrico o málico no fue acompañada por aumentos en la concentración de glucosa y fructosa (responsables del cambio de sólidos solubles). Más bien, la pérdida de ácidos orgánicos en el fruto maduro parece estar relacionada con el proceso de respiración (Halinska y Frenkel, 1991). La papaya acumula los azúcares en la etapa final de su desarrollo en el campo, por lo que los frutos se deben cosechar en la correcta madurez fisiológica. De lo contrario, la maduración no es la adecuada y no llegan a alcanzar los azúcares mínimos requeridos para generar un buen sabor (Paul *et al.*, 1997; Kander *et al.*, 2002; Umaña *et al.*, 2011).

2.3.1.5 Índice de madurez (IM)

El índice de maduración (SST/AT) presentó valores crecientes del estado de madurez uno al cuatro, aunque sin diferencias estadísticas significativas (Cuadro 3). Esto sugiere que el alto nivel de azúcar, relacionado con el bajo nivel de acidez, en la pulpa del fruto sea organolépticamente más aceptable conforme avanza la madurez. Gayosso *et al.* (2010) reportó datos con el mismo comportamiento creciente y ligeramente mayores a los del presente trabajo. El índice de madurez es uno de los parámetros más utilizados

para evaluar el sabor de la fruta, ya que depende del contenido de sólidos solubles y de la acidez (Oliveira *et al.*, 2016).

El índice de madurez (IM) tiende a incrementarse en cada etapa de maduración, esto se debe al proceso de hidrólisis en los carbohidratos y a la disminución de los ácidos orgánicos requeridos en el proceso de maduración de la fruta (Mittra y Baldwin, 1997). La degradación de los carbohidratos complejos, como: celulosa, pectina y hemicelulosa, a monosacáridos como la glucosa y la fructosa, se asocia con el aumento del índice de madurez (IM), lo que ayuda a acentuar el sabor dulce en los frutos (Tharanathan *et al.*, 2006).

2.3.1.6 Firmeza

Se encontraron diferencias estadísticas significativas ($P=0.0001$) para firmeza del fruto con cáscara entre estados de madurez (Cuadro 3). La reducción de la firmeza en el estado de madurez (EM4) es una consecuencia del proceso natural de reblandecimiento y senescencia de la fruta. La maduración del fruto de papaya posterior a la cosecha implica el ablandamiento y la producción de azúcares y componentes del sabor. Existe una evolución concurrente de etileno y una mayor tasa de respiración, el ablandamiento del mesocarpio y el endocarpio se debe a la actividad de las enzimas que degradan la pared celular (Paull y Chen, 1983).

Valores similares fueron reportados por Umaña *et al.* (2011) al analizar cuatro estados de madurez y reportan valores de 95 newton en el grado 0, 85 newton en los grados 1 y 2, y 75 newton para el grado 3; lo que concuerda con los reportado por Oliveira *et al.* (2016). Según Bron y Jacomino (2006), las frutas de papaya con firmeza de pulpa ≤ 20 newton presentan una mejor calidad organoléptica para el consumo.

2.3.1.7 Color

El color de la cáscara es el criterio más utilizado para evaluar el estado de madurez en frutos de papaya. La uniformidad e intensidad del color son características de calidad en el fruto y aceptabilidad para el consumidor. La figura 11 muestra las etapas de maduración de los frutos analizados. Se observó una clara predominancia del color verde

en los frutos del estado uno, con cambio gradual hacia colores amarillos o naranja en los estados dos y tres, para llegare al predominio de amarillo-naranja en el estado cuatro.



Figura 11. Percepción visual del color en el fruto de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol durante diferentes estados de madurez.

El análisis del color (Figura 12) mostró un incremento en el brillo durante la maduración. El valor L^* representa la luminosidad o el brillo, el cual sufrió un ligero aumento junto con la saturación o intensidad del color de la cáscara (Chroma). Así también, una disminución en los valores de tono (hue°) se observó para las muestras relacionadas con el estado de madurez. El parámetro a^* muestra cambios en los diversos estados de madurez, que van desde valores negativos (verdes) a positivos (rojos). Esto indica la pérdida de clorofila y la biosíntesis de carotenoides en la fruta. El valor a^* aumentó en los diferentes estados de maduración del fruto; al igual que en el valor b^* , el cual expresa la amarillez del fruto. Al final del período de almacenamiento, el color de las frutas en estado de madurez 4 (EM4) había cambiado de verde a amarillo con $L^*=55.8$, $chroma=50.1$ y ángulo de tono $=73.9$. El aumento en los valores de L^* y $chroma$ concuerdan con lo observado por Gayosso *et al.* (2010) quienes reportaron cambios de color de la piel del fruto de papaya durante la maduración. En la mayoría de los frutos, el proceso de maduración involucra pérdida de clorofila y síntesis de nuevos pigmentos como carotenoides y el desenmascaramiento de otros pigmentos que se han formado durante el crecimiento del fruto (Paull *et al.*, 1997). La degradación de la clorofila a menudo está

involucrada en los cambios de pigmentación hacia las etapas finales de la maduración del fruto y la biosíntesis de los carotenoides, lo que produce cambios en el color de la piel de verde a amarillo, naranja, y rojo (Ali *et al.*, 2016).

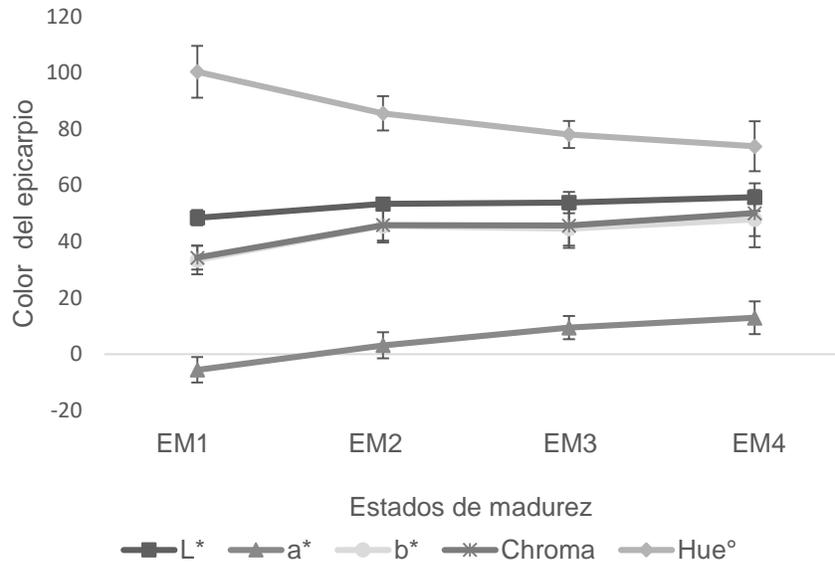


Figura 12. Parámetros del color en el epicarpio durante las etapas de maduración de los frutos de papaya cv. Maradol.

2.3.2 Fenoles totales y actividad antioxidante

El contenido de fenoles totales (FT) disminuyó con la maduración del fruto de papaya, los valores más altos se registraron en el estado de madurez 1 (EM1) y los más bajos en estado de madurez 4 (EM4).

La composición fenólica cualitativa y cuantitativa de las frutas depende de múltiples factores, que incluyen: el clima, la variedad, el suelo y el grado de maduración. Los compuestos fenólicos están relacionados con la calidad sensorial de los alimentos de origen vegetal, tanto frescos como procesados; constituyen el grupo más numeroso de antioxidantes, encontrándose en un amplio número de productos vegetales (Fernández *et al.*, 2004).

Los cambios en los contenidos de los fenoles totales y actividad antioxidante en los diferentes estados de madurez del fruto de papaya, se muestra en el cuadro 3. En el estado de madurez inicial (EM1) y final (EM4) que exhiben capacidad antioxidante hidrófila los felones totales variaron de 500.51 a 429.04 mg GAE 100 g⁻¹ d.w en función

al estado de madurez, mientras que la actividad antioxidante para DPPH y ABTS en pulpa tuvieron valores promedios de 163.2 a 174.8 y 434.4 a 395.7 $\mu\text{MTE g}^{-1}$ d.w, respectivamente. Tanto para la actividad antioxidante como para el contenido de FT no hubo diferencias significativas, durante el período de almacenamiento. Sin embargo, una disminución en la actividad antioxidante (AA) y FT podría deberse a la activación de enzimas oxidativas como la polifenoloxidasas o la oxidación química de compuestos fenólicos. Además, la pérdida de compuestos polifenólicos también puede asociarse a la temperatura de almacenamiento, el pH, exposición al oxígeno atmosférico y la luz (Udomkun *et al.*, 2016).

Mahattanatawee *et al.* (2006) observaron que en papaya verde (cv. Red Lady) la actividad antioxidante resultó más elevada que en papaya madura, lo que concuerda con los resultados del presente trabajo. Es importante señalar la importancia del solvente los cuales tienen como finalidad incrementar la solubilidad de los materiales y la tasa de transferencia de masa (Gao & Liu, 1997). Se recomienda manejar diferentes técnicas para el análisis de AA en frutos, debido a la naturaleza de los diferentes tipos de compuestos presentes y para obtener resultados más confiables; ya que algunos miden los compuestos lipofílicos, hidrofílicos y otros no consideran las condiciones fisiológicas celulares. La gran diversidad de métodos empleados proporcionan resultados numéricos distintos difíciles de comparar, para solventar este problema, en la mayoría de los estudios científicos donde se valora la actividad antioxidante ya sea de compuestos puros, extractos vegetales se utiliza el Trolox (ácido 6-hidroxi-2,5,7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico) como patrón, sustancia que se caracteriza por ser un análogo hidrosoluble de la vitamina E.

Los compuestos polifenólicos son metabolitos secundarios aromáticos de origen vegetal, tienen una estructura común con un anillo aromático con al menos un grupo hidroxilo. Este anillo proporciona la capacidad de neutralizar las especies reactivas y brinda protección contra el estrés oxidativo. Además, los polifenoles contribuyen en los atributos de color y sabor del fruto, y poseen actividad anticancerígena y antimutagénica. Varios estudios han demostrado que los compuestos fenólicos tienen un alto potencial antioxidante, lo que resulta en un efecto benéfico para la salud humana (Gayosso *et al.*, 2011).

Otros estudios han demostrado la presencia de polifenoles en el fruto de papaya (Salla, *et al.*, 2016), sin embargo; la diferencia en el contenido de polifenoles reportada en este trabajo puede deberse a los diferentes estados de madurez, variedad o condiciones de extracción. Además, la actividad antioxidante de las frutas y verduras podría verse afectada por factores, tales como: cultivar, condiciones agronómicas, manipulación en postcosecha y etapa de maduración (Kevers *et al.*, 2007).

La actividad antioxidante de una molécula puede defender al organismo de radicales libres y protegerlo contra las especies reactivas del oxígeno (EROS), estrés oxidativo y enfermedades crónicas no transmisibles; por medio de diferentes mecanismos (redox o donación de electrones). Las funciones antioxidantes se asocian con una disminución del daño en el ADN, una disminución de la peroxidación lipídica, una función inmune mantenida y una transformación maligna inhibida de las células (Maisarah, *et al.*, 2013).

2.3.3 Análisis de correlación

Se encontraron correlaciones significativas entre los parámetros fisicoquímicos en general y con los componentes del color del fruto en particular en los diferentes estados de madurez (Cuadro 4).

La humedad presentó correlaciones positivas con las expresiones de color L*, a*, b*, y chroma, mientras que para hue° presentó correlación negativa $r=-0.986$ al igual presentó correlación con los factores que determinan la calidad de los frutos como son acidez titulable $r=-0.871$ y la firmeza $r=-0.692$, sin embargo; no se observó correlación con los SST y pH. La acidez titulable (AT) presento correlaciones negativas con las expresiones de color L*, a*, b*, y chroma, mientras que para hue° presentó correlación positiva, en relación a los SST presento correlación positiva $r=0.677$.

La firmeza por lo general disminuye cuando aparecen las coloraciones amarillas-rojas en el epicarpio por lo que la correlación es negativa en relación con L*, a* y b* y chroma; y positiva con hue°. La calidad de la fruta y la vida de anaquel en etapas avanzadas de maduración se ven afectadas significativamente por la pérdida de firmeza. Esto ocurre porque la firmeza de la fruta disminuye durante la maduración, y conlleva a la pérdida de fibra cruda (Siriamornpun y Kaewseejan, 2017). El pH mostró correlación con los SST

$r=0.621$, y la firmeza $r=-0.952$; para las expresiones de colores mostró correlación negativa con L^* , hue° , y positiva con a^* y chroma.

En las expresiones de color en la cáscara del fruto de papaya se observaron correlaciones altamente positivas en los diferentes estados de madurez, sin embargo; para el ángulo de matiz representado por hue° la correlación es altamente negativa. Esto, debido a que presentó un comportamiento inverso al de a^* , b^* , L^* , chroma. En el proceso de maduración de la papaya se involucra la degradación de clorofila y síntesis de pigmentos carotenoides (Santamaría-Basulto *et al.*, 2009). El cambio de color por lo general se correlaciona con la actividad antioxidante y los polifenoles, la correlación es negativa para los compuestos bioactivos analizados en este trabajo.

Para los frutos en estado de madurez fisiológica EM1 se encontraron correlaciones negativas entre el contenido de humedad y los sólidos solubles totales $r=-0.547$, al igual en la actividad antioxidante bajo el ensayo de los radical DPPH, con un valor de $r=-0.613$.

La AT es un indicador de calidad al igual que el pH; presentó una correlación de $r=0.507$ en relación con pH, y negativa para los SST ($r=-0.550$), ambos son indicadores del sabor en la fruta. Por otro lado, la AT y el IM presentaron una correlación negativa. Se encontraron correlaciones positivas entre el contenido de fenoles totales y actividad antioxidante bajo el ensayo de los radical DPPH, con un valor de $r=0.628$, y una correlación menor para el ensayo de los radicales ABTS, con $r=0.446$. Maisarah *et al.* (2013) encontró correlaciones positivas en la capacidad antioxidante, mientras que para los captadores de radicales ABTS no encontró correlación con los fenoles totales.

Los compuestos polifenólicos son considerados el principal grupo que contribuye a la actividad antioxidante (Balasundram *et al.*, 2006). Esto explica la relación positiva y significativa entre el contenido de los fenoles totales determinado por el método de Folin-Ciocalteu y la actividad antioxidante en ambos ensayos. El DPPH es un radical libre que puede obtenerse directamente sin una preparación previa, el ABTS debe ser generado tras una reacción química o enzimática y mide la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica. Mientras que el DPPH solo puede disolverse en medio orgánico. Se encontró una correlación de $r=0.583$ en la capacidad antioxidante radical ABTS y el radical DPPH. Lo anterior indica que la actividad antioxidante en extractos de pulpa de

papaya puede medirse con el ensayo DPPH y ABTS; ya que ambos métodos presentan estabilidad en ciertas condiciones, aunque también podrían mostrar diferencias.

Para las frutas en estado de madurez 4 (EM4), se observó una fuerte correlación ($r=-0.882$) entre la acidez titulable y el IM. Rodríguez *et al.* (1995) señalaron que la disminución de los ácidos orgánicos en algunas frutas se debe a que son utilizados como sustratos en la respiración durante el almacenamiento; además de ser utilizado para la síntesis de nuevos compuestos que dan sabor y aroma (Ladaniya, 2008). Los resultados muestran una correlación negativa ($r=-0.704$) entre los SST y el pH. Se observó una correlación positiva ($r=0.520$) entre el contenido de polifenoles y la actividad antioxidante bajo la prueba del radical DPPH, sin embargo; no se encontró correlación significativa para el ensayo de radicales ABTS.

Cuadro 4. Coeficientes de correlación entre parámetros fisicoquímicos y propiedades de color de los frutos de papaya "Maradol" en diferentes etapas de maduración.

Variable	H	AT	SST	F	pH	L*	a*	b*	C*	Hue°
H	1	-0.871*	-0.246**	-0.692*	-0.495**	0.944*	0.980*	0.901*	0.919*	-0.986*
AT		1	0.677*	0.291**	-0.112**	-0.674*	-0.768*	-0.635*	-0.635*	0.778*
SST			1	-0.506*	0.621*	0.022**	-0.055**	-0.003**	0.043**	0.087**
F				1	-0.952*	-0.801*	-0.822*	-0.715*	-0.780*	0.789*
pH					1	-0.587*	0.654*	0.468**	0.554*	-0.598*
L*						1	0.965*	0.984*	0.996*	-0.980*
a*							1	0.907*	0.939*	-0.996*
b*								1	0.994*	-0.938*
C*									1	-0.961*
Hue°										1

2.4 CONCLUSIONES

La cuantificación de los parámetros fisicoquímicos corroboró los valores del fruto de papaya y mostró algunas evidencias importantes como el incremento del pH en función del grado de madurez, y los valores de índice de madurez entre 131.1 y 155.6 que caracteriza a la cv. Maradol.

Los compuestos fenólicos presentaron valores altos y con poca variación durante la madurez, esto representa una importante actividad antioxidante desde la madurez fisiológica hasta madurez de consumo. La mayor actividad antioxidante se obtuvo por el método ABTS con rangos de 434.44 a 395.71 $\mu\text{M TE g}^{-1} \text{ d.w.}$

Estos resultados permiten establecer criterios útiles que pueden ser empleados como indicadores de calidad del fruto de papaya, por los productores para obtener mejores precios y para el consumidor final por los beneficios a la salud.

2.5 LITERATURA CITADA

- Addai Z, R, A Abdullah, S Mutalib A, K Musa H and E Douqan. 2013. Antioxidant activity and physicochemical properties changes of papaya (*Carica papaya* L. cv. Hong Kong) during different ripening stage, *Int Food Res J*, 20, 1653-1659.
- Albertini S, R Lai A, T Moreno J, G Sarriés and S Fillet M. 2016. Effects of chemical treatments on fresh-cut papaya. *Food Chemistry* 190:1182-1189.
- Ali A, G Hei K and Y Keat W. 2016. Efficacy of ginger oil and extract combined with gum arabic on anthracnose and quality of papaya fruit during cold storage. *Journal of Food Science and Technology* 53(3):1435-1444.
- Arnao M, A Cano and M Acosta. 2001. The hydrophilic and lipophilic contribution to total antioxidant activity. *Food Chemistry* 73(2): 239-244.
- Association of Official Analytical Chemist (AOAC). 2000. Official Methods of Analysis. 16th ed. S. William (ed). Published by the Association of Official Analytical Chemists. Washington, D.C. USA.
- Balasundram N, K Sundram K and S Sammar. 2006. Phenolic compounds in plants and agroindustrial by products: Antioxidant activity. Occurrence and potential uses. *Food chem.* 99(1):191-203.
- Brand W, W, M Cuvelier E and C Berset C. 1995. Use of a free radical method to evaluate antioxidant activity. *LWT Food Science and Technology* 28(1): 25-30.
- Bron I and A Jacomino. 2006. Ripening and quality of 'Golden' papaya fruit harvested at different maturity stages. *Brazilian Journal of Plant Physiology* 18(3): 389-396.
- Gayosso G, S, L Yahia, E and G González 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: 1284-1291.
- Gayosso G, SL Yahia, EM Martínez T and G González A. 2010. Effect of maturity stage of papaya maradol on physiological and biochemical parameters. *American Journal of Agricultural and Biological Sciences* 5(2): 199-208.
- Halinska A and C Frenkel. 1991. Acetaldehyde stimulation of net gluconeogenic carbon movement from applied malic acid in tomato fruit pericarp tissue. *Plant Physiology* 95: 954-960.
- HunterLab. 1996. CIE L*a*b* Color Scale. Applications note - Insight on Color 8(7): 1-4.
- Kevers C, M Falkowski, J Tabart, J Defraigne, J Dommès and J Pincemail. 2007. Evolution of antioxidant capacity during storage of selected fruits and vegetables. *Journal of Agricultural and Food Chemistry* 55(21): 8596-8603.
- Ladanika M, S. 2008. Citrus Fruit. Biology, Technology and Evaluation. Academic Press, Usa. 558 p.
- Maisarah A, M, A Nurul B, R Asmah and O Fauziah. 2013. Antioxidant analysis of different parts of *Carica papaya*. *International Food Research Journal* 20(3):1043-1048.

- Ministry of Economy, Mexico. 2007. Non industrialized food products for human consumption - Fresh fruit - Papaya (*Carica papaya* L.) – Specifications (NMX-FF-041-SCFI-2007).
- Mitra S, K and E Baldwin A. 1997. Mango Postharvest Physiology and Storage of tropical and subtropical Fruits. CAB International. New York, USA. 423 p.
- Nuncio J, N, A Calín S, A Carbonell B, and F Hernández. 2014. Changes in quality parameters, proline, antioxidant activity and color of pomegranate (*Punica granatum* L.) as affected by fruit position within tree, cultivar and ripening stage. *Scientia Horticulturae* 165: 181-189.
- Oliveira A, N, A Mendes, N Vitor, A Martins and R Araújo. 2016. Spatial variation of physicochemical characteristics in Formosa papaya fruits. *Idesia* 34(5): 5-9.
- Ovando M, M, T López M, O Tortoledo O, G Astiazarán H, Z Ayala JF, O Villegas MA and A González A. 2018. Effect of ripening on physico-chemical properties and bioactive compounds in papaya pulp, skin and sedes. *Indian Journal of Natural Products and Resources.*, Vol. 9(1); pp. 47-59.
- Paull R, E and Chen N. 1983. Postharvest variation in cell wall-degrading enzymes of papaya (*Carica papaya* L.) during fruit ripening. *Plant Physiology* 72: 382-385.
- Prabha A and Modgil R. 2018. Comparative nutritional quality evaluation of different cultivars of papaya. *Asian Journal of Dairy and Food Research* 37 (2):158-161.
- Rahmani A and Aldebasi Y. 2016. Potential role of *Carica papaya* and their active constituents in the prevention and treatment of diseases. *International Journal of Pharmacy and Pharmaceutical Sciences* 8(1): 11-15.
- Rodríguez D, A, M Patiño P, D Miranda, G Ficher and J Galvis A. 2005. Efecto de dos índices de madurez y dos temperaturas de almacenamiento sobre el comportamiento de la pitahaya amarilla (*Selenicereus Megalanthus* Haw.) *Rev. Fac. Nac. Agron. Medellín* 58:2837-2857.
- Salla S, R Sunkara, S Ogutu, L Walker and M Verghese. 2016. Antioxidant activity of papaya seed extracts against H₂O₂ induced oxidative stress in HepG2 cells. *LWT Food Science and Technology* 66:293-297.
- Santamaría B, F, D Sauri E, G Espadas F, P Díaz R, S Larqué A and J Santamaría M. 2009. Postharvest ripening and maturity indices for maradol papaya. *Interciencia* 34: 583-588.
- Selvaraj Y, D Pal, M Subramanya and C Iyer. 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.
- Silva M, G., J Oliveira, A Vitoria, S Corrêa, M Pereira, E Campostrini, E Santos, A Cavalli and H Vargas. 2005. Correlation between ethylene emission and skin colour changes during papaya (*Carica papaya* L.) fruit ripening. *Journal de Physique IV* 125: 877-879.

- Singleton V, L and J Rossi A. 1965. Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American Journal of Enology and Viticulture* 16: 144-158.
- Souza C, J, A Cardoso A, N Figueiredo A and C Lucena I. 2017. Physical and mechanical parameters correlated to the ripening of mangoes (*Mangifera indica* L.) cv. 'Tommy Atkins'. *Acta Agronomica* 66(2): 186-192.
- Tharanathan R, N, H Yashoda M and T Prabha N. 2006. Mango (*Mangifera indica* L.), "The king of fruits" an overview. *Food Rev. Int.* 22:95-123.
- Udomkun P, M Nagle, D Argyropoulos, B Mahayotha, S Latif and J Müller. 2016. Compositional and functional dynamics of dried papaya as affected by storage time and packaging material. *Food Chemistry* 196: 712-719.
- Umaña G, C Loria and J Gómez J. 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.
- Zhou L and R Paull. 2001. Sucrose metabolism during papaya (*Carica papaya*) fruit growth and ripening. *Journal of the American Society for Horticultural Science* 126(3): 351-357.
- Zuhair R, A Aminah, A Sahilah and D Eqbal. 2013. Antioxidant activity and physicochemical properties of mature papaya fruit (*Carica papaya* L. cv. Eksotika), *Adv. J. Food Sci. Technol.*, 5(7): 859-865.

CAPÍTULO 3.

Caracterización fisicoquímica de la cáscara, semilla y pulpa del fruto papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol, para su aprovechamiento integral.

Resumen

Las frutas en estado fresco contienen cantidades considerables de compuestos bioactivos y de valor nutracéutico, brindando beneficios potenciales para la salud. La papaya, al igual que muchas otras frutas y verduras, es una rica fuente de antioxidantes, los cuales proporcionan un efecto neutralizante de los radicales libres. Todas las partes de la planta del fruto de papaya como raíces, corteza, cáscara, semillas y pulpa, presentan efectos benéficos sobre la salud. El objetivo fue determinar la composición química proximal, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de las fracciones obtenidas de las distintas partes del fruto de papaya (cáscara, semilla y pulpa). Se tomó una muestra de 5 frutos en una huerta comercial en estado de madurez de consumo EM4 (naranja de 90-100% con tonos de verde claro y punto de madurez para el consumo) (NMX-FF-041-SCFI-2007). Se evaluó el contenido de humedad, proteína, cenizas, grasas totales, fibra total, perfil de ácidos grasos, contenido fenólico total (FT) y actividad antioxidante (AA) presentes en cáscara, semilla y pulpa. Los resultados obtenidos mostraron que el contenido de humedad es alto en las tres diferentes porciones del fruto cáscara con 87.4%, semilla 86.47% y en pulpa 91.10%, en proteína la cáscara presentó el máximo 8.88%, seguida de la semilla con 6.14% y pulpa 2.18%. Los fenoles totales variaron de 200 a 1506 mg GAE 100 g⁻¹ d.w., en función a la parte analizada. Los antioxidantes mostraron valores de pulpa 485, cáscara 1539.15 y semilla 935.1 µM TE g⁻¹ d.w, bajo el método ABTS. Por tanto, se concluye que los parámetros fisicoquímicos cuantificados resultan de gran importancia para generar indicadores nutricionales en el fruto de papaya y los contenidos de compuestos bioactivos evidencian el potencial benéfico a la salud; información útil para realizar de manera eficiente el aprovechamiento de las tres diferentes porciones del fruto mediante la agregación de valor.

Palabras clave: alimentos nutracéuticos, análisis proximal, ácidos grasos, proteína.

3.1 INTRODUCCIÓN

A nivel mundial, la preocupación por el aprovechamiento de residuos ha tomado gran fuerza entre la comunidad científica y sobre todo a nivel industrial, en donde los procesos de transformación generan subproductos que pueden ser útiles en otras actividades. Estudios recientes han demostrado que las cáscaras de frutos, como la naranja, contienen antioxidantes que podrían tener un efecto benéfico en la salud humana (Londoño *et al.*, 2010) Sin embargo, los residuos generados en las transformaciones agroindustriales y por las pérdidas post-cosecha en nuestro país aún no han sido aprovechados eficientemente, en parte, porque su valor es aún desconocido y, sobretodo, por la falta de métodos apropiados para la preparación y caracterización de sustancias que generen valor con la suficiente calidad e inocuidad como para ser usadas en procesos de mayor valor agregado.

Tradicionalmente, los residuos de alimentos se han considerado un problema tanto económico como para el medio ambiente. Sin embargo, se ha reconocido que algunos residuos y subproductos pueden ser una fuente de nutrientes o sustancias bioactivas valiosas. Este potencial surge de las enormes cantidades de materiales alimenticios desechados, junto con el empleo de tecnologías de procesamiento mínimo existentes; las cuales proporcionan extracción suave, fraccionamiento y recuperación de ingredientes de alto valor añadido, con actividades biológicas funcionales importantes, tales como antioxidantes, anticancerígenos, antihipertensivos (Roselló *et al.*, 2015).

El uso de ciertos alimentos sin conocer su composición química, impide su aprovechamiento integral y en ocasiones incluso puede tener efectos detrimentales en el consumo de estos tipos de productos, el análisis de los alimentos es importante ya que permite aprovecharlos en forma adecuada al conocer qué componentes contienen y en qué cantidad.

La composición alimentaria intrínseca engloba diversos elementos indispensables para la vida, como proteínas, lípidos y carbohidratos, considerados componentes mayoritarios; del mismo modo, las vitaminas y minerales integran también dicha composición a manera de elementos minoritarios, todos ellos utilizados en razón del requerimiento orgánico del ser humano.

Las frutas en estado fresco contienen cantidades considerables de compuestos bioactivos y de valor nutraceutico, brindando beneficios potenciales para la salud (Nwofia *et al.*, 2012). La papaya, al igual que muchas otras frutas y verduras, es una rica fuente de antioxidantes, los cuales proporcionan un efecto neutralizante de los radicales libres (Addai *et al.*, 2016; Ashgar *et al.*, 2016). Todas las partes de la planta del fruto de papaya como raíces, corteza, cáscara, semillas y pulpa, presentan efectos sobre la salud. Sus múltiples beneficios se deben principalmente a su alto contenido de vitaminas A, B y C, y a las enzimas proteolíticas como la papaína y la quimopapaína que tienen propiedades antivirales, antifúngicas y antibacterianas (Nwofia *et al.*, 2012; Elgadir *et al.*, 2014). Al fruto de papaya se le confieren propiedades para el tratamiento de numerosas enfermedades como eczema, tubérculos cutáneos, dispepsia, estreñimiento, amenorrea, prevención de úlceras, cáncer, y en muchas condiciones más, de aquí que la papaya pueda ser considerada como una fruta con propiedades funcionales o nutraceutica (Krishna *et al.*, 2008; Ayoola y Adeyeye, 2010; Aravind *et al.*, 2013). Por tal motivo, el presente capítulo tiene por objetivo determinar la composición química proximal, contenido de compuestos bioactivos y actividad antioxidante de las fracciones obtenidas de las distintas partes del fruto de papaya (cáscara, semilla y pulpa) para evaluar su potencial como subproductos alternativos.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

Los frutos de papaya (*Carica papaya* L.), cv. Maradol se recolectaron de un huerto comercial en Cotaxtla, Veracruz, México. Se seleccionaron frutos de forma y tamaño uniforme ($24,4 \pm 1,9$ cm), peso ($1,71 \pm 0,36$ kg fruta⁻¹), etapa de maduración EM4 (naranja de 90-100% con tonos de verde claro y punto de madurez para el consumo) (NMX-FF-041-SCFI-2007) y sin daños mecánicos. La longitud de las frutas se determinó con la ayuda de un calibrador vernier, mientras que el peso se realizó en una balanza electrónica.

Las frutas se sumergieron en una solución fungicida (1 mL L^{-1} , v/v) de trifloxistrobina durante 1 minuto a 25°C. Se colocaron sobre papel para eliminar el exceso de solución y se mantuvieron a temperatura ambiente (aproximadamente 26°C y 42% RH) hasta la etapa de maduración de consumo para su análisis.

3.2.1 Análisis Proximal

El estudio de la composición química de la pulpa, semilla y cáscara es uno de los análisis de gran importancia para los nutrientes específicos, debido a que permite conocer el grado de concentración de nutrimentos o componentes que contiene la muestra. En la presente investigación se realizaron los análisis en las tres diferentes porciones del fruto de papaya (cáscara, semilla y pulpa) por triplicado para determinar el contenido de humedad, proteína, fibra total, cenizas y grasa.

3.2.1.1. Humedad

El porcentaje de humedad se determinó mediante la metodología de la AOAC 934.06. Se pesaron 5 g de muestra fresca por triplicado y se colocaron en charolas de aluminio previamente acondicionadas a peso constante, estas se colocaron en una estufa de convección de aire (Riossa, H33, Argentina) durante 12 h a una temperatura de 105°C. El porcentaje de humedad se determinó por diferencia de peso (balanza analítica Sartorius, precisión 0.1 mg).

$\% \text{ Humedad} = [\text{Peso de la muestra seca (g)} / \text{Peso de la muestra humedad (g)}] \times 100$

3.2.1.2. Contenido de proteínas

El contenido de proteína se llevó a cabo por medio del método de Kjeldahl (AOAC 920.53), el cual se basa en la digestión de las proteínas y otros componentes orgánicos, en una mezcla con ácido sulfúrico en presencia de catalizadores. El nitrógeno orgánico total es convertido en sulfato de amonio y la mezcla digerida se neutraliza con una base y se destila posteriormente en una solución de ácido bórico. Los aniones del borato formado se titulan con HCl estandarizado, lo cual se convierte en el nitrógeno de la muestra. El resultado del análisis representa el contenido de proteína cruda del alimento ya que el nitrógeno también proviene de componentes no proteicos.

Para la determinación de este parámetro se pesó 1 g de muestra previamente secada, se colocó en el fondo del matraz Kjeldahl, a este se le agregaron 2.5 g de mezcla digestora y 10 mL de ácido sulfúrico. El matraz se colocó en un digestor durante 4 horas aproximadamente hasta que la muestra se tornó de color verde, posteriormente los matraces se dejaron enfriar a temperatura ambiente para después agregar 15 mL de

hidróxido de sodio (40%) a la muestra digerida. Se continuó con la destilación de la muestra digerida junto con el hidróxido de sodio hasta recuperar 50 mL del destilado, el cual fue recuperado en un matraz con solución de ácido bórico (4%) e indicador rojo de metilo (3 gotas). Por último el destilado se tituló con una solución de ácido clorhídrico (0.1 N).

El cálculo de proteína cruda se determinó multiplicando el porcentaje de nitrógeno total por el factor 6.25, de acuerdo a la siguiente ecuación:

$$\% \text{ Nitrógeno} = \frac{\text{ml ácido} \times \text{N del ácido} \times \text{Meq}_N (0.014) \times 100}{\text{Peso de la muestra (g)}}$$

3.2.1.3. Cenizas

El porcentaje de cenizas se determinó pesando 2 g de muestra, la cual se colocó en un crisol previamente acondicionado a peso constante y se pre-incineraron con la ayuda de una parrilla eléctrica, después de haber eliminado la mayor cantidad de materia orgánica posible, se colocaron en una mufla (Indet modelo 273) a una temperatura de 550°C por 24 h (hasta observar que las cenizas están completamente de color blanco). Pasado el tiempo de incineración se colocaron los crisoles con la muestra en un desecador hasta alcanzar temperatura ambiente. Por último se pesaron los crisoles y se determinó el porcentaje de cenizas por diferencia de peso (AOAC 940.26).

$$\% \text{Cenizas} = [\text{Peso de las cenizas (g)} / \text{Peso de la muestra seca (g)}] \times 100$$

3.2.1.4. Extracto etéreo

Los lípidos totales en las muestras de cascara, semillas y pulpa se determinaron por extracción con éter de petróleo, en un equipo de tipo Soxhlet (Novatech Vtl-6p) y posterior se evaporó el disolvente en un rotaevaporador (Yamato, BM 100, Japón).

Se colocaron las muestras (5 g) dentro de un porta-dedal, se fijó en los soportes metálicos del equipo Soxhlet, haciéndose lavados en el equipo durante 6 horas aproximadamente, con éter de petróleo (100 mL de éter) para cada muestra, se fijó al condensador abriendo la llave del agua para mantener un equilibrio de la temperatura evitar la fuga del solvente. Al final de este tiempo se quitó el porta-dedal y en su lugar se colocaron los tubos recolectores. Se recuperó la mayor cantidad posible de éter.

Los matraces que contenían la grasa se colocaron en una estufa a 110°C durante 30 minutos (AOAC 920.85)

$$\%G = \frac{\text{g de EE}}{\text{g de muestra}} \times 100$$

3.2.1.5. Fibra cruda total

La fibra cruda se determinó sometiendo las muestras con ácido sulfúrico e hidróxido de sodio, en caliente, hasta dejar sólo la fracción no digerible, que es principalmente celulosa y parte de lignina como lignocelulosa. Como en el residuo hay también algo de minerales, para mayor exactitud se incineró y se descontaron las cenizas (AOAC 991.43).

3.2.2. Análisis de compuestos Bioactivos

3.2.2.1. Reactivos y solventes

Los compuestos 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), 2,2-azinobis-3-etil-benzotiazolina-6-sulfónico (ABTS), reactivo de Folin-ciocalteu, ácido gálico y 6-hidroxi-2,5. El ácido 7,8-tetrametilcroman-2-carboxílico (Trolox) se adquirió de Sigma-Aldrich (St. Louis, MO, EE. UU.). El metanol, etanol, hexano, acetona y otros disolventes fueron de grado reactivo y se utilizó en todo el proceso agua destilada.

3.2.2.2. Polifenoles totales

Para la extracción de fenólicos totales (FT) y actividad antioxidante en frutos de papaya fresca, se mezclaron aproximadamente 0,2 g de muestra con 20 mL de agua destilada en un matraz cónico que se envolvió con una lámina de aluminio. La mezcla se extrajo experimentalmente a una frecuencia de barrido de 40 kHz durante 30 minutos utilizando un baño ultrasónico (Branson CPX3800H Limpiador ultrasónico; CT, EE. UU.). Luego, la muestra se centrifugó a 3000 rpm durante 15 minutos (Hermle Z306, Labortechnik GmbH, Wehingen, Alemania), para aclarar la solución. La muestra extraída se almacenó a -20°C antes del análisis de laboratorio.

Los contenidos fenólicos totales se evaluaron utilizando el ensayo de Folin-Ciocalteu basado en el método de Singleton y Rossi (1965), con modificaciones. Se mezcló un total de 100 µL de muestra extraída con 150 µL de reactivo de Folin-Ciocalteu en un tubo de ensayo. La mezcla se agitó continuamente y se dejó reaccionar durante 5 min.

Posteriormente, la muestra se mezcló con 1,5 mL de solución de Na₂CO₃ al 20% (wv-1) y 750 µL de agua destilada, y se incubó a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad durante 90 minutos. El contenido de FT se midió a 760 nm utilizando el espectrofotómetro UV-VIS (Genesys 10S UV/Vis, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.). Se graficó una curva de calibración estándar usando ácido gálico. El contenido de FT se expresó como mg de equivalente de ácido gálico (GAE) por 100 g de peso seco (d.w.) de muestra.

3.2.2.3. Capacidad Antioxidante

Para la extracción de antioxidantes, se mezclaron 0,5 g de muestra seca con 10 mL de metanol/agua (50:50 v v⁻¹, pH 2,0) en un matraz cónico que se envolvió con una lámina de aluminio. Luego, la mezcla se agitó a 50°C durante 30 minutos (baños de agua de agitación de precisión 2872, Thermo Fisher Scientific, Waltham, MA, EE. UU.). Después, la muestra se centrifugó a 1500 rpm durante 15 min. El residuo se sometió a una segunda extracción con 10 mL de acetona/agua (70:30 v v⁻¹) y se sometió nuevamente a agitación y centrifugación. En total, se realizaron cuatro extracciones con la mezcla acetona/agua. Los cinco sobrenadantes se combinaron, completando un volumen de 50 mL con agua destilada. La muestra extraída se almacenó a -20 ° C antes del análisis.

3.2.2.3.1. Actividad de captación de radicales DPPH (2,2-difenil-1-picrilhidrazil)

El método desarrollado por Brand-Williams *et al.* (1995) con modificaciones, se utilizó para determinar la capacidad de captación de radicales del DPPH. En resumen, la solución de DPPH se preparó disolviendo 3,9 mg de DPPH con 100 mL de metanol y luego se almacenó a -20°C antes del análisis. La solución se ajustó para obtener una absorbancia de 0.7±0.01 unidades a 515 nm utilizando el espectrofotómetro UV-VIS. Se dejó reaccionar un total de 100 µL de extracto de fruta con 3,9 mL de la solución de DPPH durante 30 minutos en condiciones de oscuridad. La absorbancia se midió a 515 nm y el resultado se expresó en µM de Trolox equivalente (TE) por g (peso seco) de muestra.

3.2.2.3.2. Capacidad de eliminación del radical catión ABTS (ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico)

La capacidad de eliminación de ABTS se determinó utilizando el método propuesto por Arnao *et al.* (2001) con algunas modificaciones. La solución madre incluía una solución ABTS + 7 mM y una solución $K_2S_2O_7$ de 2,45 mM. La solución de trabajo se preparó mezclando las dos soluciones madre en cantidades iguales y luego se dejó reaccionar durante 12-16 horas a temperatura ambiente en condiciones de oscuridad. La solución se diluyó posteriormente mezclando 1 mL de solución ABTS⁺ con etanol para obtener una absorbancia de 0.7 ± 0.02 unidades a 734 nm usando el espectrofotómetro UV-VIS. Se dejó reaccionar a un total de 30 μ l de extracto de fruta con 3,0 mL de solución ABTS⁺ durante 6 minutos en condiciones de oscuridad. La lectura de absorbancia se tomó a 734 nm y el resultado se expresó en μ M TE por g d.w. de muestra.

3.2.3. Determinación del perfil de ácidos grasos

Se pesaron 10 g de muestra seca (cáscara, semilla y pulpa) por duplicado, en una balanza analítica (precisión 0.1 mg). Posteriormente las muestras fueron sometidas a extracción del contenido de grasa, se utilizó el aparato Soxhlet y éter de petróleo como solvente; una vez terminada la extracción, los matraces en los que se encontraba la grasa se colocaron en una estufa a 40°C durante 30 minutos para evaporar los residuos de éter. Finalmente, la grasa se colocó en unos tubos con rosca para posteriormente realizar la esterificación.

3.2.3.1. Esterificación de la muestra

Se utilizó el método descrito por (David *et al.*, 2002) con algunas modificaciones. Se pesó una muestra de 400 mg (grasa extraída) en un tubo de ensayo de 20 mL (con tapón de rosca). Posteriormente se disolvió la muestra en 4 mL de hexano. Se Agregaron 200 μ L de solución saturada de KOH 2N en metanol. Se tapó el tubo y se agitó durante 30 segundos en un agitador vortex, después se centrifugó la muestra 5 min a 3000 rpm. Por último, se dejó reposar 30 min y se transfirió el sobrenadante (transparente) a un vial de inyector automático de 2 mL.

La lectura de las muestra se realizó en un cromatógrafo de gases (Agilent Technologies 7890B GC) acoplado a un espectrómetro de masas (Agilent Technologies 5977B MSD), un inyector (Agilent Technologies 7693 Autosampler) empleando las siguientes condiciones:

Columna capilar HP-88 (100m, 0.25mm; 0.2um); se inyectó a 250°C, 1 µL de la muestra esterificada, split 1:25; temperatura de inicio 50°C durante 1 minuto, incremento a 20°C/min hasta 160°C, incremento a 1°C/min hasta 198°C, incremento a 5°C/min hasta 230°C, manteniendo durante 15 minutos. La velocidad del gas helio fue de 1mL/min durante 45 minutos, decremento en 1mL/min por min hasta 0.6mL/min durante 10 minutos, incremento a 1mL/min por min hasta 1 mL/min, manteniendo durante 8 minutos. El espectrómetro de masas se utilizó en el modo Scan (30-500); la temperatura de la fuente fue de 230°C y del cuadrupolo a 150°C.

3.2.4 Análisis estadístico

Todos los experimentos se realizaron por triplicado. Se realizó un análisis de varianza utilizando un diseño completamente al azar utilizando el software JMP 7. Las comparaciones de medias se realizaron mediante la prueba de Tukey a un nivel de significancia del 5%.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El Cuadro 5 muestra los resultados del análisis químico proximal en muestras de pulpa, cáscara y semilla de la papaya Maradol en estado de madurez de consumo. Se puede observar el contenido de humedad en cáscara con 87.4%, semilla 86.47% y en pulpa 91.10%. Los porcentajes de humedad en frutos tropicales por lo regular son altos debido al contenido de agua en la pulpa.

Chukwuka *et al.* (2013) determinaron la composición proximal, mineral y vitamínica entre las diferentes etapas de maduración de la papaya. El contenido de humedad de la papaya madura resultó de 89,21%, semilla 5,91% y en cáscara 68.39%, el contenido de humedad es más alto en etapa muy madura; lo anterior concuerda con Hunt *et al.* (1980) quienes indicaron que el contenido de humedad de la papaya muy madura es más alto que en frutos verdes.

Ahuja *et al.* (2018) afirman que el contenido de humedad en los frutos de papaya oscila entre 85-92%, otros autores han demostrado valores para pulpa en estado de madurez de consumo 92.16-92.60% (QECD, 2010).

En pulpa se han realizado diversos estudios donde han reportado contenidos de humedad de 90.9-92.7% en frutos maduros, los cuales coinciden con los encontrados en el presente trabajo (Prabha and Modgil., 2018); lo anterior de igual forma, concuerda con lo reportado por Zuhair *et al.* (2013) quienes encontraron un contenido de humedad similar en *Carica papaya* L. Los altos porcentajes de humedad se deben a la capacidad de la papaya para mantener su contenido de humedad por más tiempo (Addai *et al.*, 2013).

La diferencia que existe entre los datos obtenidos y los reportados por otros autores puede atribuirse a que se trata de diferentes variedades, además de que el clima, la temperatura, luminosidad y suelo son factores que también contribuyen a tal efecto (Serna y Torres, 2015).

La cáscara presentó el máximo porcentaje de proteína 8.86%, seguida de la semilla con 6.14% y pulpa 2.18%. Nwofia *et al.* (2012) informaron que el contenido de proteína cruda en la pulpa del fruto varía desde 0.47% a 1.17% mientras que las semillas contienen 2.34% a 3.15%. Afolabi y Ofobruketa (2011) presentaron resultados relativamente altos (32.68%) en semillas de papaya en comparación con los encontrados en el presente trabajo. Malacrida *et al.* (2011) examinaron las semillas de papaya encontrando concentraciones de grasa en 29,16% y proteínas en 25,63%. La importancia del contenido de proteína radica sobre todo en la fracción que pueda cuantificarse como proteína indigerible debido a que si es resistente a la acción enzimática, podría formar parte de la fibra dietética (Priego, 2007).

En relación al contenido de cenizas, la cáscara fue quien presentó mayor contenido en porcentaje (4.85%), la pulpa presentó 4.12% y el valor más bajo corresponde a las semillas con 3.36%. Nwofia *et al.* (2012) reportó valores en el contenido de cenizas más alto en las semillas (3,35-4,28%) que en la pulpa del fruto (0,31% -0,61%). Dakare *et al.* (2011) reportó valores en semilla (10,30%). Adetuyi *et al.* (2008) reportó el contenido de cenizas en la pulpa (2.02-1.41%). El contenido de cenizas presente en el fruto de papaya hace que pueda considerarse como fuente potencial de minerales. El contenido de cenizas puede variar de acuerdo con el fruto, estado de madurez, variedad y temporada de cosecha, así como las condiciones de cultivo (Priego, 2007).

Los valores máximos de fibra cruda corresponden a las semillas con 18.6%, en cáscara con 11.4% y pulpa con 10.8%. Adetuyi *et al.* (2008) reportó valores de (1.95% -1.24%) en pulpa, este autor menciona que el contenido de fibra se ve afectado durante el tiempo de almacenamiento. La disminución de la fibra podría deberse al consumo de los carbohidratos durante la respiración. Dakare *et al.* (2011) presentó altos valores de fibra cruda en las semillas (33.62%), en comparación a los encontrados en el presente trabajo. Bouanga-Kalou *et al.* (2011) determinaron el contenido de fibra cruda (21,4%) y de proteína (26,78%) concluyendo que las semillas de papaya son ricas en estos compuestos. El contenido de fibra suele ser más alto en frutos maduros listos para el consumo. Chukwuka *et al.*, 2013 encontró que el contenido de fibra total es más alto en cáscara (9.67%), seguido de la pulpa (6.18%) y finalmente en semillas (5.25%), los frutos de papayo contienen pulpa muy suave de fácil digestión y alto contenido de fibra dietética soluble que ayuda a tener una buena digestión; reduciendo el estreñimiento y mejorando la absorción de nutrientes (Onwuka, 2005).

El contenido de grasa total resultó en cáscara, semilla y pulpa de 1.88, 26.2, 0.22% respectivamente. Estudios han revelado un aumento en el contenido de proteínas, lípidos, humedad y fibra, en frutos maduros en comparación a los frutos verdes; en el caso del porcentaje de cenizas tiende a bajar.

Los valores encontrados en pulpa de papaya son mayores a los reportados por Cabello *et al.* (2014) donde evaluó el contenido nutricional en pulpa de papaya obteniendo valores de cenizas de 1.21%, proteínas 0.50% y fibra de 1% por cada 100 g de muestra de fruta madura, la finalidad de conocer estos nutrientes es para ayudar a mantener y planificar la dieta humana de forma equilibrada y saludable, ya que esta fruta es de gran importancia en el mercado como fruta fresca.

Cuadro 5. Propiedades nutricionales de pulpa, cáscara y semilla del fruto papaya *Carica papaya* L cv Maradol

	%Humedad	%Proteína	%Grasa	%Fibra	%Cenizas
Pulpa	91.10±0.40	2.18±0.08	0.22±0.02	10.8±0.30	4.12±1.16
Cáscara	87.45±0.09	8.85±0.46	1.88±0.14	11.4±6.86	4.85±0.60
Semilla	86.47±0.29	6.14±0.67	26.2±0.49	18.6±2.70	3.36±2.94

Vargas *et al.*, (2019) analizaron la cáscara de cuatro diferentes frutos lima, papaya, berenjena y zanahoria para el aprovechamiento integral de las mismas. Evaluaron el contenido bromatológico y compuestos bioactivos como parte de los residuos agroindustriales provenientes de los frutos y vegetales con la finalidad de dar valor agregado. Se utilizó únicamente la cáscara, las cuales fueron secadas previamente, molidas y tamizadas para luego determinar la humedad, cenizas, fibra, proteína, extracto etéreo, así como la extracción y cuantificación de compuestos tales como carotenos, polifenoles totales, flavonoides, antocianinas y la capacidad antioxidante. Los resultados indicaron que la cáscara de papaya y de berenjena presentaron mejores características de calidad bromatológica para cenizas (10.45 y 9.2%), proteína (2.23 y 13.50%), fibra (0.643 y 1.88%) y capacidad antioxidante (99.63 y 97.90%) como porcentaje de inhibición. Lo anterior permite desarrollar productos de utilidad en la industria alimentaria o farmacéutica.

Los compuestos bioactivos tienen un poder relevante en la salud humana, por tal motivo se han realizado diversas investigaciones con la finalidad de identificar aquellos alimentos en general que contengan alto contenido de fenoles y por consiguiente alta actividad antioxidante.

Las frutas y las verduras poseen altas concentraciones y diversos compuestos bioactivos, por tanto, se han enfocado este tipo de investigaciones, con la finalidad de aprovechar al máximo sus múltiples beneficios a la salud humana a través de su consumo.

Almeida *et al.* (2011) comparó contenido fenólico, vitamina C, antocianinas y actividad antioxidante de 11 frutas exóticas en fresco. La actividad antioxidante fue evaluada utilizando dos de las técnicas más utilizadas para el análisis: 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH) y ácido 2,2-azino-bis(3-etilbenzotiazolin)-6-sulfónico (ABTS) los valores fueron expresados como TEAC (Capacidad antioxidante equivalente de Trolox) y VCEAC (Antioxidante equivalente de vitamina C). En la actualidad se utilizan diversos métodos para medir la actividad antioxidante de material biológico. Los más utilizados son los que implican compuestos cromogénicos de carácter radical entre estos métodos se puede encontrar el ABTS y DPPH. Los resultados mostraron para los fenoles totales entre las

11 frutas analizadas valores bajos en zapote (13.5 ± 1.1 mg de GAE/100 g) y piña (38.1 ± 0.7 mg de GAE/100 g), mientras que para murici (nanche), mangaba, tamarindo mostraron altos contenidos de compuestos fenólicos. También encontraron valores moderados en ciruela, guanábana, papaya. La concentración fenólica de frutos evaluados fue inferior a la encontrada por otros autores Hassimotto *et al.* (2005) informó los siguientes datos para los fenólicos (mg de GAE/100 g de peso fresco en piña (67.2 ± 0.6 mg/100 g), guanábana (120.0 ± 8.0) y murici (67.0 ± 3.0). Kulkarni *et al.* (2007) mostró un valor de 134.6 ± 4.5 mg de fenólicos totales/100g en zapote. En general, diversos estudios realizados han reportado alta correlación entre el contenido fenólico y la actividad antioxidante.

Otra importante investigación fue la realizada por Maisarah *et al.*, (2013) donde compararon la actividad antioxidante (AA), contenido fenólico total (FT) y contenido total de flavonoides (F) en diferentes partes del árbol de papaya, incluida la fruta madura e inmadura, las semillas y las hojas. El contenido fenólico se determinó mediante el método de Folin-Ciocalteu. Para en análisis de la actividad antioxidante se utilizaron dos métodos, el ensayo DPPH, y el ensayo de blanqueamiento del β -caroteno; y los flavonoides con el ensayo de tricloruro de aluminio ($AlCl_3$).

Los resultados mostraron que la mayor actividad antioxidante a través de la técnica de blanqueamiento del β -caroteno se observó en las frutas no maduras ($90.67 \pm 0.29\%$), y la menor actividad de presentó en las semillas ($58.97 \pm 1.08\%$). La actividad antioxidante analizada por el ensayo de captación de radicales DPPH mostró mayor actividad las hojas jóvenes (7.8 ± 0.06 EC_{50}) y menor actividad las semillas (1.0 ± 0.08 EC_{50}). El mayor contenido de fenoles totales se presentó en las hojas jóvenes (424.89 ± 0.22 mg GAE/100g de muestra seca) y las muestras con menor cantidad fueron las semillas. Estos autores demostraron que las hojas del árbol de papaya fueron las que presentaron mayor presencia de compuestos bioactivos, lo cual genera tema de discusión ya que es la parte que no es consumida como la pulpa; sin embargo, este tipo de investigaciones abre la posibilidad de seguir generando investigaciones a este nivel para aprovechar las partes de los frutos de habitualmente no son de consumo a través de la generación de nuevos productos como deshidratados, liofilizados que podrían dar valor agregado y con

ello la posibilidad de aprovechar al máximo estos compuestos que brindan grandes beneficios a la salud humana.

En el Cuadro 6 se puede observar que en las tres porciones de la fruta de papaya se encuentran altos contenidos de compuestos fenólicos y por tanto mayor actividad antioxidante en cáscara, seguido de las semillas y menor cantidad en pulpa. Usualmente la cáscara y las semillas no son aprovechadas en la extracción de estos compuestos o mediante usos alternativos como harina, extracción de aceites que pueden ser integrados como complementos para otros sub-productos derivados por la agroindustria farmacéutica.

Las frutas de papaya, aparte de ser fuentes importantes de ciertas vitaminas, contienen otros componentes, principalmente pigmentados, como son los compuestos fenólicos que poseen capacidad antioxidante y también son capaces de inhibir los radicales libres. Los estudios epidemiológicos llevados a cabo en la última década sugieren que el consumo de una dieta rica en estos compuestos fenólicos está asociado a la disminución del riesgo de sufrir enfermedades cardiovasculares (Heiss *et al.*, 2006), ciertos tipos de cáncer (Weng *et al.*, 2012) y enfermedades degenerativas (Vauzour *et al.*, 2010).

Cuadro 6. Propiedades bioquímicas de pulpa, cáscara y semilla del fruto papaya *Carica papaya* L; cv Maradol

	Fenoles totales, mg GAE 100 g ⁻¹ d.w.	DPPH, μM TE g ⁻¹ d.w	ABTS, μM TE g ⁻¹ d.w
Pulpa	695.8±7.83	31±11.3	485±23.6
Cáscara	1974.13±12.10	260±26.8	1539.2±35.3
Semilla	1523.4±19.6	115±8.45	935±35.3

Los carotenoides compuesto bioactivo presente en el fruto de papaya constituyen un grupo importante en la dieta humana, pues, además de su actividad vitamínica, cumplen otras actividades biológicas que incluyen la capacidad antioxidante, el filtrado de la luz ultravioleta, la modulación de la función inmune y la regulación de la diferenciación y proliferación celular (Ordoñez y Ledezma, 2013). Aunado a la propiedad antioxidante, los carotenoides pueden ser utilizados como pigmentos naturales, ya que son los responsables de los colores naranja, amarillo y rojo en los alimentos; un ejemplo es la utilización del achiote y de la paprika en la industria alimentaria (Zeni *et al.*, 2011).

Las diferencias entre los resultados obtenidos en este trabajo y los de otros autores respecto a la concentración de compuestos bioactivos es consecuencia de la variación genética y de factores de manejo de pre y poscosecha de los frutos, tal como ha sido discutido por Dumas *et al.* (2003).

Actualmente se generan cantidades excesivas de desechos (cáscaras y semillas) producto de la agroindustria, que no han sido aprovechadas. Una parte de estos desechos principalmente las cáscaras son utilizadas como alimento animal, sin embargo, las cáscaras de diversos frutos incluyendo al fruto de papaya contienen compuestos de alto valor funcional que pueden ser aprovechados para generar un mayor valor agregado. Por tal motivo, presentes investigaciones se han enfocado en caracterizar y consecuentemente desarrollar productos que puedan generar el uso y aprovechamiento de estos desechos (cáscara y semillas) como materia prima para la generación de nuevos productos de origen farmacéutico, con el fin de generar un manejo integral del fruto en cuanto a la extracción de aceites esenciales; debido a que en las referencias bibliográficas se reporta que estos procesos han sido estudiados sólo de manera separada.

Cerón y Cardona, (2011) realizaron la extracción de aceites esenciales y pectinas a partir de la cáscara de naranja fresca. El análisis cromatográfico del aceite esencial, permitió observar los componentes presentes y su abundancia relativa como a los limonenos, mirceno, β -pineno, α -pineno, terpinoleno entre otros, algunos otros componentes como son; el contenido de pectina, grasa, proteína, fibra, ceniza, ácido ascórbico y cítrico. En general, el aceite esencial de naranja tiene una fracción considerable de compuestos de alto peso molecular como el linalol, decanal y octanal, responsables del olor y sabor característico de este producto, permitiendo obtener aceites esenciales de buena calidad.

Se ha demostrado que las semillas de papaya tienen un alto contenido de grasa total (26.2%) lo cual convierte a las semillas de papaya como fuente potencial para la extracción de aceite ya que presenta ácidos grasos insaturados de importancia para la salud como lo es; el ácido oleico y linoleico. Se ha demostrado que la semilla es una buena fuente de aceite que puede ser útil para fines medicinales, producción de biocombustibles y otros usos industriales (Afolabi *et al.*, 2011).

En el presente trabajo se identificaron algunos ácidos grasos de importancia como el ácido laurico, ácido mirístico, ácido palmítico, ácido palmitoleico, margárico, oleico, linoleico, esteárico en cáscara de papaya. Por su parte, la pulpa también contiene algunos ácidos grasos de importancia como ácido mirístico, palmítico, palmitoleico, linoleico. Las semillas tuvieron mayor contenido y variabilidad de ácidos grasos, destacando el ácido laurico, mirístico, pentadecílico, palmítico, palmitoleico, margárico, oleico, esteárico, elaídico y ácido linolénico, ácido lignocérico.

El aceite extraído de las semillas de papaya presenta una coloración ligeramente verdosa, regularmente su extracción es a base de solventes como el éter; presenta un índice de yodo de 74.80, lo que indica que es relativamente bajo en ácidos grasos esenciales. La composición de los ácidos grasos más abundantes son el oleico, palmítico, linoleico y esteárico, mientras que los demás están presentes en cantidades traza (Parni y Verma, 2014). El perfil de los ácidos grasos y el índice de yodo del aceite a base de semillas de papaya son semejantes a los valores reportados para los aceites de olivo, pistache, nuez y almendra quienes presentan una alta concentración de ácido oleico (Sancho *et al.*, 2015).

Dorado *et al.*, (2017) ha identificado ácidos grasos mayoritarios como el ácido oleico con un porcentaje de 44.55%, el ácido linoleico 6.95% en semillas de papaya.

3.3.1 Alternativas de usos para la semilla, cáscara y pulpa de la papaya Maradol

Las semillas en el fruto de papaya comprenden alrededor del 15% del peso húmedo del fruto, se encuentran dentro de la cavidad central conteniendo un gran número de estas (Desai, 1995).

Las investigaciones enfocadas al estudio sobre propiedades de las semillas en particular al fruto de papaya han sido encaminadas a la eliminación de carga bacteriana, parasitaria, entre otros. La acción antihelmíntica de las semillas del fruto se debe al contenido de papaína (enzima proteolítica que digiere las proteínas) por tanto esta enzima ayuda a disolver la queratina o quitina que cubre el cuerpo de los helmintos intestinales, los cuales tienen la función de proteger contra la acción de los jugos digestivos presentes en el intestino (Alonso, 2002). Las semillas frescas de papaya contienen carpasemina, compuesto que tiene la acción destructiva sobre distintos

parásitos. Además, contiene un alcaloide llamado carpaína que actúa sobre el corazón como taquicardias en forma muy similar a la digitalina (planta eficaz para tratamientos cardiacos); en grandes dosis posee características de toxicidad por lo que su uso debe ser bajo observación (Alonso, 2002). La papaína es una enzima proteolítica constituida por 212 aminoácidos, permitiendo el catabolismo proteico y la ruptura de enlaces peptídicos (amidas y esteres) (Tabaos, 2005).

De igual forma la ingesta de semillas de papaya ayuda a la expulsión de lombrices, estos tratamientos antiparasitarios a base de semillas de papaya, no deben ser por tiempos prolongados mayores a cuatro o cinco días, de ser necesario un segundo tratamiento se debe esperar de dos a tres meses (Alonso, 2002).

Estudios antibacterianos demuestran que el extracto de semillas tanto en frutos verdes como maduros, contiene poder antibacteriano contra bacterias gram negativo; los extractos etanólicos de hojas son activos contra *Escherichia coli* y *Staphylococcus aureus* (Cáceres, 1996).

La papaína es similar a la pepsina contenida en el jugo gástrico, esa enzima deshace proteínas y puede suplir la deficiencia de jugos digestivos (Roger, 2007).

Por su actividad digestiva y vermicida, el consumo del fruto o jugo y el polvo de semillas están indicados para el tratamiento de estreñimiento, parasitismo intestinal y diversas afecciones gastrointestinales.

Las semillas han sido utilizadas como sustituto de la pimienta por su sabor especiado y picante, y desde hace mucho tiempo se han utilizado las semillas de papaya como agente ablandador de carnes. Algunos nativos la han utilizado como antihelmíntico, sobre todo para las ascariasis, tanto en humanos como en animales, y se estudia su papel inmunomodulador (Mojica y Francisco, 2003).

En la India la han utilizado como anticonceptivo (Pradesh y Pradesh, 2013). El polvo de la semilla se considera emenagogo y carminativo. Se ha utilizado además como polvo dental por su actividad blanqueadora y agente limpiador. También presenta un efecto curativo en lesiones abrasivas (Singh y Ali, 2011; Nayak *et al.*, 2012).

Ettlinger y Hodgking (1955) fueron los primeros que atribuyeron el sabor característico de las semillas de papaya a la presencia de bencil isotiocianato, lo que posteriormente fue demostrado por muchos investigadores más (Williams *et al.*, 2013).

Las cáscaras de los frutos que se eliminan durante el procesamiento industrial o en el hogar, se pueden utilizar como materia prima para producir sorbitol, el cual es un edulcorante con características funcionales que hace que difiera de los edulcorantes tradicionales, porque puede ser utilizado por los diabéticos y también en la industria alimentaria en productos como mermeladas, bebidas carbonatadas, helados, chocolates, entre otros.

3.4 CONCLUSIONES

La cuantificación de los parámetros físicos y químicos corroboró los valores nutritivos presentes en el fruto de papaya y mostró algunas evidencias importantes como el contenido de proteína, fibra total en función a las diferentes partes del fruto, que caracteriza a la cv. Maradol.

Los compuestos fenólicos presentaron valores altos en las tres diferentes porciones, con alta variación entre las partes analizadas, esto representa una importante actividad antioxidante. La mayor actividad antioxidante se obtuvo por el método ABTS con rangos de 455 a 1539 $\mu\text{M TE g}^{-1}$ d.w.

Estos resultados permiten establecer criterios útiles que pueden ser empleados para llevar a cabo el aprovechamiento integral del fruto papayo de sus tres distintas porciones (cáscara, pulpa y semillas) todas estas presentan propiedades beneficiosas para la salud humana, inclusive la cáscara y semillas presentaron mayor contenido de nutrientes que la parte comestible (pulpa).

3.5 LITERATURA CITADA

- Adetuyi F, O, LT Akinadewo, SV Omosuli and L. Ajala. 2008. Antinutrient and antioxidant quality of waxed and unwaxed pawpaw *Carica papaya* fruit stored at different temperatures. *Afri. J. Biote.*, 7(16): 2920-2924.
- Afolabi I, S, L Marcus T, O Olanrewaju and V Chizea. 2011. Biochemical effect of some food processing methods on the health promoting properties of under-utilized. *Carica papaya seed*. *JNP*, 4: 17-24.
- Afolabi I, S and K Ofobrukmeta. 2011. Physicochemical and nutritional qualities of *Carica papaya* seed products. *J. Med. Plants Res.*, 5(14): 3113-3117.
- Ahuja J, J Montville, G Omolewa T, K Heendeniya and L Ingwersen. 2008. USDA food and nutrition database for dietary studies 3.0. Agricultural Research Service.
- Almeida B, MM, PH Machado S, AM Campos A, M Campos A, G Matias do Prado, CE de Carvalho M, G Arraes M TL Gomes L. 2011. Bioactive compounds and antioxidant activity of fresh exotic fruits from northeastern Brazil. *Food Research International*, 44(7), 2155-2159.
- Bouanga G, K, A Kimbonguila, JM Nzikou, FB Ganongo P, F Moutoula E, E Panyoo A, T Silou and S Desobry. 2011. Extraction and characteristics of seed oil from Papaya (*Carica papaya*) in Congo-Brazzaville. *As. J. Agri. Sci.*, 3(2): 132-137.
- Chukwuka K, S, M Iwuagwu and UN Uka. 2013. Evaluation of Nutritional Components of *Carica papaya* L. At Different Stages of Ripening. *Journal of Pharmacy and Biological Sciences*. Volume 6, Issue 4; PP 13-16.
- Dakare M, A, D Ameh A and A Agbaji S. 2011. Biochemical Assessment of 'Daddawa' Food Seasoning Produced by Fermentation of Pawpaw (*Carica papaya*) Seeds. *Pak. J. Nut.*, 10(3): 220-223.
- Salunkhe D, K. 1995. Handbook of fruit science and technology: Production, composition, storage and processing. p. 297-313.
- Dumas Y, M Dadomo, D Lucca G and P Grolier. 2003. Review effects of environmental factors and agricultural techniques on antioxidant content of tomatoes. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 83, 369-382.
- Haque M, N, B Kanti S, M Rezaul K and M N Huda B. 2009. Evaluation of Nutritional and PhysicoChemical Properties of Several Selected Fruits in Bangladesh. *Bangladesh J. Sci. Ind. Res.*, 44(3): 353-358.
- Heiss C, H Schroeter, J Balzer, P Kleinbongard, S Matern S and H Sies. 2006. Endothelial function, nitric oxide, and cocoa flavanols. *Journal of Cardiovascular Pharmacology*, 47 (2), 28-35.
- Hunt S, J Goff L and J Holbrook. 1980. *Nutrition Principles and Chemical Practices*. John Wiley and Sons, New York, pp: 4952.
- Imaga N, A, GO Gbenle O, VI Okochi, S Ademekan, T Druo-Emmanuel, B Onyeniyi, P Dokai N, M Oyenuga, A Otumara and F Ekeh C. 2010. Phytochemical and

- antioxidant constituents of *Carica papaya* and *Parquetina nigrescens* extracts. *Sci. Res. and Essays*, 5(16).
- Londoño L, J, V Lima, R Lara, O Gil, A Pasa, C Arango and J Pineda R. 2010. Clean recovery of antioxidant flavonoids from citrus peel: Optimizing an aqueous ultrasound-assisted extraction method. *Food Chemistry*, 119(1), 81–87.
- Malacrida C, R, M Kimura and N Jorge. 2011. Characterization of a high oleic oil extracted from papaya (*Carica papaya* L.) seeds. *Cienc. Tecnol. Aliment.*, 31(4): 929-934.
- Marulanda M, P. 2001. Comminuted de naranja variedad Valencia base para bebidas refrescantes, Manizales, Universidad Nacional de Colombia.
- Nwofia G, E, O Philipa and E Chinyere. 2012. Chemical composition of leaves, fruit pulp and seeds in some *Carica papaya* morphotypes. *Int. J. Med. Arom. Plants*, 2(1): 200-206.
- Onwuka G, I. 2005. *Food Analysis and Instrumentation (Theory and Practice)*. 1st Edn., Napthali Prints, Surulere, Lagos-Nigeria, pp: 140-160.
- Ordoñez L and D Ledezma. 2013. Lycopene concentration and physico-chemical properties of tropical fruits. *Food and Nutrition Sciences*, 4, 758-762.
- Priego N. 2007. Obtención de fibra dietética a partir de sáculos de naranja aplicando un tratamiento con vapor (tesis). México: Universidad Tecnológica de la Mixteca.
- OECD 2010. Consensus document on compositional consideration for new varieties of papaya *Carica papaya*: Key food and feed nutrients, anti-nutrients, toxicants and allergens. Environment Directorate Joint Meeting of the Chemicals Committee and the Working Party on Chemicals, Pesticides and Biotechnology.
- Roselló S, E, K Mohamed, A Moubarik, R Lopes, J Saraiva, N Boussetta, N Grimi and F Barba. 2015. Emerging opportunities for the effective valorization of wastes and by-products generated during olive oil production process: Nonconventional methods for the recovery of high-added value compounds. *Trends in Food Science & Technology*; 45: 296-310.
- Serna L and Torres C. 2015. Potencial agroindustrial de cáscaras de mango de las variedades Keitt y Tommy Atkins (*Mangifera indica*). *Acta Agronómica*, 66(2), 110-115.
- Vargas V, M, H Figueroa B, J Tamayo C, VM Toledo L and VM Moo H. 2019. Aprovechamiento de cáscaras de frutas: análisis nutricional y compuestos bioactivos. *Ciencias naturales y Agropecuarias*. 26(2):1-11.
- Vauzour D, A Rodríguez, G Corona, M Oruna and J Spencer. 2010. Polyphenols and human health: Prevention of disease and mechanisms of action. *Nutrients*, 2(11), 1106-1131.
- Weng C. J, and G Yen C. 2012. Chemopreventive effects of dietary phytochemicals against cancer invasion and metastasis: Phenolic acids, monophenol, polyphenol, and their derivatives. *Cancer Treatment Reviews*, 38(1), 76-87.

Zeni J, R Colet, K Cence, L Tiggemann L, G Toniazzo, L Cansian and E Valduga. 2011. Screening of microorganisms for production of carotenoids. *CyTA- Journal of Food*, 9(2), 160-166.

CAPÍTULO 4.

Evaluación del efecto de la aplicación de antimicrobianos sintéticos en frutos de papaya (*Carica papaya* L.) cv Maradol mínimamente procesadas y almacenado en refrigeración

Resumen

La papaya es un fruto tropical de alto consumo en México, no solo por el agradable sabor, sino por los beneficios a la salud humana debido al alto contenido nutricional. El objetivo fue evaluar la vida de anaquel y calidad nutricional de la pulpa de papaya con la aplicación de antimicrobianos sintéticos y procesos de conservación. Se tomó una muestra de 9 frutos que se adquirieron en un mercado local en el estado de Veracruz, con procedencia del municipio de Cotaxtla. Los frutos fueron procesados en estado de madurez de consumo, aplicando tres diferentes tratamientos T1=Sorbato de potasio 0.1% + Cloruro de calcio 3%, T2= Sorbato de potasio 0.1% + benzoato de sodio 3% y T3=testigo. Se evaluó el contenido de humedad, sólidos solubles totales (SST), pH, acidez titulable (AT), índice de maduración (IM), firmeza y color. Los datos se analizaron mediante ANOVA multifactorial con nivel de significancia del 5%. Se obtuvieron valores iniciales promedios de sólidos solubles de 8.7 ± 0.25 para T1, 9.2 ± 0.25 para T2 y 8.51 ± 0.28 para el T3, para la determinación del pH se obtuvieron valores de 5.71 ± 0.06 , 5.63 ± 0.06 , 5.96 ± 0.06 , para T1, T2 y T3 respectivamente. La papaya conservada al vacío utilizando como conservador sorbato de potasio en combinación con benzoato de sodio presentaron mejores resultados ya que se observó menos pérdida de firmeza, así como de color. Por tanto, se concluye que los parámetros fisicoquímicos cuantificados resultan de gran importancia para generar parámetros de control sobre la vida útil del fruto; como lo son el pH y la acidez titulable los cuales presentaron diferencias significativas $p > 0.05$ entre los tratamientos.

Palabras clave: antimicrobianos, benzoato de sodio, sorbato de potasio, evaluación sensorial

4.1 INTRODUCCIÓN

La Organización Mundial de la Salud (OMS) establece que se debe incluir en nuestra dieta dos o tres piezas de fruta diarias, sin embargo, el agitado ritmo de vida actual no favorece el consumo de estos productos, debido al tiempo que se requiere para su preparación (limpieza, pelado, cortado, desemillado, deshuesado, etc). Las frutas son alimentos altamente perecederos y para el consumidor actual no es fácil disponer de productos frescos diariamente. Así, las frutas mínimamente procesadas, las frutas frescas cortadas, o también denominadas de IV gamma, han resultado una gran opción para consumidores que deseen productos listos para consumir con características muy similares a los frutos frescos (Ibazarbal., 2006).

Durante el procesado mínimo de la fruta se aplican tecnologías de barrera (tratamientos sanitizantes, adición de compuestos antioxidantes o texturizantes, recubrimientos comestibles, radiaciones, tratamientos térmicos suaves, atmósferas modificadas, entre otros), que solas o en combinación, tienen por objeto prolongar la vida útil del producto, haciéndolo microbiológicamente seguro y conservando sus características organolépticas y nutricionales. Sin embargo, en ocasiones, dichos tratamientos, si bien son efectivos, pueden conferir al producto una textura, sabores y olores no deseables por lo que es imprescindible utilizar una dosis adecuada para mantener la apariencia, la calidad higiénica y sanitaria sin afectar sus características organolépticas.

El procesamiento mínimo es definido como cualquier alteración física causada en frutas y hortalizas, que mantengan el estado fresco de esos productos. Los principales compuestos químicos utilizados en productos mínimamente procesados son antioxidantes, los acidulantes, los agentes quelantes, entre otros (Chitara, 2000).

Los antimicrobianos son sustancias de carácter sintético o natural, capaces de inhibir el crecimiento y destruir microorganismos. Muchos de estos agentes han sido exitosamente incorporados directamente en materiales de empaque que confieren propiedades antimicrobianas, dentro de ellos se encuentran los sulfitos y dióxidos de azufre, nitrito, sales de nitrito, ácido sórbico, y sus sales de sodio y potasio, ésteres de glicerol, ácido propionico, epóxidos, antibióticos y algunos aceites naturales esenciales entre otros (Castrell *et al.*, 2007). Actualmente los antimicrobianos o conservantes se clasifican en

tradicionales y naturales; los tradicionales son aquellas sustancias químicas incluidas dentro de la normativa vigente y los conservadores naturales como sustancias que se obtienen o se derivan de materiales o procesos biológicos y cuya inocuidad se atribuye a que cuando se ingiere son degradados por el organismo (García, 2004).

La FDA define un conservante químico como cualquier compuesto de carácter sintético que cuando se adiciona a un alimento tiende a prevenir o retardar su deterioro (García, 2004). Los compuestos químicos son capaces de actuar como conservadores de alimentos, pero en los productos solo está permitido su uso en concentraciones relativamente pequeñas. A continuación, se describen los antimicrobianos sintéticos químicamente reconocidos como seguros:

- Ácido propiónico y propionatos (para mohos)
- Ácido sórbico y sorbatos (para mohos)
- Ácido benzoico y benzoatos (para mohos y levaduras)
- Parabenos (para mohos, levaduras y bacterias)
- Diacetato de sodio (mohos y levaduras)
- Etil-formato (para bacteria ácido lácticas y Clostridia)
- Nitrito de sodio (Clostridia)

De estos los más usados por la industria en alimentos son el ácido sórbico y sorbato de potasio. El sorbato de potasio se presenta como polvo blanco y en gránulos, siendo el más soluble de los sorbatos (Luck y Jager, 2000).

Los sorbatos inhiben la captación de aminoácidos y el brote de células vegetativas a partir de esporas. Enzimas como malato, isocitrato, α -cetoglutarato y succinato deshidrogenasas, fumarasa y aspartasa se inhiben con sorbato (Barbosa *et al.*, 1999). Para que el sorbato de potasio sea capaz de ejercer su acción dentro de la célula de los microorganismos, tiene que penetrar primero a través de la pared celular. El ácido benzoico, comúnmente utilizado en forma de sal (benzoatos), es eficaz contra levaduras y bacterias, con actividad máxima en un rango de pH comprendido entre 2,5 y 4,5. Por otro lado, los efectos del cloruro de calcio en los frutos han recibido especial atención,

visto que las aplicaciones de ese catión producen efectos positivos retardando la senescencia, mediante la disminución de la respiración y de la producción de etileno en el complejo membrana-pared celular, sobre el control fisiológico y en la conservación de los frutos (García y Praderas., 2010).

Los antimicrobianos ya sean de origen tradicional o natural tienen como principal objetivo evitar o minimizar el oscurecimiento de los tejidos, la pérdida del aroma y del sabor, cambios en la textura, reducción en la calidad nutricional, así como evitar el crecimiento de microorganismo. El objetivo del presente capítulo fue evaluar la vida de anaquel y calidad nutricional de la pulpa de papaya con la aplicación de antimicrobianos sintéticos y procesos de conservación.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Selección de la materia prima

Los frutos de papaya (*Carica papaya* L.) cv. Maradol se adquirieron en un mercado local “Malibrán” en el estado de Veracruz, con procedencia del municipio de Cotaxtla. Se seleccionaron frutos de forma y tamaño uniforme ($24,4 \pm 1,9$ cm), peso ($1,71 \pm 0,36$ kg fruta⁻¹), en etapa de maduración de consumo, sin daños mecánicos. La longitud de las frutas se determinó con la ayuda de un calibrador vernier, mientras que el peso se realizó en una balanza electrónica marca Sartorius. Se utilizaron 3 frutos para cada proceso de conservación, utilizando para este diseño 9 frutos en total.

Las frutas se sumergieron en una solución de yodo al 10% (Probacter) durante 15 minutos a temperatura ambiente. Se colocaron sobre papel para eliminar el exceso de solución y se mantuvieron a temperatura ambiente (aproximadamente 26°C y 42% RH) por 30 minutos.

4.2.2 Preparación de las muestras de papayas cortadas y de las soluciones utilizadas como conservador

Las papayas seleccionadas fueron cortadas a la mitad, eliminando semillas y cáscara superficial de la pulpa. Cada mitad se dividió longitudinalmente en 4 partes, dependiendo del tamaño de las mismas, se desechó la sección del pedúnculo y la parte final de la rebanada, finalmente cada papaya fue dividida en ocho secciones mediante cortes

longitudinales y con la ayuda de un cuchillo se obtuvieron muestras de 6 ± 1 cm de largo por 21 ± 1 cm aproximadamente. Se realizaron las siguientes soluciones; 1 se prepararon 3 L de cada solución, el testigo (T3) consistió en rebanadas de papaya sin previo tratamiento únicamente aplicación de vacío.

4.2.3 Aplicación de los tratamientos

Los conservadores se aplicaron sumergiendo las secciones cortadas de las papayas en las soluciones antes mencionadas por periodos de 1 a 2 min. Después, éstas se envasaron en bolsas de polietileno de baja densidad aplicando vacío, los cuales fueron codificados y almacenados a temperatura de refrigeración $5\pm 1^\circ\text{C}$.

Las bolsas utilizadas para la conservación fueron bolsas transparentes con estructura multicapa ideal para empaques al vacío.

4.2.4 Determinación de las características fisicoquímicas

Las muestras (rebanadas de papaya) empacadas al vacío se cortaron en cubos pequeños de aproximadamente 1 cm^3 , se homogeneizó y se usó para la determinación de sólidos solubles totales (SST) según el método de análisis AOAC 932.12) (AOAC, 2000), pH (método de análisis AOAC 981.12) y acidez titulable (AT) (método de análisis AOAC 942.15). El SST y el pH se determinaron a 20°C utilizando un refractómetro manual tipo PAL⁻¹ (Atago Co. Ltd., Tokio, Japón) y un potenciómetro para pH (Hanna Instruments, HI 3512; RI, EE. UU.), respectivamente. La AT, expresada como ácido málico por 100 g de pulpa, se determinó mediante titulación con NaOH 0,1 N. Todos los parámetros químicos de la fruta analizada se determinaron por triplicado para cada empaque.

4.2.4.1 Firmeza

La determinación de la firmeza en las rebanadas papaya empacadas se determinó con un Penetrometro digital (Bareiss, HPE-FFF Digital, FM02380; Oberdischingen, Alemania) equipado con una sonda de acero inoxidable de 5 mm de diámetro.

4.2.4.2 Análisis de color

Los valores de color CIE-L * a * b * se adquirieron utilizando un colorímetro triestímulo (Kangguang WSD-3A®; Beijing, China). Los valores de color L*, a* y b* indican luminosidad (0=negro y 100=blanco), enrojecimiento y amarillez de la muestra, respectivamente. El ángulo del tono (H°) o el tono es equivalente a $[\arctan (b^*/a^*)]$ y representa cambios en el color de la fruta, que varía de rojo (0°), a amarillo (90°), a verde-azul (180°), a azul (270°). Chroma (C*) se calculó utilizando la fórmula $C = [(a^{*2} + b^{*2})^{1/2}]$, y los niveles describen el grado de saturación o la intensidad del color. El color de la pulpa se determinó en 3 puntos distribuidos al azar en el epicarpio de cada rebanada de fruta.

4.2.5 Evaluación sensorial de la papaya

Se realizó una prueba de preferencia empleando para ello una prueba hedónica de 9 puntos (Cuadro 7) que permite medir el grado en el que un producto gusta o disgusta. Para la realización de esta prueba se utilizó un panel de consumidores integrado por 50 panelistas no entrenados, de ambos sexos, con edades comprendidas entre 18 y 37 años, pertenecientes a distintas ocupaciones. Empleando los criterios de Liria-Domínguez (2007) se le entregó simultáneamente a cada consumidor 3 muestras codificadas con números aleatorios de 3 dígitos. Se les pidió que probaran y calificaran los atributos color, sabor y textura (dureza), según su apreciación tomando en cuenta la escala.

Cuadro. 7 Escala hedónica de 9 puntos utilizada para la determinación de la preferencia de las rebanadas de papaya empacadas al vacío.

Puntaje	Calificación
9	Gusta extremadamente
8	Gusta mucho
7	Gusta moderadamente
6	Gusta poco
5	Ni gusta ni disgusta
4	Disgusta poco
3	Disgusta moderadamente
2	Disgusta mucho
1	Disgusta extremadamente

Esta prueba fue realizada en el Laboratorio de Alimentos del Centro de Estudios Tecnológicos del Mar N° 09 Alvarado Veracruz, bajo un ambiente a 22°C, iluminado con bombillos de neón (luces blancas), con la finalidad de minimizar la distracción de los panelistas, los cuales fueron ubicados en sillas frente a las muestras a evaluar.

4.2.6 Análisis estadístico

Se empleó un diseño completamente al azar con tres repeticiones y muestreo aleatorio. Los datos obtenidos se analizaron con el programa estadístico JMP 7.0.2 (Oneway ANOVA) con $\alpha=0.05$. Se hicieron comparaciones de medias mediante la prueba de rangos múltiples de Tukey ($p \leq 0.05$).

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Parámetros fisicoquímicos

En el Cuadro 8 se muestran los parámetros físicos y químicos resultado de la aplicación de dos tratamientos y el control a través del tiempo, almacenados en refrigeración a 5°C.

Cuadro 8. Resultados fisicoquímicos de las rebanadas de papaya conservadas al vacío aplicando dos tratamientos y el control.

Variables analizadas					
Vida útil (Días)	Firmeza N	SST(°Brix)	pH	Acidez titulable	Índice de madurez IM
Tratamiento 1					
0	27.33±4.04 ^a	9.43±0.20 ^a	5.53±0.20 ^b	0.34±0.04 ^a	27.94±4.6 ^a
3	25.20±9.49 ^a	9.2±0.17 ^{ab}	5.62±0.15 ^{ab}	0.31±0.16 ^a	35.35±16 ^a
6	24.7±5.12 ^a	8.7±0.26 ^{bc}	5.74±0.14 ^{ab}	0.29±0.03 ^a	30.61±4.4 ^a
9	22.7±0.76 ^a	8.3±0.11 ^c	5.75±0.06 ^{ab}	0.27±0.03 ^a	31.62±3.9 ^a
12	20.2±2.50 ^a	8.3±0.15 ^c	5.95±0.07 ^a	0.26±0.04 ^a	32.65±1.6 ^a
Tratamiento 2					
0	33.67±5.03 ^a	9.97±0.15 ^a	5.40±0.05 ^b	0.39±0.06 ^a	26.36±4.7 ^a
3	28.13±1.00 ^a	9.5±0.05 ^a	5.59±0.11 ^{ab}	0.38±0.02 ^a	26.08±1.67 ^a
6	25.87±5.96 ^{ab}	9.4±0.72 ^a	5.66±0.14 ^{ab}	0.34±0.08 ^a	28.76±5.4 ^a
9	14.47±0.8 ^{bc}	8.77±0.17 ^a	5.68±0.12 ^{ab}	0.32±0.08 ^a	27.38±7.3 ^a
12	13.40±5.74 ^c	8.53±1.45 ^a	5.82±0.15 ^a	0.30±0.01 ^a	28.04±3.6 ^a
Tratamiento 3					
0	17.83±4.23 ^a	9.07±0.65 ^a	5.91±0.18 ^a	0.29±0.14 ^a	32±16.9 ^a
3	16.00±8.7 ^{ab}	8.80±0.38 ^a	5.95±0.47 ^a	0.29±0.14 ^a	31.06±14.4 ^a
6	14.47±2.49 ^{ab}	8.57±2.65 ^{ab}	5.94±0.50 ^a	0.27±0.15 ^a	32.5±11.4 ^a
9	11.7±8.43 ^b	7.63±1.27 ^b	6.01±0.27 ^a	0.24±0.03 ^a	31.9±8.81 ^a

T1= Sorbato de potasio 0.1% + Cloruro de calcio 3%

T2= Sorbato de potasio 0.1% + benzoato de sodio 3%

T3=Testigo

La firmeza de las rebanadas de papaya conservados al vacío aplicando dos diferentes conservadores y el control presentaron una tendencia descendente similar entre cada tratamiento (Figura 13), lo anterior se debe al proceso natural de maduración del fruto; sin embargo, este porcentaje de pérdidas se puede deber a que los frutos procesados mínimamente presentan mayor actividad de enzimas pectinolíticas comparada con la de los frutos frescos no procesados, ya que en el proceso de cortado y pelado se rompen las células y sus organelos, permitiendo que las enzimas se difundan en el interior del tejido y entren en contacto con los sustratos, reaccionando y provocando el ablandamiento (González *et al.*, 2005). Las rebanadas de papaya conservadas con sorbato de potasio 0.1% en combinación con cloruro de calcio 3% presentaron al día 0, 27.33 Newton (N) al final del ensayo día 12, 20.2 N, mientras tanto las rebanadas de papaya conservadas con sorbato de potasio 0.1% en combinación con benzoato de sodio 3% presentaron al día 0, 33.67 N finalizando con 13.4 N al día 12. Oms-Oliuetal (2008) menciona que el uso de cloruro de calcio ayuda a mantener la firmeza de la fruta ya que el calcio puede ser utilizado como agente endurecedor para los tejidos de la fruta desde que reacciona con ácido péctico en la pared celular hasta formar pectato de calcio y unirse a la pared celular, lo anterior podría explicar el comportamiento del cloruro de calcio del tratamiento 1 en comparación al tratamiento 2 donde el benzoato de sodio tendió a perder mayor firmeza durante el tiempo de almacenamiento, las rebanadas de papaya sin ningún tipo de conservador permanecieron menos firmes en comparación con los tratamientos T1 Y T2; a lo que se podría aludir la importancia de integrar algún tipo de conservador que mejore y prolongue la textura y con ello la calidad del fruto por mayor tiempo. Regularmente en las etapas poscosecha los frutos se caracterizan por el ablandamiento de la epidermis y la pulpa, causado por diferentes factores, entre ellos, la acción de las enzimas hidrolasas en la pared celular, las cuales actúan sobre la pectina; las celulasas, con actividad baja en frutos verdes, se incrementan rápidamente durante la maduración (Kays y Paull, 2004). Según Solarte *et al.* (2010b), las pectinasas (p.e. pectinmetil esterasa) remueven los grupos metilo del ácido galacturónico, permitiendo que las enzimas poligalacturonasas despolimericen la cadena de ácido poligalacturónico y reduzcan su peso molecular. Los iones de calcio forman enlaces cruzados o puentes entre los grupos carboxilo libres de las cadenas de pectina, dando como resultado

fortalecimiento de la pared celular (García *et al.*, 1996). Los complejos de calcio van a los residuos de ácido poligalacturónico de la pared celular y la lámina central, mejorando la integridad estructural (Van-Buren, 1979). Como resultado, las frutas y verduras tratadas con cloruro de calcio generalmente permanecen más firmes durante el almacenamiento (Duvetter *et al.*, 2005; Sila *et al.*, 2004). Por tanto, es una excelente alternativa como conservante para la conservación de frutos mínimamente procesados.

La pérdida de firmeza en el presente estudio se debe al proceso natural de maduración del fruto; sin embargo, otro de los factores que podrían inferir en la pérdida de firmeza es la manipulación que se les da a los productos mínimamente procesados. Los resultados coinciden con los reportado por López *et al.*, (2018) donde evaluaron el efecto de un tratamiento hidrotérmico y la aplicación de cloruro de calcio en frutos de papaya; los tratamientos presentaron una disminución en la firmeza; los frutos que presentaron mayores pérdidas fueron los del control, obteniendo diferencias significativas ($p \leq 0,05$) con el resto de los tratamientos. Por otro lado, Aguayo *et al.* (2008) observaron que la aplicación de un tratamiento hidrotérmico en combinación con cloruro de calcio (TH-Ca) retarda la pérdida de la firmeza en frutos de melón.

Ayon *et al.* (2015) reportaron un comportamiento similar a lo encontrado en el presente trabajo donde evaluaron el efecto combinado de la aplicación de (TH-Ca) seguido de la inmersión en quitosano de rebanadas de papaya.

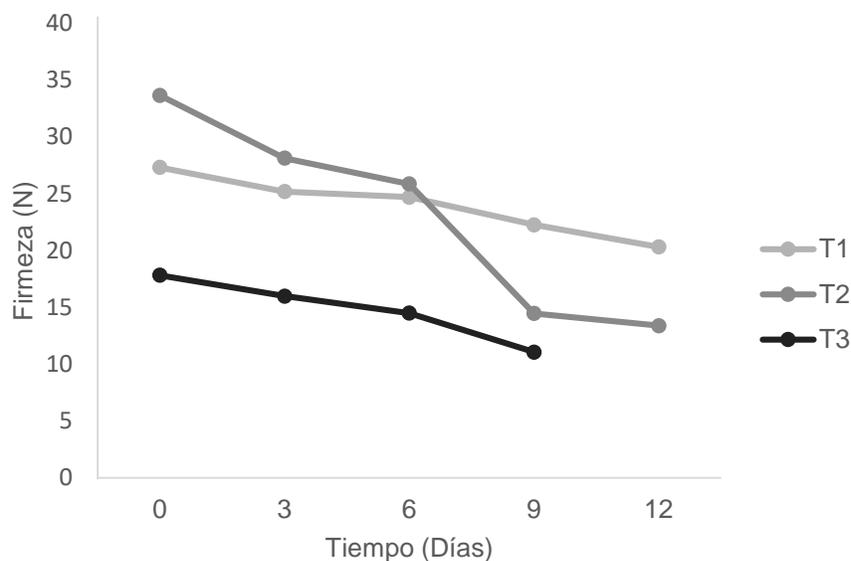


Figura 13. Comportamiento de la firmeza en rebanadas de papaya durante el tiempo de almacenamiento $5\pm 1^{\circ}\text{C}$ en tres diferentes tratamientos.

Los sólidos solubles totales (SST) expresados como $^{\circ}\text{Brix}$, son un indicativo del contenido de azúcar. En el presente trabajo los (SST) mostraron claramente una tendencia descendente en cada uno de los tratamientos y el control (Figura 14). No se mostraron diferencias significativas ($p\geq 0,05$) entre tratamientos lo cual coincide con Ayón *et al.*, 2015 donde no observaron diferencia ($p\geq 0,05$) entre tratamientos en frutos de papaya mínimamente procesada. Lo anterior se podría atribuir, que a lo largo del tiempo de almacenamiento puede ocurrir alteraciones fisiológicas en los frutos con la liberación o exudación de nutrientes. Las rebanadas de papaya siguen su proceso de maduración, por tanto, el contenido de los SST tiende a aumentar ligeramente durante el periodo de almacenamiento (Achipiz *et al.*, 2013). Sin embargo, el comportamiento observado no fue así, esto se debe a que durante el almacenamiento el contenido de sólidos solubles totales se ve afectado por la solubilización y síntesis de hidratos de carbono, ya que están estrechamente ligados con la maduración de la papaya (Waghmare y Annapure, 2013). Un comportamiento similar se ha observado en frutos de piña mínimamente procesada, un descenso significativo en los sólidos solubles a partir del día 2 a 5°C en refrigeración (Bueno *et al.*, 2005). La reducción de los sólidos solubles es probablemente

debida a la continuación del proceso respiratorio que implica un mayor consumo de sustrato orgánico, es decir, azúcares (Kader, 2002).

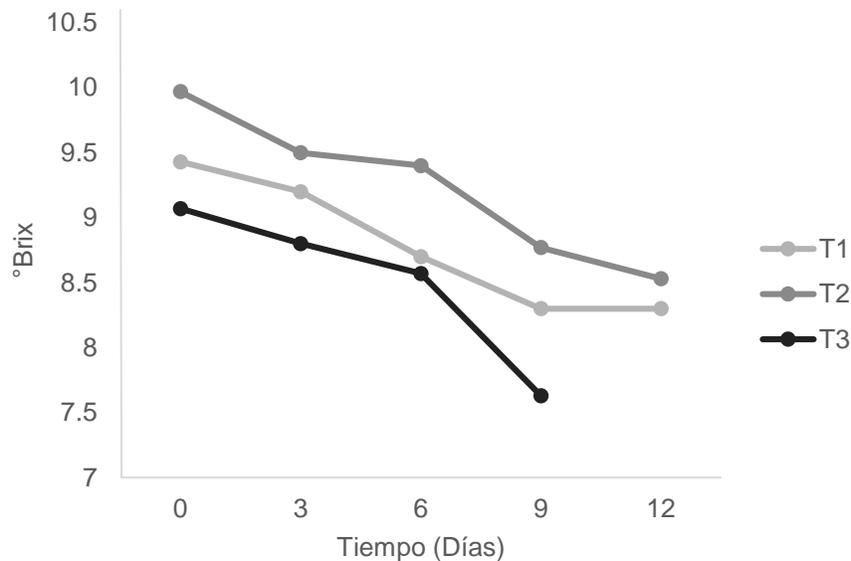


Figura 14. Comportamiento de los sólidos solubles totales (°Brix) en rebanadas de papaya durante el tiempo de almacenamiento $5 \pm 1^\circ\text{C}$ en tres diferentes tratamientos

Se observó un incremento en los valores de pH en todos los tratamientos durante el periodo de almacenamiento (Figura 15), siendo más pronunciado durante los primeros dos días. Dado que los ácidos orgánicos (predominando en papaya los ácidos cítrico y málico) son los sustratos de reacciones enzimáticas durante la respiración, se espera que haya un aumento en el pH durante el almacenamiento (Argañosa *et al.*, 2008). Los valores de pH obtenidos se encuentran por debajo a lo reportado por la FDA que establece un rango de 6.13 a 6.53, sin embargo, en un estudio realizado por Arruda *et al.* (2004) en papaya fresca variedad Maradol se encontraron valores de 5.76, lo que permite deducir que la variación en el PH de este fruto, entre otros factores, se puede relacionar con el tipo de suelo donde fueron cultivados, la época del año y la zona de cultivo. En este sentido, Lainez y Krarup (2008) expresan que las variaciones en las condiciones físico-químicas de los frutos de papaya se pueden asociar con factores ambientales y, especialmente, al manejo del cultivo. Los valores del pH entre los tratamientos mostraron un comportamiento muy similar, exponiendo que existe diferencias estadísticas significativas entre los dos tratamientos y el control. Las

rebanadas de papaya no tratadas fueron las que presentaron los valores de pH más altos durante el almacenamiento. El incremento del pH posiblemente es debido a la maduración de las frutas; los ácidos orgánicos de reserva presentes en las vacuolas, son transformados por la célula a azúcares que serán utilizados para la respiración celular, lo que ocasiona una disminución de la acidez del medio y con ello un aumento del pH (Martínez *et al.* 2002).

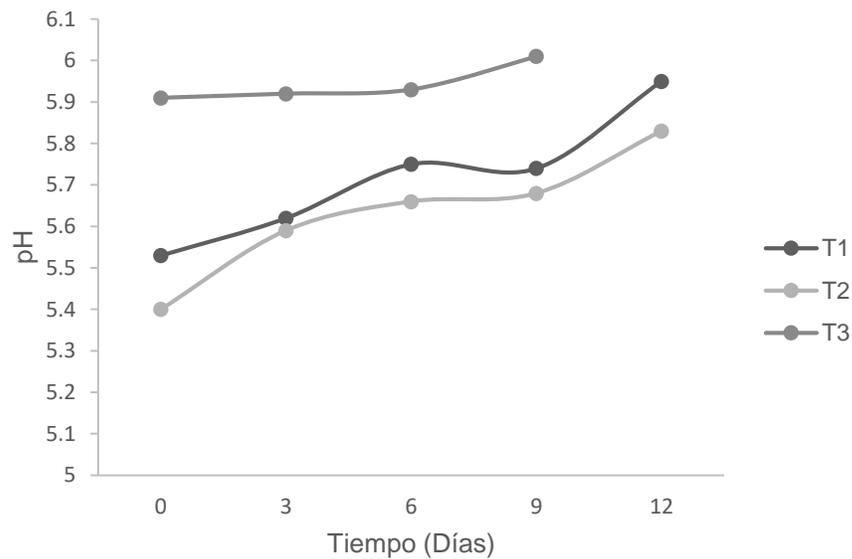


Figura 15. Comportamiento del pH en rebanadas de papaya durante el tiempo de almacenamiento $5 \pm 1^\circ\text{C}$ en tres diferentes tratamientos

De manera general la acidez titulable (Figura 16), tendió a disminuir para los tres tratamientos durante el proceso de almacenamiento; esta disminución puede deberse al resultado de la utilización de los ácidos orgánicos en la respiración y en otros procesos fisiológicos (Martínez *et al.*, 2002). Los valores presentes en las rebanadas de papaya, son relativamente más altos a los reportados por Ayón *et al.*, (2015) quienes obtuvieron valores de 0.056, 0.058, 0.056 y 0.060 % para los tratamientos control, quitosano (Quit), TH-Ca y TH-Ca+Quit, respectivamente en rebanadas de papaya.

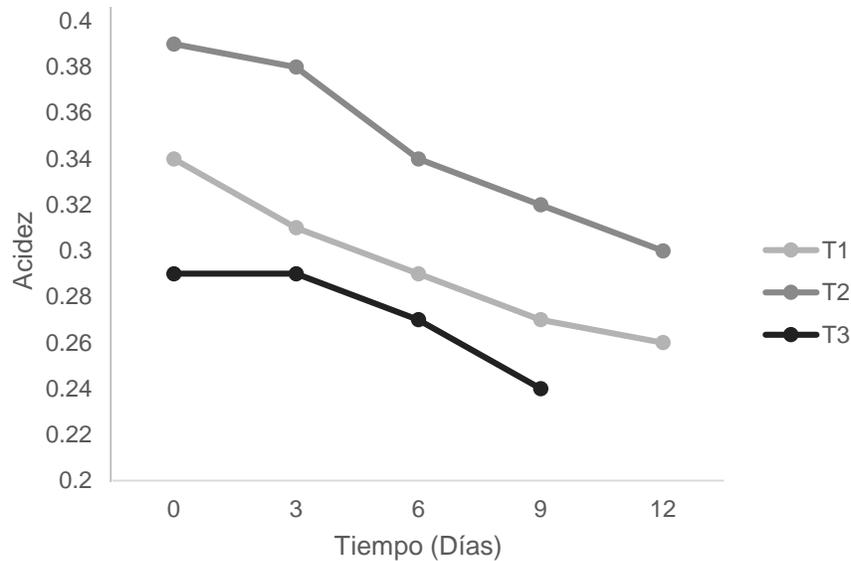


Figura 16. Comportamiento de la acidez titulable en rebanadas de papaya durante el tiempo de almacenamiento $5^{\circ}\text{C}\pm 1$ en tres diferentes tratamientos

Chavarría *et al.*, (2015) evaluaron el efecto de la aplicación de atmósferas modificadas activas y pasivas en papaya Maradol mínimamente procesada sobre los parámetros de calidad y en la vida útil. Los frutos en estado de madurez de consumo fueron tratados como se describe a continuación; el primer grupo con alginato de sodio 0.5% más cloruro de calcio y el segundo grupo fueron envasados con film de baja permeabilidad al oxígeno ($\text{PO}_2 \Rightarrow 100 \text{cm}^2/\text{m}^2 \cdot \text{día} \cdot \text{atm}$); las variables medidas fueron firmeza, porcentaje de pérdida de peso, liberación de líquido, vitamina C, sólidos solubles totales y presencia de microorganismos coliformes, mesófilos, mohos y levaduras. Los resultados mostraron que la papaya con recubrimiento de alginato de sodio 0.5% más cloruro de calcio preservó por más tiempo los parámetros de calidad. Por tanto, el recubrimiento a base de alginato de sodio 0.5% más cloruro de calcio es una buena alternativa para alargar la vida de anaquel y preservar los parámetros de calidad de la papaya.

El principal problema que se presenta en los frutos de papaya mínimamente procesados es la translucidez, y aunque no fue medida en el presente trabajo es importante señalar ser, un parámetro de desorden fisiológico que afecta a la calidad de la papaya. Se caracteriza por una alteración de la textura de la pulpa volviéndose transparente, cristalina y con apariencia de sobre madura (Hernández *et al.*, 2007). El tipo de troceado

y el grosor de la rodaja de papaya afecta de forma sustancial a la translucidez de la fruta. Lo anterior lo corrobora O' Connor *et al.* (1994) donde evaluaron la vida útil de tres diferentes frutos incluyendo al fruto de papaya mínimamente procesado, evaluaron el desarrollo de microorganismos en frutos que no habían sido sanitizados (ni la fruta entera, ni la cortada), sin embargo, la calidad microbiológica de la papaya no se pudo evaluar en un tiempo suficientemente largo como para que el desarrollo de microorganismos tuviera lugar, ya que la vida útil de este fruto a 4°C fue de dos días (debido al desarrollo de translucidez y a la pérdida de firmeza). En el presente (Cuadro 9), se presentan los resultado de los parámetros fisicoquímicos analizados en los tres diferentes tratamientos aplicados.

Cuadro 9. Parámetros físicos y químicos en los tres diferentes tratamientos

Parámetros Físicos y Químicos				
Tratamiento	Firmeza	Sólidos solubles totales (°Brix)	pH	Acidez
T1	23.96±2.58 ^a	8.7±0.25 ^a	5.71±0.06 ^b	0.29±0.03 ^b
T2	23.10±2.58 ^a	9.2±0.25 ^a	5.63±0.06 ^b	0.34±0.03 ^a
T3	14.85±2.88 ^a	8.51±0.28 ^a	5.96±0.06 ^a	0.27±0.02 ^b

T1= Sorbato de potasio 0.1% + Cloruro de calcio 3%

T2= Sorbato de potasio 0.1% + benzoato de sodio 3%

T3=Testigo

El tipo de corte que se realice en el proceso mínimo de transformación en frutos es uno de los factores que podría afectar la calidad final del fruto conservado en refrigeración. Rivera *et al.* (2004) desarrollaron el efecto del corte (cubos y rebanadas) almacenada en tres diferentes temperaturas de refrigeración (5, 10, y 20 °C) algunos de los parámetros medidos fueron la producción de CO₂, color, firmeza, sólidos solubles totales (SST), y pérdida de peso (PP). Los resultados mostraron que las rebanadas y cubos de papaya no mostraron cambios significativos en las variables de calidad evaluadas en general, en base a lo anterior se podría citar que el tipo de corte no influye en la calidad general de la pulpa de papaya mínimamente procesada, sin embargo, la temperatura de

almacenamiento es un factor que afecta considerablemente la calidad del fruto, según lo reportado.

4.3.2 Color

El análisis del color no mostró diferencias significativas entre los tratamientos aplicados en frutos de papaya mínimamente procesados, almacenados en refrigeración. El valor L^* representa la luminosidad o el brillo, el cual sufrió un ligero descenso junto con la saturación o intensidad del color (Chroma), lo anterior se muestra en la (Figura 17 y 18).

El cambio de color medido por el ángulo hue° , (Figura 19) presentó tendencias decrecientes con respecto a los valores iniciales; no mostraron diferencias significativas, lo cual concluye que no existe efecto entre los tratamientos aplicados y el control, ya que la calidad del color no se vio afectada. Sin embargo, el descenso de dichos valores se puede atribuir a que los frutos mínimamente procesados sufren oscurecimiento por la oxidación provocado por la exposición a la luz, el tiempo de almacenamiento, el proceso de pelado y cortado. Sin embargo, en el presente estudio no se apreciaron cambios significativos en el color por lo que se podría indicar que la aplicación de conservadores sintéticos no afecta la calidad del fruto con respecto al color.

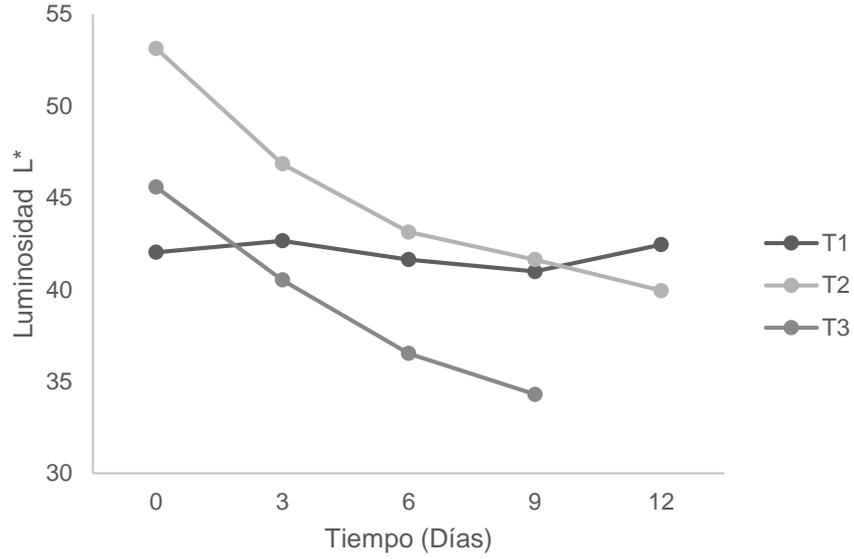


Figura 17. Comportamiento de la luminosidad L* en frutos de papaya mínimamente procesadas conservadas en refrigeración $5\pm 1^{\circ}\text{C}$

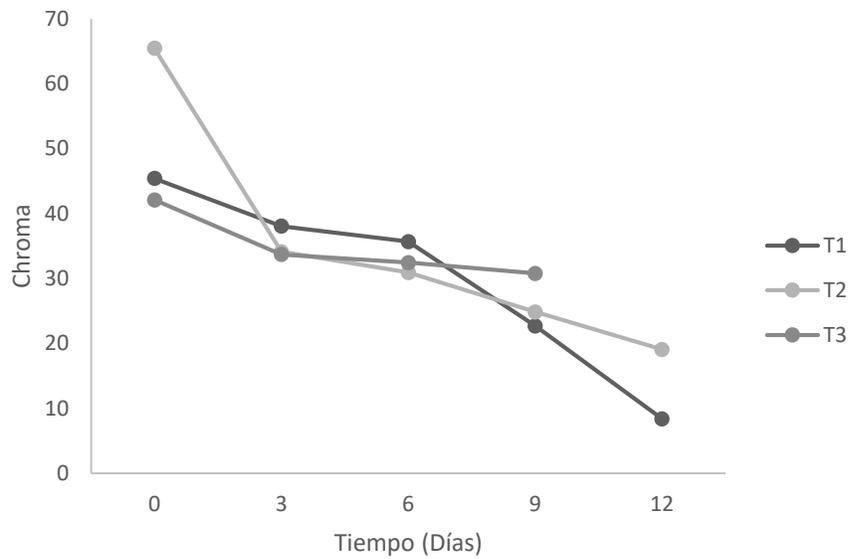


Figura 18. Comportamiento de la saturación (Chroma) en frutos de papaya mínimamente procesadas conservadas en refrigeración $5\pm 1^{\circ}\text{C}$

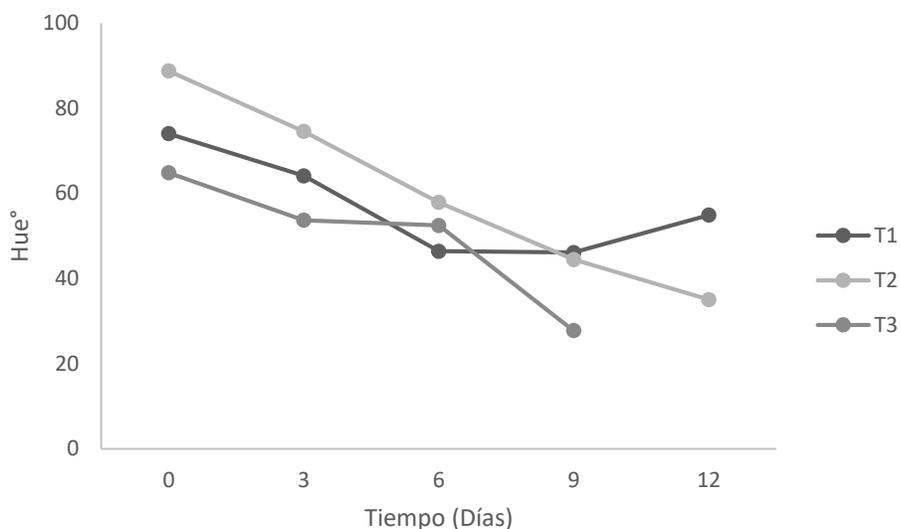


Figura 19. Comportamiento de Hue° en frutos de papaya mínimamente procesadas conservadas en refrigeración 5°C

Calderón *et al.*, (2012) evaluaron el efecto de luz UV-C y ácido málico sobre rebanadas de papaya fresca cortada. Los resultados demostraron que la aplicación en combinación de dichos tratamientos, previnieron cambios bruscos en la luminosidad o brillantez en las papayas tratadas por efecto del tratamiento; se observaron menores valores de luminosidad (L^*) desde el día de la preparación de la muestra en las papayas frescas cortadas inmersas en agua en comparación con las muestras tratadas, y se encontraron diferencias estadísticas ($P \leq 0,05$) entre los valores obtenidos a lo largo del tiempo entre ambas muestras.

Hernández *et al.*, (2007) determinaron diferencias de color en papaya mínimamente procesada en diferentes tipos de corte (medias rodajas, medias rodajas con y sin placenta y medias rodajas con distintos grosores); los resultados mostraron que el color de las medias rodajas y de los cuartos se modificó de manera similar durante los diez días de conservación. En todos los casos se observó un descenso de los parámetros de color analizados (L , a^* , b^* y Cromo) sin diferencias significativas entre los dos tipos de corte, para las rodajas de papaya con y sin placenta se observó el mismo comportamiento. En las rodajas de distintos grosores la evolución del color de (L y a) varió en función del grosor de las mismas y a lo largo del tiempo. Sin embargo, b y Cromo descendieron de manera similar en todos los grosores estudiados, sin diferencias

significativas entre ellos. Lo anterior, difiere de los descritos por Aguayo *et al.* (2004a) donde observaron que las modificaciones en los atributos de color evaluados dependieron del tipo de corte en rodajas de melón.

4.3.3 Evaluación sensorial

Los resultados obtenidos en la evaluación sensorial, donde resultó que el tratamiento que más fue del agrado de los consumidores fue el control, papaya al natural empacada al vacío sin la aplicación del conservante sintético, con 7.46 de calificación promedio lo cual es el equivalente según la tabla hedónica a gustar moderadamente, sin embargo basando los resultados en el análisis estadístico este no mostró diferencias significativas con el tratamiento¹ donde la calificación obtenida fue de 6.90 para lo cual se puede concluir que ambas muestras de papaya presentaron el mismo nivel de agrado por parte de los panelistas; quien presentó un nivel de agrado negativo fueron las muestras del tratamiento 2 las cuales según la tabla de calificaciones hedónicas obtuvieron 4.08 posicionándola como el tratamiento que menos gusto (disgusta poco). Lo anterior, indica que la aplicación de sorbato de potasio 0.1% + Cloruro de calcio 3% resultó satisfactoria ya que fue junto con el control las de mejor aceptación, lo que indica que las rebanadas de papaya tratadas por la combinación de ambos conservadores mejoran los aspectos sensoriales como lo es el color, textura y sabor; prolongando además su vida útil de anaquel.

La apariencia es un criterio muy importante para determinar la aceptabilidad de los productos. Esta es utilizada como un indicador de frescura y calidad en los productos mínimamente procesados, tanto en la investigación científica como en la industria (Djioua *et al.*, 2009).

Chavarría *et al.*, (2015) evaluaron la intensidad de color, apariencia, olor, sabor y textura de las papayas mínimamente procesadas envasadas en atmósferas modificadas; los resultados fueron calificaciones de 4-5 (muy buenas) en la escala hedónica, lo cual indicó que la aplicación de las atmósferas resultó satisfactoria ya que fueron similares a un control, sin presentar diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en los diferentes parámetros evaluados.

Al día 0 en el que se registraron puntuaciones de 4 de la intensidad de color de los trozos de papaya en atmósfera activa y pasiva presentó diferencia significativa ($p \leq 0.05$) en este parámetro con respecto a los trozos en fresco sin la aplicación de atmósferas, sin embargo en las propiedades de olor, sabor, textura y apariencia los panelistas no percibieron ninguna diferencia en los productos evaluados; al día 20 se detectó un mejor sabor de los trozos de papayas en atmósferas modificadas (activa y pasiva) presentando diferencia significativa ($p \leq 0.05$) con respecto a los cubos en fresco. En el parámetro de color se mostró un comportamiento inverso. Estos comportamientos expuestos por los panelistas se pueden explicar por lo reportado en Waghmare y Annapure, (2013) donde el ablandamiento de los tejidos limita la vida útil y conduce al rechazo por parte de los consumidores de productos de la IV Gamma, sin embargo, el uso de las atmósferas retrasa la pérdida de firmeza, mejora la apariencia y sabor.

La aceptación por parte del consumidor hacia frutas mínimamente procesadas está ligado frecuentemente a su apariencia, al sabor y textura características naturales de estos frutos. El contenido de azúcares en frutas mínimamente procesada, esta generalmente correlacionado positivamente con el sabor; en ocasiones el dulzor es percibido de manera negativa (Pérez, 2003).

García (2012) evaluó mediante un panel de 35 catadores no entrenados el color, olor, sabor y textura. Para el estudio analizó la influencia de tres factores: tipo de sal de calcio (lactato de calcio y cloruro de calcio), concentración de la sal de calcio (0.3, 0.6 y 1.0%) y tiempo de inmersión (2 y 5 min). Trabajó con tres controles control 1: papaya en trozos sin sales de calcio ni conservantes; control 2: sorbato de potasio + benzoato de sodio + 2 min de inmersión; control 3: sorbato de potasio + benzoato de sodio + 5 min de inmersión).

En la escala hedónica para el atributo sabor, se propuso calificaciones desde “Muy desagradable” con una valoración de 1, a “Muy agradable” con una valoración de 5.

Mediante el análisis de varianza, a un nivel de confianza del 95%, el atributo sabor no presentó diferencia significativa, percibida por los catadores, entre los tratamientos aplicados.

De manera general al comparar el tiempo de vida de anaquel de los tratamientos aplicados en el presente trabajo de investigación con los productos similares en el mercado, se observa que la papaya empacada al vacío aplicando antimicrobianos sintéticos está dentro del periodo de vida útil de este tipo de alimentos mínimamente procesados, de alrededor de 10 días, esto depende en gran medida del tipo de fruta con el que se trabaje.

Las bolsas utilizadas para la conservación fueron bolsas transparentes con estructura multicapa ideal para empaques al vacío, presentan barrera contra gases como el oxígeno, dióxido de carbono, nitrógeno, vapor de agua, barrera a la humedad, grasas y aromas; presenta resistencia mecánica al rasgado, impacto y punzado. Debido a las propiedades ópticas del material utilizado, proporciona al producto empacado brillo, la transparencia permite visualizar el producto empacado. Se utilizó este empaque por ser ideal para empacar al vacío o en atmósferas modificadas, permite la refrigeración y congelación; presenta resistencia térmica al calentamiento hasta 70°C, es económico y se pueden empacar diversos alimentos.

La aplicación de antimicrobianos sintéticos es una excelente opción para frutos mínimamente procesados, en especial para aquellos frutos susceptibles a daños físicos, este tipo de tecnologías es ideal para trabajar con frutas poco industrializadas; y además aplicable a diversas variedades de frutas tropicales que tiene nuestro país.

4.4 CONCLUSIONES

La evaluación de los parámetros fisicoquímicos permitieron establecer criterios útiles que pueden ser empleados como indicadores de calidad en pulpa de papaya mínimamente procesada permitiendo prolongar su vida de anaquel útil hasta por 12 días en condiciones de refrigeración ($5\pm 1^\circ\text{C}$).

En sorbato de potasio 0.1% + Cloruro de calcio 3%, en combinación con un empaque de polietileno aplicando vacío, resultó ser el más adecuado junto con el testigo contribuyendo a mantener los atributos de calidad sensorial, físicos y químicos de la pulpa de papaya mínimamente procesada.

4.5 LITERATURA CITADA

- Achipiz M, S, A Castillo E, A Mosquera S, J Hoyos L, D Navia P. 2013. Efecto de recubrimiento a base de almidón sobre la maduración de la guayaba (*Psidium guajava*). Biotecnología en el Sector Agropecuario y Agroindustrial. 2, 92-100.
- Aguayo E, C Requejo J, R Stanley, A Woolf. 2008. Hot water treatment in combination with calcium ascorbate dips increases bioactive compounds and helps to maintain fresh-cut apple quality. Postharvest Biology and Technology. 110, 158-165.
- Aguayo E, V Escalona, H Artés F. 2004a. Metabolic behavior and quality changes of whole and fresh processed melon. Journal of Food Science. 69(4).
- Antoniolli L, C Benedito B, F Moreira S. 2011. Efeito do cloreto de cálcio na qualidade de abacaxi “Pérola” minimamente procesado. Pesquisa Agropecuária Brasileira, 38(9), 1105–1110.
- Argañosa AC, MF Raposo, P Texteira, A Morais. 2008. Effect of cut-type on quality of minimally processed papaya. Journal of the Science of Food and Agriculture 88(12):2050-2060.
- Ayón R, LE, A González R, JG Rendón M, ME Báez F, ME López L, MO Vega G. 2017. Application of a hydrothermal-calcium chloride treatment of inhibit postharvest anthracnose development in papaya. Postharvest Biology and Technology. 124: 85-90.
- Ayón R, L E, R Tamayo L, F Cárdenas F, ME López L, G López A, HS López M, J López C, JA López V, MO Vega G. 2015. Effectiveness of hydrothermal-calcium chloride treatment and chitosan on quality retention and microbial growth during storage of fresh-cut papaya. Journal of food science. 80. 3.
- Barbosa G, U Pothakamury, E Paulo and B Swason. 1990. Conservación no Térmica de los alimentos. Editorial Acribia. Zaragoza, España. 280 pág.
- Bueno JC, S, EV Barros V, ME Torres P and AC Marques P. 2005. Avaliação da qualidade do abacaxi “pérola” minimamente processado armazenado sob atmosfera modificada. Ciência e Agrotecnologia, 29(2), 353–361.
- Calderón G, M, R Raybaudi M, J Mosqueda M and M Tapia. 2012. Efecto de la luz UV-C y ácido málico sobre poblaciones de *Rhodotorula glutinis* y vida útil de rebanadas de papaya maradol. *Bioagro*, 24(2), 103-114.
- Reyes C, AT, MA Trejo M, V Lira A and B Pascual S. 2015. Conservación de papaya Maradol mínimamente procesada en atmosferas modificadas activas y pasivas. Revista Iberoamericana de Tecnología Post-cosecha, 16,2:287-292.
- Tassadit D, F Charles, Murillo F JR, E Filgueiras, MN Ducamp C and H Sallanon. 2010. Combined Effects of Postharvest Heat Treatment and Chitosan Coating on Quality of Fresh-cut Mangoes (*Mangifera Indica* L.). International Journal of Food Science & Technology, 45 (4) 849–855.
- Barret D, M, L Somogyi and Hosahalli R. 2004. Fresh-cut fruits. Processing Fruits: Science and Technology. 53-72.
- Garcia G, RM, G Zurera C. 1996. Determination of ready-to-eat vegetable salad shelf-life. International J. Food Microb. 36: 31-38.
- García T D V. 2012. Efecto de las sales de calcio en la vida de anaquel y aceptabilidad de papaya (*Carica papaya* L.), cv Solo Sunrise, fresca Cortada. Ambato-Ecuador.

- González A, GA, I Monroy G, F Goycoolea V, ME Díaz C and JF Ayala, Z. 2005. Cubiertas comestibles de quitosano. Una alternativa para prevenir el deterioro microbiano y conservar la calidad de papaya fresca cortada. Proyecto XI.22 Desarrollo de tecnologías para la conservación de vegetales frescos cortados. p 121-133.
- Hernández Y, M Lobo G and González M. 2007. Optimización del tipo de troceado de papaya mínimamente procesada y su efecto en la translucidez. Dpto. de Fruticultura tropical. V Congreso Iberoamericano de Tecnología Post-cosecha y Agro-exportaciones.
- López Z, BA, LE Ayón R, ME López L, R Gutiérrez D and MO Vega G. 2018. Efecto de un Tratamiento Hidrotérmico-Cloruro de Calcio sobre la Calidad Poscosecha y el Contenido de Compuestos Bioactivos en Frutos de Papaya Durante su Almacenamiento Comercial. Investigación y Desarrollo en ciencia y Tecnología de Alimentos. 3:727-733.
- Luck E and Jager M. 2000. Conservación química de los alimentos. 2a edición. Editorial Acribia. Zaragoza España. 324 pág.
- Martínez F, M, C Harper, F Pérez-Munoz and M Chaparro. 2002. Modified atmosphere packaging of minimally processed mango and pineapple fruits. Journal of Food Science 67:3365-3371.
- O'Connor S, RE, R Roberts AL Ford and SM Nottingham. 1994. Shelf-life of minimally processed honeydew, kiwifruit, papaya, pineapple and cantaloupe. J. Food Sci. 59(6):1202-1215.
- Oms Oliu G, R Soliva F and O Martín B. 2008. Using polysaccharide-based edible coatings to enhance. Food Science and Technology 41, 1862-1870.
- Rico D, AB Martín D, JM Barat and C Barry R. 2007. Extending and measuring the quality of fresh-cut fruit and vegetables. Food Science & Technology. 18(7), 373–386.
- Rivera L, J, FA Vázquez O, JF Ayala Z and GA González A. 2004. Efecto del corte y la temperatura de almacenamiento en la calidad de papaya fresca cortada (*Carica papaya* L. cv. "Maradol"). Revista Iberoamericana de Tecnología Postcosecha. 6(2):83-94.
- Waghmare RB, US Annapure. 2013. Combined effect of chemical treatment and/or modified atmosphere packaging (MAP) on quality of fresh-cut papaya. Postharvest Biology and Technology, 85, 147-153.

9. CONTRASTACIÓN DE HIPÓTESIS

Contrastación de las hipótesis particulares:

H01: La situación del cultivo de papaya y la percepción sobre las alternativas de agregación de valor del fruto, depende del nivel tecnológico y socioeconómico de los productores. Los cultivos de papaya en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, requieren de la implementación de innovaciones para estar a la vanguardia en tecnología. De los productores encuestados solo el 5.1% exporta, el 69.2% comercializa al mercado nacional, 17.9% regional y 7.6% local y estatal. El 56.3% de los productores están interesados en el aprovechamiento del fruto para la agregación de valor. La percepción de los productores sobre estas alternativas resultó en una actitud positiva. Por lo que no se rechaza la hipótesis H01.

H02: Los cambios fisicoquímicos y compuestos bioactivos presentes en el fruto de papaya, están en función de los diferentes estados de madurez. Los valores del fruto de papaya mostraron algunas evidencias importantes como el incremento del pH en función al grado de madurez. Los compuestos fenólicos presentaron valores altos y sin variación durante la madurez, esto representa una importante actividad antioxidante desde la madurez fisiológica hasta madurez de consumo. La mayor actividad antioxidante se obtuvo por el método ABTS con rangos de 434.44 a 395.71 $\mu\text{M TE g}^{-1}$ d.w. Los parámetros analizados pH y firmeza mostraron variación durante la madurez. Por lo tanto, la H02 se rechaza parcialmente.

H03: El aprovechamiento integral del fruto (cáscara, semilla y pulpa) está en función al contenido nutricional, compuestos bioactivos y actividad antioxidante. La presencia de proteína en la cáscara presentó el máximo porcentaje 8.88%, seguida de la semilla con 6.14% y pulpa 2.18%. En fibra los valores fueron de 18.6% en semillas, 11.4% en cáscara y pulpa presentó el 10.8%. Los fenoles totales variaron de 200 a 1506 mg GAE 100 g⁻¹ d.w., en relación a la parte analizada. Los antioxidantes mostraron valores en pulpa 485, cáscara 1539.1 y semilla 935.1 $\mu\text{M TE g}^{-1}$ d.w, bajo el método ABTS. Las semillas en comparación con la cáscara y la pulpa tuvieron mayor contenido de ácidos grasos

esenciales, destacando el ácido láurico, mirístico, palmítico, palmitoleico, margárico, oleico, esteárico, elaídico y ácido linolénico. Por tanto, no se rechaza la hipótesis H03.

H04: La vida de anaquel y la calidad nutricional de la pulpa de papaya depende de la aplicación de antimicrobianos sintéticos y los procesos de conservación. Las propiedades organolépticas tales como el color, textura y sabor, así como el contenido nutricional de la pulpa mínimamente procesada se conservaron hasta por 12 días en condiciones de refrigeración ($5\pm 1^\circ$). Se logró prolongar la vida anaquel. Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis H04.

En respuesta a la hipótesis general planteada para la solución del problema de investigación, se concluye lo siguiente:

Las alternativas para el aprovechamiento integral del fruto de papaya y agregación de valor, están en función de los parámetros fisicoquímicos, compuestos bioactivos y actividad antioxidante. En las tres porciones que conforman la fruta de papaya se encuentran altos contenidos de compuestos fenólicos expresado como equivalente al ácido gálico (GAE) y por tanto mayor actividad antioxidante, en cáscara 1974.13 ± 12.10 GAE 100 g^{-1} d.w, seguido de las semillas 1523.4 ± 19.6 GAE 100 g^{-1} d.w y menor cantidad en pulpa 695.8 ± 7.83 GAE 100 g^{-1} d.w. La mayor actividad antioxidante se obtuvo por el método ABTS para cáscara 1539.2 ± 35.3 $\mu\text{M TE g}^{-1}$ d.w, semillas 935 ± 35.3 $\mu\text{M TE g}^{-1}$ d.w y en la pulpa 485 ± 23.6 $\mu\text{M TE g}^{-1}$ d.w. El contenido de grasa total resultó en cáscara, semilla y pulpa de 1.88, 26.2, 0.22% respectivamente. En relación al contenido de cenizas, la cáscara fue quien presentó mayor contenido en porcentaje 4.85%, la pulpa presentó 4.12% y el valor más bajo corresponde a las semillas con 3.36%. Los compuestos fenólicos presentaron valores altos y con poca variación entre las porciones analizadas. Por lo tanto, no se rechaza la hipótesis general.

10. CONCLUSIONES GENERALES

El cultivo de papaya en el municipio de Cotaxtla, Veracruz, requieren de la implementación de innovaciones como en semillas certificadas, desarrollo de variedades resistentes a virosis con óptimas características organolépticas, manejo de maquinaria para el proceso de empaque entre otros. Estos son algunos de los puntos más críticos que resultaron con deficiencias. Es necesario el correcto manejo e implementación para estar a la vanguardia en tecnología. De los productores encuestados solo el 5.1% exporta, el 69.2% comercializa al mercado nacional, 17.9% regional y 7.6% local y estatal. Son necesarias estrategias en el manejo de buenas prácticas agronómicas para aumentar la producción, generar frutos con mejor calidad, inocuidad y sanidad. En la fase post-cosecha se presentan pérdidas del fruto por la inadecuada manipulación, almacenamiento y transporte. Todos estos factores provocan pérdidas económicas cuantiosas para el productor. Lo que conlleva a la necesidad de generar alternativas de agregación de valor, por lo que el 56.3% de los productores están interesados en el aprovechamiento del fruto para la agregación de valor. La percepción de los productores sobre estas alternativas resultó en una actitud positiva.

La presencia de fenoles totales con aporte antioxidante y contenido nutricional están presentes en las diferentes etapas de maduración del fruto; por lo que pueden ser aprovechados en sus diferentes estados de madurez.

Los compuestos bioactivos no solo están presentes en la parte comestible (pulpa) sino también en la cáscara y semillas en mayor cantidad. Por ello la importancia de caracterizar la presencia de estos compuestos. Estos resultados permiten establecer criterios útiles que pueden ser empleados para llevar a cabo el aprovechamiento integral del fruto papayo en sus diferentes porciones (cáscara, pulpa y semillas)

Mediante la conservación de la pulpa de papaya al vacío y la aplicación de antimicrobianos sintéticos se logró prolongar la vida anaquel. Las propiedades organolépticas tales como el color, textura y sabor, así como el contenido nutricional se conservaron hasta por 12 días en condiciones de refrigeración ($5\pm 1^{\circ}\text{C}$).

11. ANEXOS

Anexo 1. Cuestionario aplicado como herramienta para la obtención de información útil de los productores de papaya

El presente cuestionario tiene como objetivo recabar información precisa de los productores de papaya a fin de conocer el manejo que se le da a la fruta. La información proporcionada será utilizada exclusivamente con fines de estudio, por lo que SU USO SERÁ ÚNICAMENTE CON FINES ACADÉMICOS

Datos generales del productor		
Nombre:	Edad:	Escolaridad
Fecha:	Hora:	Localidad:
# Cuestionario:		

- 1 ¿Cuántos años de experiencia tiene en el cultivo de papaya?

- 2 ¿Cuál es el Rendimiento de papaya en (t/ha)?

- 3 ¿Cuál es el costo de producción del cultivo de papaya por (ha)?

- 4 ¿Cuántas hectáreas tiene usted?
 1-5
 5-10
 10-15
- 5 ¿De las siguientes actividades, mencione cuáles realiza en su parcela?
 Cultivo de maíz
 Cultivo de papaya
 Ganadería
 Otros
- 6 ¿Cuántas hectáreas destina al cultivo de papaya?
 1-4
 4-8
 Mayor a 8

- 7 ¿Cuál es el precio de venta por kilo de papaya?
Máximo _____
Mínimo _____
Promedio _____
- 8 ¿Considera rentable la siembra de papaya?
 Si
 No
¿Por qué?
- 9 ¿A qué precio tiene que vender el kilo de papaya para que usted no pierda?

- 10 ¿Dónde adquiere la semilla para el cultivo?
 Las produce
 Proveedores
 Otros
- 11 Su papaya es de:
 temporal
 Riego
- 12 ¿Qué variedades maneja en su cultivo?

- 13 ¿Qué tipo de riego maneja en su cultivo?
 Aspersión
 Surcos
 Goteo
 Temporal
 Otros
- 14 ¿Qué fertilizante aplica en su cultivo de papaya?

- 15 ¿Qué cantidad de fertilizante aplica en su cultivo de papaya?

- 16 ¿Con que frecuencia aplica el fertilizante en su cultivo de papaya?

- 17 ¿Qué plagas y enfermedades combate en su parcela?
 Pulgones
 Arañas rojas
 Mosca de la papaya

- Enfermedades virales
- Enfermedades bacterianas
- Enfermedades fungosas
- Todas las anteriores
- Otros

18 ¿Con que productos las combate?

- Insecticidas
- Productos orgánicos
- Control biológico
- Otros

19 ¿Qué tipo de mano de obra utiliza?

- Contratada
- Familiar
- Ambos
- Otra

20 Cuáles organizaciones de productores de papaya de la región conoce?

21 ¿Forma parte de un grupo organizado para la producción de papaya?

- Sí
 - No
- ¿Por qué?

22 ¿Pertenece al Consejo Estatal de Productores Veracruzanos de Papayo?

- Sí
- No

23 ¿Cuáles son las prácticas que realiza durante el proceso de cosecha y postcosecha en la papaya?

- La fruta no entra en contacto con el suelo
- El acopio se realiza a la sombra
- Selección de tamaño y estado de madurez de la fruta
- Colectores de papaya limpios
- Uso de herramientas para cortar la fruta
- Hora de cosecha
- Lavado y desinfectado
- Secado del fruto
- Empacado del producto
- Transporte con sistema de refrigeración

- 24** ¿Cuál es el destino de su cosecha?
 Mercado local y regional mercado estatal Mercado nacional
 Exportación
- 25** ¿Cuáles son los tipos empaques que emplea para la venta de papaya a los diferentes mercados?
 Cajas de cartón corrugado
 Papel periódico
 Papel revolución
 Bolsas plásticas con perforaciones
 Malla de polietileno expandido
 Otros
- 26** ¿Cuál es la calidad de la papaya que produce?
 Primera
 Segunda
 Tercera
 Todas las anteriores
- 27** ¿Hace algún aprovechamiento de la papaya que no vende?
 Sí
 No
 ¿Cuáles?
- 28** ¿Cómo transporta la papaya para su venta?
 Terrestre
 Marítima
 Aérea
- 29** ¿Utiliza sistemas de refrigeración en el almacenamiento y transporte de la papaya?
 Sí
 No
- 30** ¿Existe influencia por temporada en el precio de la papaya?
 Sí
 No
- 31** ¿Existen intermediarios que le compran su papaya?
 Sí
 No
- 32** ¿En los últimos tres años cuál ha sido en promedio la producción de papaya por ha?

2014_____

2015_____

2016_____

¿En los últimos tres años cuál ha sido en promedio el precio por tonelada de papaya?

2014_____

2015_____

2016_____

¿En los últimos tres años cuál ha sido en promedio las toneladas de papaya vendidas?

2014_____

2015_____

2016_____

33 ¿Cuáles son los meses de mayor demanda de la papaya?

Enero - abril

Abril - julio

Julio - octubre

Octubre - diciembre

34 ¿Conoce las etapas del proceso de exportación? Si su respuesta es “no” pase a la pregunta 38.

Sí

No

35 ¿Sabe cuáles son las dependencias del gobierno federal y los trámites que tienen que efectuarse ante ellas para exportar?

Sí

No

36 ¿Le piden que su papaya venga limpia, empacada y libre de contaminantes químicos?

Sí

No

Mencione_____

37 ¿Conoce los canales de distribución más utilizados en el mercado de destino?

Sí

No

38 ¿Ha pensado en elaborar productos agroindustriales como deshidratados, mermeladas u otros de la fruta de papaya?

Sí

No

Anexo 2. Cuestionario aplicado como herramienta para la evaluación sensorial

Instrucciones: pruebe de izquierda a derecha los cubos de papaya que se encuentran frente a usted y califique el nivel de agrado que le producen de acuerdo a la escala que se encuentra debajo.

Muestra	121	233	344
Calificación	_____	_____	_____

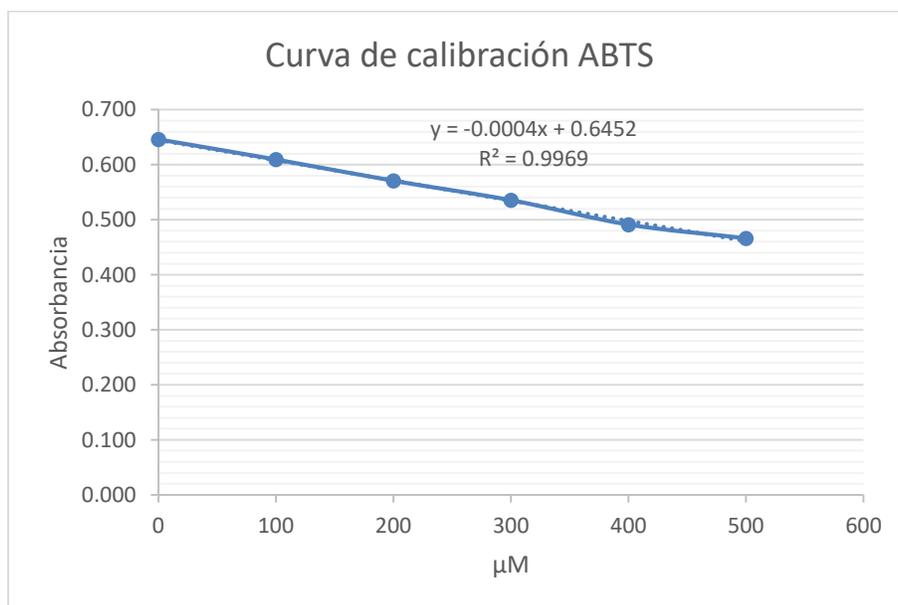
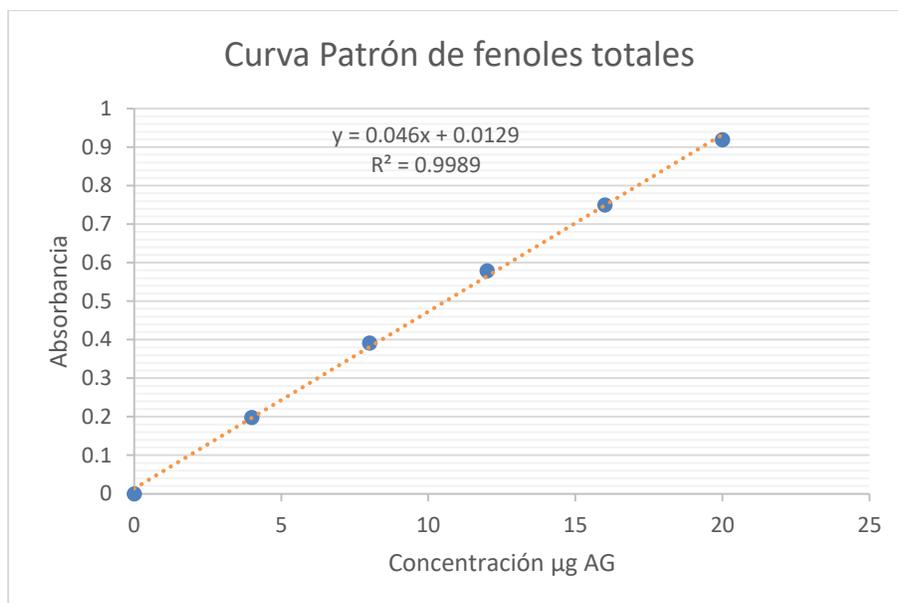
Escala

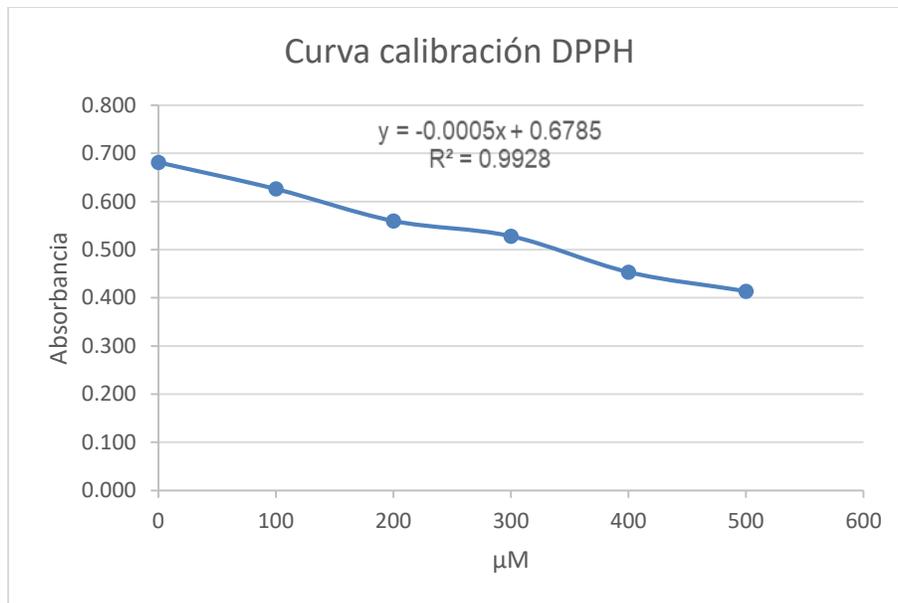
1. Disgusta extremadamente
2. Disgusta mucho
3. Disgusta moderadamente
4. Disgusta poco
5. Gusta ni disgusta
6. Gusta poco
7. Gusta moderadamente
8. Gusta mucho
9. Gusta extremadamente

Anexo 3. Comportamiento en los parámetros de color L*, Chroma y Hue° en papaya Maradol mínimamente procesada

Tiempo (Días)	Tratamientos	Luminosidad	Croma	Hue°
0	T1	42.04±3.69 ^b	45.42±1.9 ^a	74.0±3.5 ^b
	T2	53.13±3.1 ^a	65.47±21.6 ^a	88.76±4.0 ^a
	T3	45.59±1.5 ^b	42.11±2.35 ^a	64.85±2.8 ^c
3	T1	42.66±3.1 ^a	38.06±1.79 ^a	64.11±3.55 ^a
	T2	46.85±1.6 ^a	34.1±9.54 ^a	74.56±4.0a ^b
	T3	40.53±5.2 ^a	33.69±4.09 ^a	53.69±4.8 ^b
6	T1	41.64±5.9 ^a	35.67±1.9 ^a	46.41±2.84 ^a
	T2	43.14±9.2 ^a	30.93±21.6 ^a	57.88±10.5 ^a
	T3	36.5±2.45 ^a	32.44±3.52 ^a	64.85±1.69 ^a
9	T1	40.99±4.7 ^a	22.68±2.50 ^a	46.12±2.65 ^a
	T2	41.64±3.09 ^a	24.84±2.94 ^a	44.47±1.13 ^a
	T3	34.3±3.5 ^a	30.77±6.10 ^a	27.79±7.89 ^a
12	T1	42.45±0.8 ^a	8.37±9.2 ^a	54.89±13.6 ^a
	T2	39.95±1.01 ^a	19.05±1.5 ^a	35.0±2.58 ^a
	T3	S/D	S/D	S/D

Anexo 4. Curvas de calibración para Fenoles Totales, Actividad antioxidante método ABTS y DPPH





Anexo 5. Memoria Fotográfica



Plantas de papaya Maradol



Frutos de papaya en diferentes estados



Análisis de fenoles totales



Determinación de firmeza en rebanadas



Determinación de firmeza en fruto



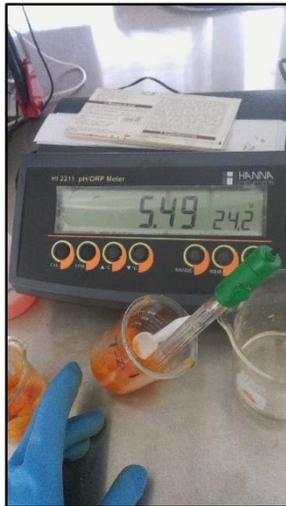
Pelado de papaya para su procesamiento



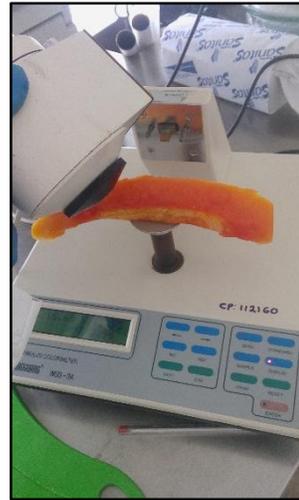
Rebanadas de papaya para empackado



Análisis de parámetros fisicoquímicos



Análisis de pH



Análisis de color en pulpa de papaya



Crisoles sometidos a peso constante



Determinación de sólidos solubles
totales



Filtrado de muestras para titulación



Análisis de acidez titulable