



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA CHAPINGO

DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA AGROINDUSTRIAL

**POSGRADO EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO
QUÍMICAS DE LA *Feijoa sellowiana* Berg. EN
POSCOSECHA Y PROCESADA**

Que como requisito parcial para obtener el grado de:

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

Presenta:

KARLA ELIZABETH GONZÁLEZ GARCÍA

Bajo la supervisión de: JUAN GUILLERMO CRUZ CASTILLO, PhD



Chapingo, Estado de México, noviembre de 2016

**COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICO QUÍMICAS DE LA
Feijoa sellowiana Berg. EN POSCOSECHA Y PROCESADA**

Tesis realizada por **Karla Elizabeth González García**, bajo la supervisión del Comité Asesor indicado, aprobada por el mismo y aceptada como requisito parcial para obtener el grado de:

6

**MAESTRO EN CIENCIAS EN CIENCIA Y TECNOLOGÍA
AGROALIMENTARIA**

DIRECTOR:

DR. JUAN GUILLERMO CRUZ CASTILLO

CODIRECTORA:

DRA. DIANA GUERRA RAMÍREZ

ASESORA:

DRA. MA. CARMEN YBARRA M

ÍNDICE

ÍNDICE	iii
LISTA DE CUADROS	vii
LISTA DE FIGURAS	viii
DEDICATORIA	ix
DATOS BIOGRÁFICOS	xii
RESUMEN GENERAL	13
GENERAL ABSTRACT	14
I INTRODUCCIÓN	15
II REVISIÓN DE LITERATURA	16
2.1 Características de los frutos de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg.	16
2.2 Importancia como especie frutal	16
2.3 Calidad nutrimental y nutracéutica	17
2.4 Producción mundial	17
2.5 Producción en México	18
2.6 Capacidad antioxidante	18
2.6.1 Capacidad antioxidante en los alimentos	20
2.6.2 Compuestos que proporcionan capacidad antioxidante	20
2.6.3 Capacidad antioxidante en <i>Feijoa sellowiana</i> Berg	23
2.7 Aceites esenciales	23
2.7.1 Clasificación de aceites esenciales	24
2.7.2 Composición química del aceite esencial de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg.	25

2.8 Procesamiento de alimentos	25
2.8.1 Diferentes métodos de procesamiento	25
2.8.2 Deshidratación	26
2.8.3 Conservación mediante la adición de azúcar	26
2.9 REFERENCIAS	27
III PROPIEDADES NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE <i>Feijoa sellowiana</i> Berg	31
RESUMEN	31
ABSTRACT	32
3.1 INTRODUCCIÓN	32
3.2 MATERIALES Y MÉTODOS	33
3.2.1 Material vegetal	33
3.2.2 Caracterización física de frutos	34
3.2.3 Análisis proximal	34
3.2.4 Evaluación de la capacidad antioxidante	34
Preparación de extractos	34
Determinación de fenoles totales	35
Determinación de flavonoides	35
Ensayo FRAP	36
Ensayo DPPH	37
Ensayo ABTS	37
3.2.5. Determinación de vitamina C	38
3.2.6. Extracción de aceite de semilla de <i>Feijoa sellowiana</i> B. por Soxhlet	39
Perfil de ácidos grasos	39
3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	40
3.3.1 Caracterización física de los frutos	40
3.3.2 Análisis proximal	41
3.3.3 Fenoles totales	42
3.3.4 Capacidad antioxidante	45

3.3.5 Determinación de vitamina C	47
3.3.6. Perfil de ácidos grasos de aceite de semilla de <i>Feijoa sellowiana</i> B.	47
3.4 CONCLUSIONES	48
3.5 REFERENCIAS	49
IV OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE (<i>Feijoa sellowiana</i> Berg.)	53
RESUMEN	53
ABSTRACT	53
4.1 INTRODUCCIÓN	54
4.2.1 Material vegetal	55
4.2.2 Obtención del aceite esencial	55
4.2.3 Análisis GC/Masas	56
4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	56
4.3.1 Composición química del aceite esencial de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg	56
4.4 CONCLUSIONES	61
4.5 REFERENCIAS	62
V PROCESAMIENTO AGROINDUSTRIAL DE (<i>Feijoa sellowiana</i> Berg.)	64
RESUMEN	64
ABSTRACT	64
5.1 INTRODUCCIÓN	65
5.2 MATERIALES Y MÉTODOS	67
5.2.1 Material vegetal	67
5.2.2 Proceso de deshidratación del fruto	67
5.2.3 Elaboración de mermelada de (<i>Feijoa sellowiana</i> Berg.)	67
5.2.4 Evaluación de capacidad antioxidante y vitamina C	68
Preparación de extractos de mermelada	68
Preparación de extractos de fruto deshidratado	68

Determinación de fenoles totales	69
Determinación de flavonoides	69
Ensayo FRAP	69
Ensayo DPPH	69
Ensayo ABTS	69
Determinación de Vitamina C	69
5.2.5 Evaluación sensorial	70
5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN	70
5.3.1 Fenoles totales	70
5.3.2 Capacidad antioxidante	72
5.3.3 Evaluación sensorial	73
5.4 CONCLUSIONES	74
5.5 REFERENCIAS	74
CONCLUSIONES GENERALES	76

LISTA DE CUADROS

Cuadro 1. Características físicas de la feijoa.....	41
Cuadro 2 .Análisis proximal de los frutos de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg. de Huatusco, Veracruz.	41
Cuadro 3 .Contenido fenólico total (CFT), flavonoides totales(FT), capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP) y contenido de ácido ascórbico (AA) de frutos de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg.....	44
Cuadro 4. Perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg. extraído mediante Soxhlet (%).....	48
Cuadro 5. Composición química del aceite esencial de la cáscara de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg.....	58
Cuadro 6.Contenido de fenoles totales (CFT), flavonoides totales (FT) ,capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP) y contenido de ácido ascorbico (AA) de mermelada de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg..	72
Cuadro 7 Evaluación sensorial de mermelada de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg.....	73

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Contenido de CFT, FT, capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP) y AA de frutos de <i>Feijoa sellowiana</i> Berg..	45
Figura 2 Dispositivo Clevenger	56
Figura 3 Cromatograma de gases del aceite esencial de la cáscara de feijoa.	57

DEDICATORIA

A mi madre: Patricia García Espejel,
mi ejemplo a seguir,
su amor incondicional me ha impulsado a ser una mejor persona.

A mi padre: Carlos González Flores
mi guardián y pilar importante en mi vida,
agradecida por su amor y apoyo en todo momento.

A mi hermano: Arturo González García,
mi fiel acompañante,
gracias por llegar a mi vida y llenarla de alegría.

Karla

AGRADECIMIENTOS

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología por el financiamiento brindado a través de la beca de estudios de posgrado.

A la Universidad Autónoma Chapingo por permitirme la oportunidad de ingresar en su matrícula académica.

Al Posgrado en Ciencia y Tecnología Agroalimentaria por haberme proporcionado los conocimientos y herramientas suficientes para seguir superándome profesionalmente.

Al Consejo Mexiquense de Ciencia y Tecnología (COMECYT) por el apoyo económico otorgado para poder finalizar este proyecto de investigación.

Al Dr. Juan Guillermo Cruz Castillo por sus atenciones, asesorías y por haberme otorgado su confianza para realizar este proyecto de investigación.

A la Dra. Diana Guerra Ramírez por su constante entusiasmo, su tiempo y conocimientos brindados, así como su orientación para poder culminar este trabajo, pero sobre todo por su amor incondicional y su amistad.

A la Dra. Ma. Carmen Ybarra Moncada por sus amplios conocimientos, su orientación, pero sobre todo por sus consejos y su apoyo incondicional.

A la Dra. Irma Salgado por su paciencia, guía y apoyo para que este trabajo pudiera llevarse a cabo.

Al Dr. Benito Reyes Trejo, por permitirme el acceso al laboratorio y por proporcionarme sus conocimientos.

Al Dr. Arturo Hernández Montes, por permitirme el acceso al laboratorio de evaluación sensorial, por sus finas atenciones y asesorías en este trabajo.

Al personal de laboratorio de Productos Naturales del Departamento de Preparatoria Agrícola y al equipo de trabajo, por brindarme su amistad y su orientación durante mi estancia ahí.

A mis amigos Mariana, Yutzill, Víctor, Yamir, Gerardo, gracias por llegar a mi vida y apoyarme en todo momento sin ustedes no lo habría logrado, los quiero infinitamente.

A mis compañeras del posgrado Mitzy, Cecy, Oli, Linda, por las experiencias adquiridas y las vivencias inolvidables, pero sobre todo por su amistad y su apoyo incondicional.

A la señora Esperanza Salinas por su amabilidad y facilidades proporcionadas en los trámites necesarios durante mi estancia en el posgrado.

A Dios y a la vida por darme la oportunidad de concluir con éxito esta etapa.

Gracias.

DATOS BIOGRÁFICOS

Datos personales

Nombre: Karla Elizabeth González García

Fecha de nacimiento: 7 de noviembre de 1991

Lugar de nacimiento: Huatusco de Chicuellar, Veracruz.

CURP: GOGK911107MVZNRR09

Profesión: Nutrióloga

Cédula Profesional: 8619339

Desarrollo académico

Licenciatura: Universidad Veracruzana

RESUMEN GENERAL

COMPARACIÓN DE LAS CARACTERÍSTICAS FÍSICOQUÍMICAS DE LA *Feijoa sellowiana* Berg. EN POSCOSECHA Y PROCESADA

La *Feijoa sellowiana* Berg. es un frutal recientemente introducido en México, y está siendo cultivado en el municipio de Huatusco, Veracruz. En este trabajo los frutos de feijoa fueron estudiados en relación a sus propiedades nutrimentales y nutraceuticas y su procesamiento agroindustrial. Las propiedades nutrimentales fueron evaluadas mediante un análisis proximal por los métodos AOAC. Las propiedades nutraceuticas fueron determinadas por separado en cáscara y en pulpa, midiendo el contenido de vitamina C, los fenoles y flavonoides totales así como la capacidad antioxidante mediante los ensayos FRAP, ABTS y DPPH. Además, se analizó el perfil de ácidos grasos del aceite de las semillas por cromatografía de gases y se determinó la composición química del aceite esencial de la cáscara mediante la técnica de destilación por arrastre de vapor y el análisis en cromatografía de gases con detector de masas. Finalmente, los frutos se procesaron por deshidratación y para la elaboración de mermelada. De acuerdo con los resultados, la cáscara contiene un mayor contenido fenólico total respecto a la pulpa en las cuatro accesiones de feijoa analizadas, y la capacidad antioxidante estuvo acorde con el contenido fenólico. La semilla de feijoa contiene un 69.4% de ácidos grasos insaturados entre los que destacan el linoleico (46.23%) y el linolenico con un (3.69%). Los compuestos mayoritarios en el aceite esencial de la cáscara fueron el benzoato de 2-metilpropano y el óxido de cariofileno con un rendimiento de 18.41 y 10.28%, respectivamente. Durante el proceso de deshidratación los compuestos bioactivos disminuyeron aproximadamente en un 50% con la consecuente pérdida de la capacidad antioxidante. En el procesamiento de la mermelada también hubo pérdida de compuestos bioactivos, sin embargo, tuvo una buena aceptación por el consumidor.

Palabras clave: capacidad antioxidante, contenido fenólico, aceite esencial.

GENERAL ABSTRACT
COMPARISON OF PHYSICOCHEMICAL CHARACTERISTICS OF *Feijoa*
***sellowiana* Berg. IN POSTHARVEST AND PROCESSED**

Feijoa sellowiana Berg. is a fruit recently introduced in Mexico, and is being cultivated in the city of Huatusco, Veracruz. In this study the fruits of feijoa were studied in relation to their nutritional, and nutraceutical properties and agroindustrial process. The nutritional properties were evaluated using a proximal analysis by AOAC methods. Nutraceutical properties were evaluated separately in peel and pulp, measuring the content of vitamin C, total phenols and flavonoids, and antioxidant capacity using the FRAP, ABTS and DPPH assays. Also, the fatty acid profile of the oil of the seeds was analyzed by gas chromatography, the chemical composition of the essential oil of the peel was determined by the steam stripping technique and the analysis was by gas chromatography with mass detection. Finally the fruits were processed by dehydration and for the making of jam. According to the results, the peel contains a higher total phenolic content than the pulp in the four feijoa accessions analyzed, and the antioxidant capacity was identical to the phenolic content. Feijoa seeds contain 69.4% unsaturated fatty acids, among which linoleic acid and linolenic acids (46.23 and 3.69% respectively) stand out. The major compounds in the essential oil of the feijoa peel were benzoate 2-methylpropane and caryophyllene with a yield of 18.41 and 10.28 % respectively. During the dehydration process, the bioactive compounds decrease by approximately 50% with the consequent loss of antioxidant capacity. There was also a loss of bioactive compounds in the processing of the jam; nevertheless, it had good acceptance by the consumer.

Key words: antioxidant capacity, phenolic content, essential oil.

I INTRODUCCIÓN

Un factor que ha influido en el lento desarrollo económico y social en los municipios de Veracruz es la reducida diversificación que presenta la agricultura. A excepción de algunas plantas ornamentales, no hay productos agrícolas que representen verdaderos negocios para los agricultores de esas zonas. La feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) o *Acca sellowiana* Berg.), es un frutal perteneciente a la familia Myrtaceae, también llamada también guayabo del Brasil, pertenece a la familia de las mirtáceas es originaria del sur de Brasil y Uruguay. Actualmente se produce en Estados Unidos, Nueva Zelanda, Israel, Italia, Francia y Colombia.

En los últimos 30 años en Nueva Zelanda y Australia su cultivo ha sido muy popular y los frutos se exportan como fruta fresca o producto industrializado como vinos, jaleas, mermeladas y dulces, entre otros. Presenta un alto potencial de venta en mercados debido a que se le atribuyen propiedades nutrimentales como un alto contenido en vitamina C y yodo soluble el cual se encuentra poco disponible en los alimentos.

La feijoa es un nuevo frutal en las montañas de Veracruz, existen poca información acerca de su cultivo en México, es por eso que resulta conveniente indagar más acerca de sus propiedades nutrimentales y nutracéuticas que impulsen su consumo en fresco en la población mexicana.

Los objetivos de esta investigación fueron: evaluar las propiedades nutrimentales y nutracéuticas de los frutos de *Feijoa sellowiana* Berg.; la obtención y caracterización del aceite esencial de la cáscara; y la elaboración de un producto agroindustrial así como un proceso de deshidratación como métodos de conservación del fruto.

II REVISIÓN DE LITERATURA

2.1 Características de los frutos de *Feijoa sellowiana* Berg.

Las características físicas de los frutos de feijoa presentan una variabilidad muy grande, por ejemplo, su peso varía entre 20 a 250 g, se pueden encontrar en formas ovoidales o rendondas, la cáscara puede ser lisa o rugosa con todos los estadios intermedios, su consistencia es relativamente blanda o dura, por lo que en este caso es parcialmente consumida. El color presenta tonos desde verde grisáceo a verde oliva o intenso, dependiendo del clon o del estado de maduración. La parte comestible propiamente dicha es la pulpa y el contenido de los cuatro lóculos con sus semillas (Ducroquet *et al.*, 2000).

Entre los principales factores de deterioro de la calidad de productos agrícolas se encuentra la respiración y la transpiración, de singular importancia en el manejo de frutas y hortalizas después de cosechadas debido a su efecto sobre las modificaciones químicas de las mismas (Azcon and Talon, 1993).

Entre otros factores que afectan la calidad del fruto, uno de ellos, de gran importancia es la polinización (Thorp and Bielecki, 2002), la cual determina el número de semillas maduras que se desarrollan en el fruto y su tamaño final.

2.2 Importancia como especie frutal

La feijoa ha adquirido un interés como especie frutal rentable, pues la planta puede producir frutos durante 30 años, se adapta bien a climas templados. Por muchos años, la planta de feijoa se utilizó como especie ornamental por su follaje y flores, pero debido a las condiciones organolépticas del fruto, se dedicó al consumo como fruta fresca, deshidratada o enlatada, además de utilizarse en la fabricación de vino, mermelada, pulpa para yogur, aromas, néctares y perfume.

Por otro lado, los frutos de feijoa, además de ser un alimento rico y nutritivo se caracterizan por su contenido en yodo y ácido ascórbico

2.3 Calidad nutrimental y nutracéutica

Los compuestos bioactivos contenidos en los frutos de feijoa, les confieren propiedades medicinales tales como: anticancerígenas, antiinflamatorias, antivirales, antimicrobianas, hepatoprotectoras, antiosteoporosis, antihipertiroideo, antioxidante e inmunomodulatorio (Lim, 2012). De acuerdo con Vuotto *et al.* (2000) los extractos de fruto de feijoa, son una fuente de agentes antimicrobianos, antioxidantes y antiinflamatorios. También son usados para resolver desórdenes cardiovasculares (Kolesnik *et al.*, 1991). Los pétalos de sus flores pueden ser consumidos en ensaladas al mezclarse con lechuga y otras hortalizas, además sirven para alimentar pájaros que sobrevuelan zonas urbanas (Sazima and Sazima, 2007).

2.4 Producción mundial

Debido a las excelentes características organolépticas de sus frutos y a su aceptación ha sido cultivada principalmente desde los años 70, con criterios de especialización e industrialización se introdujo en países como Nueva Zelanda, Italia, Francia, España, Estados Unidos y en la década de los 80, particularmente en Colombia. El principal país exportador de feijoa es Nueva Zelanda (Gerry and Speed, 1986).

En la actualidad existen cultivos comerciales a pequeña escala en Nueva Zelanda, California, Colombia y en las Repúblicas caucásicas de Georgia y Azerbaijón. En Brasil se conocen algunos cultivos comerciales con áreas de una o dos hectáreas. Se puede encontrar también en jardines y quintas del sur de Brasil, Uruguay, Florida y en los países del Mediterráneo, especialmente Italia e Israel (Ducroquet *et al.*, 2000).

2.5 Producción en México

En México, las regiones más recomendadas para el cultivo de feijoa son aquellas que presentan un clima subtropical húmedo y con baja incidencia de heladas precoces. Crece bien en suelos con pH entre 6.0 y 6.5 (Fischer *et al.*, 2003) pero en Turquía se ha adaptado a suelos con pH hasta de 8.66 (Beyhan *et al.*, 2011). En Veracruz crece adecuadamente en municipios como Alpatlahuac, La Perla, Atlahuilco, Xoxocotla, Huatusco, Coscomatepec, Zongolica, Perote y Calchahualco, entre otros, donde además se produce ciruela, manzana y durazno para autoconsumo o venta en mercados locales o regionales.

2.6 Capacidad antioxidante

Un número importante de especies de oxígeno altamente reactivas como el oxígeno singlete $^1\text{O}_2$ y $\text{O}_2^{\cdot-}$, $\text{OH}^{\cdot}$, $\text{NO}^{\cdot}$ y radicales libres alquil-peroxilo se producen regularmente en nuestro organismo. Estos pueden dañar a lípidos, proteínas y ADN e intervenir en procesos de patogénesis y envejecimiento. De forma general, los sistemas de defensa fisiológica frente al daño generado por estos radicales se clasifican en tres categorías: antioxidantes que previenen la formación de radicales libres, antioxidantes captadores de radicales libres los cuales inhiben la iniciación del proceso oxidativo o bien interfieren en el proceso de propagación y los que actúan revirtiendo el proceso de oxidación.

Existen una serie de características las cuales determinan la efectividad de las moléculas como antioxidantes. La primera es la presencia de sustituyentes con capacidad donadora de hidrógeno/electrones, y con apropiados potenciales de reducción (Bors *et al.*, 1990; Jovanovic *et al.*, 1994). Otra es el potencial de quelación de metales de transición, que depende de la naturaleza y disposición de los grupos funcionales en la molécula (Afanasev *et al.*, 1989; Frankel, 1980; Morel *et al.*, 1993; Paganga *et al.*, 1996; Thompson and Williams, 1976) y por último la accesibilidad del antioxidante al lugar de acción, que viene definido por el carácter lipofílico o hidrofílico o coeficiente de reparto (Niki, 1996).

Existen diversos métodos para evaluar la actividad antioxidante, ya sea *in vitro* o *in vivo*. Una de las estrategias más aplicadas en las medidas *in vitro* de la capacidad antioxidante total de un compuesto, mezcla o alimento, consiste en determinar la actividad del antioxidante frente a sustancias cromógenas de naturaleza radical; la pérdida de color ocurre de forma proporcional con la concentración. No obstante, las determinaciones de la capacidad antioxidante realizadas *in vitro* nos dan tan sólo una idea aproximada de lo que ocurre en situaciones complejas *in vivo*.

La capacidad antioxidante de una mezcla no viene dada solo por la suma de las capacidades antioxidantes de cada uno de sus componentes; también depende del microambiente en que se encuentra el compuesto. Los compuestos interactúan entre si pudiendo producirse efectos sinérgicos o inhibitorios. Por otra parte, es necesario considerar que los ensayos *in vivo* pueden presentar algunos inconvenientes, como la adaptabilidad en respuesta al aumento del estrés oxidativo.

Alternativamente, diversos compuestos cromógenos tales como el 2,2-bis-azino ácido, 3-etilbenzoatiazolina-6-sulfónico (ABTS), 2,2-difenil-1-picrilhidrazilo (DPPH), Dimetil-4-fenilendiamina (DMPD), 5,5-Dimetil-1-pirrolina-N-óxido (DMPO), actividad reductora del hierro/actividad antioxidante (FRAP) son utilizados para determinar la capacidad de ciertos compuestos contenidos en diversas especies de plantas, para captar los radicales libres generados, operando así en contra de los efectos perjudiciales de los procesos de oxidación, que implican a especies reactivas de oxígeno (EROS). 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 (mioglobulina) o también electroquímica. Con el ABTS se puede medir la actividad de compuestos de naturaleza hidrofílica y lipofílica, mientras que en el DPPH solo puede disolverse

en medio orgánico. 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.

2.6.1 Capacidad antioxidante en los alimentos

Actualmente existe un creciente interés en los antioxidantes debido a que son componentes bioactivos de un alimento. Los efectos protectores contra enfermedades cardiovasculares y ciertos tipos de cáncer han sido atribuidos en parte a los antioxidantes contenidos provenientes de una dieta rica en frutas y verduras, en particular aquellos alimentos ricos en vitamina C y los carotenoides.

De acuerdo con Hertog *et al.*, 1995 destacó el papel potencial de los compuestos fenólicos en frutas, verduras, bebidas, cereales, así como el de los flavonoides, fenilpropanoides y compuestos fenólicos, los cuales actúan como antioxidantes o como agentes de otros mecanismos anticancerígenos y cardioprotectores. La ingestión dietética de flavonoides junto con otros antioxidantes naturales de eficacia comprobada, como las vitaminas C y E y carotenoides coadyuvan en ciertos procesos de defensa.

2.6.2 Compuestos que proporcionan capacidad antioxidante

Existen diversos compuestos que proporcionan protección contra los radicales libres, entre ellos se encuentran los compuestos fenólicos, que constituyen un amplio grupo de sustancias químicas, considerados metabolitos secundarios de las plantas. Tienen diferentes estructuras químicas y actividad y engloban más de 8.000 compuestos distintos. Su forma más frecuente es la de polímeros o lignina insoluble, mientras que su presencia en los tejidos animales está relacionada con el consumo e ingestión de alimentos vegetales (Buttler ,1992).

La distribución de los compuestos fenólicos en los tejidos y células vegetales varía considerablemente de acuerdo al tipo de compuesto químico que se trate, situándose en el interior de las células o en la pared celular. Sus principales funciones en las células vegetales son las de actuar como metabolitos esenciales para el crecimiento y reproducción de las plantas, y como agentes protectores

frente a la acción de patógenos, siendo secretados como mecanismo de defensa. (Andary and Mondolot, 1997).

Los compuestos fenólicos están relacionados con la calidad sensorial de los alimentos de origen vegetal., tanto frescos como procesados. Su contribución a la pigmentación de los alimentos vegetales está claramente reconocida, a través de las antocianidinas, responsables de los colores rojo, azul, violeta, naranja y púrpura de la mayoría de las plantas y de sus productos (Berlitz and Grosh, 1988). Además, la reacción de oxidación de los compuestos fenólicos hacia la formación de quinonas, catalizada por las enzimas polifenol oxidasas, produce un pardeamiento enzimático en los alimentos, fenómeno de vital importancia para asegurar la calidad de frutas y verduras durante el procesado. Igualmente, los compuestos fenólicos, y en concreto los taninos condensados o proantocianidinas se asocian con la astringencia que presentan muchas de las frutas comestibles antes de la maduración.

El comportamiento antioxidante de los compuestos fenólicos parece estar relacionado con su capacidad para quelar metales, inhibir la lipoxigenasa y captar radicales libres, aunque en ocasiones también pueden promover reacciones de oxidación "*in vitro*". Los compuestos fenólicos actúan como prooxidantes quelando metales, bien de manera que mantienen o incrementan su actividad catalítica o bien reduciendo metales, incrementando así su capacidad para formar radicales libres de los peróxidos (Decker E, 1997).

Para que un compuesto fenólico sea clasificado como antioxidante debe cumplir dos condiciones básicas. La primera es que cuando se encuentre en una concentración baja con relación al sustrato que va a ser oxidado pueda retrasar, o prevenir la autooxidación o la oxidación mediada por un radical libre. La segunda es que el radical formado tras el secuestro sea estable y no pueda actuar en oxidaciones posteriores. Entre los compuestos fenólicos con una reconocida actividad antioxidante destacan los flavonoides, los ácidos fenólicos (principalmente hidroxicinámico, hidroxibenzóico, caféico, clorogénico), taninos

(elligataninos), calconas y cumarinas, los cuales constituyen la fracción polifenólica de una gran diversidad de alimentos.

Otros compuestos que son de gran interés debido a su capacidad antioxidante son los flavonoides los cuales pertenecen a la familia de los fenoles, los flavonoides constituyen una amplia familia de compuestos que a su vez incluye varios grupos entre los que se encuentran: antocianinas, flavanos, flavonoles, flavonas, flavononas calconas e isoflavonoides. Estructuralmente los flavonoides se caracterizan por poseer un esqueleto C6-C3-C6.

Los flavonoides se caracterizan por poseer una elevada reactividad que se expresa en su afinidad por unirse a proteínas, a otras macromoléculas biológicas (hormonas, ácidos nucleicos) y a iones divalentes de metales, así como por su capacidad para catalizar el transporte de electrones y captar radicales libres. Estas propiedades pueden dar lugar a efectos fisiológicos muy diversos, muchos de los cuales sólo han podido ser puestos de manifiesto en ensayos *in vitro*: inhibición de enzimas, actividad antioxidante, efectos antiinflamatorios, acción antibacteriana y antiviral, secuestro de metales, actividad vascular, etc (Chung *et al.*, 1998; Harborne & Williams, 2000).

Todos estos posibles efectos hacen de los flavonoides un grupo de sustancias con un importante potencial terapéutico, y d ya a formar parte de numerosas formulaciones farmacéuticas comercializadas. Por las mismas razones, ha aumentado su interés como componentes de los alimentos y justifica su inclusión dentro del término genérico de fitoquímicos y su papel dentro de alimentos funcionales (Hertog *et al.*, 1995).

Las frutas tienen propiedades antioxidantes, debido a la presencia de diversos compuestos como vitaminas C y E, β -, caroteno y flavonoides, principalmente. Estos compuestos aislados tienen también actividad *in vivo*, pero es difícil evaluar su contribución porque no se consumen aislados sino combinados (las frutas tienen propiedades antioxidantes, debido a la presencia de diversos compuestos como vitaminas C y E, β -, caroteno y flavonoides, principalmente. Estos

compuestos aislados tienen también actividad *in vivo*, pero es difícil evaluar su contribución porque no se consumen aislados sino combinados (Plumb *et al.*, 1996).

2.6.3 Capacidad antioxidante en *Feijoa sellowiana* Berg

La feijoa es rica en polifenoles, tales como la catequina, leucoantocianinas, flavonoles, proantocianidinas y naphtoquinonas. Las hojas de feijoa también contienen (+) catechin, (-)-epicatechin, (+)- gallocatechin and (-)-epigallocatechin. (Vanidze *et al.*, 1991). Además, existe presencia de taninos en los frutos y en hojas de feijoa.

Los frutos de feijoa son ricos en vitamina C, al igual que en provitamina A como los carotenos (Homnava, 1990). La cáscara de feijoa contiene posee excelentes propiedades ya que contiene una mayor cantidad de vitamina C y polifenoles activos los cuales le confieren una alta capacidad antioxidante.

2.7 Aceites esenciales

Son sustancias volátiles de naturaleza orgánica, responsables del aroma de las plantas; el término aceite no se relaciona con las grasas, se llaman así porque son insolubles en agua y solubles en disolventes orgánicos. Aunque son mezclas de sustancias orgánicas no todos contribuyen al aroma. Generalmente son obtenidos directamente por destilación del material vegetal, en el proceso sus características terapéuticas no cambian, sino se concentran. Su composición química es bastante compleja y en un tipo de aceite esencial por su fuente natural, pueden reunirse cientos de sustancias activas distintas (Martínez, 2003).

En la naturaleza, los aceites esenciales desempeñan un papel importante en la protección de las plantas como agentes antibacterianos, antivirales, antifúngicos, insecticidas y actúan contra los herbívoros, reduciendo su apetito por estas plantas. También pueden atraer algunos insectos para favorecer la dispersión de polen y semillas (Bakkali *et al.*, 2008). Los aceites esenciales o algunos de sus componentes se utilizan en la producción de perfumes y productos de maquillaje, de productos sanitarios, en odontología, en la agricultura, como conservantes y

aditivos de alimentos, y como remedios naturales. Por ejemplo, *d*-limoneno, acetato de geranilo o la *d*-carvona se emplean como ingredientes en la preparación de perfumes, cremas, jabones, como aditivos de sabor de los alimentos, como fragancias para los productos de limpieza del hogar, como disolventes industriales y cada vez con mayor frecuencia en aromaterapia. Algunos aceites esenciales parecen mostrar propiedades medicinales muy particulares para curar la disfunción de órganos o trastornos sistémicos (Bakkali *et al.*, 2008).

Los aceites esenciales para uso interno pueden extraerse por destilación o por prensado de los tejidos frescos. Las esencias obtenidas de plantas son líquidos volátiles, refrigerantes, ópticamente activos, próximos a los aceites, con olor esencialmente característico, y que se forman como subproducto del metabolismo secundario de las plantas (Hernández, 2005).

De acuerdo con Cadby *et al.* (2002) los aceites esenciales son compuestos volátiles, naturales y complejos, caracterizados por un olor fuerte y biosintetizados en las plantas aromáticas, principalmente, como metabolitos secundarios, producidos al momento de activarse algunos mecanismos de defensa como respuesta a factores ambientales y ecológicos, estos presentan roles de defensa, atracción de polinizadores, entre otros.

2.7.1 Clasificación de aceites esenciales

De acuerdo a su consistencia los aceites esenciales se pueden clasificar como esencias fluidas ya que son líquidos volátiles a temperatura ambiente, también pueden ser bálsamos de consistencia más espesa, son poco volátiles y propensos a sufrir reacciones de polimerización y por último oleorresinas ya que tienen el aroma de las plantas en forma concentrada y son típicamente líquidos muy viscosos o sustancias semisólidas.

En cuanto a su origen se pueden clasificar como naturales, aquellos que se obtienen directamente de la planta y no sufren modificaciones físicas ni químicas posteriores, debido a su rendimiento tan bajo son muy costosos y artificiales ya

que se obtienen a través de procesos de enriquecimiento de las mismas esencias con uno o varios de sus componentes (Martínez, 2003).

2.7.2 Composición química del aceite esencial de *Feijoa sellowiana* Berg.

Algunos de los compuestos volátiles de la feijoa son los benzoatos de metilo (X) y etilo (Y) los cuales representan aproximadamente el 90 % de la fracción volátil y son responsables del aroma de la fruta (Binder R & Flath R, 1989).

2.8 Procesamiento de alimentos

El procesamiento de alimentos incluye todas aquellas acciones que cambian o convierten la materia vegetal o animal cruda en un producto seguro y comestible. En la manufactura de alimentos a gran escala, el procesamiento implica la aplicación de principios tecnológicos y científicos para atrasar o frenar los procesos naturales de degradación. De igual forma permite cambiar la calidad de los alimentos de forma que el proceso pueda llevarse a cabo de manera predecible y controlada.

El procesamiento de los alimentos puede mejorar o dañar el valor nutricional de los mismos, a veces ambas cosas al mismo tiempo, y también puede contribuir a conservar los nutrientes que, de otro modo, se perderían durante su almacenamiento.

2.8.1 Diferentes métodos de procesamiento

Los sistemas de conservación de los alimentos son aquellos que evitan que las alteraciones antes mencionadas puedan llegar a producirse. Un ejemplo de ello es la aplicación de calor, éste se basa en la desnaturalización de proteínas, lo que produce una desactivación de las enzimas y, por lo tanto, la desaparición de los efectos de sus actividades, incluida la paralización y eliminación de los microorganismos. Se puede considerar como uno de los primeros sistemas de conservación de alimentos.

Los métodos químicos se basan en el aprovechamiento de las propiedades conservadoras de sustancias químicas las cuales han dado lugar a numerosos

métodos de conservación, uno de ellos es la adición de azúcar el cual también es uno de los métodos más antiguos utilizado para el aprovechamiento de los frutos.

2.8.2 Deshidratación

La deshidratación es el proceso en el cual se remueve casi la totalidad del agua de un producto, dando como resultado un producto sólido con un contenido de humedad significativamente bajo.

En la actualidad, la deshidratación es uno de los métodos de conservación de alimentos más ampliamente utilizados para la manufactura de productos, ya sean intermedios o finales, siendo un rubro de mucha importancia económica dentro de los alimentos procesados en todos los países del mundo. La demanda de productos deshidratados se ha incrementado de manera notable en los últimos años y puede pronosticarse que a futuro continuará esta tendencia, tanto para uso industrial, institucional o directamente para el consumidor, como resultado de la disponibilidad, así como la facilidad y reducción de costos en la preparación de alimentos cuando se utilizan productos deshidratados (Aguilera, 2003).

Es importante tener en cuenta que el proceso de deshidratación de un alimento no sólo afecta el contenido de agua de un producto, sino que también sus características físicas y químicas, tomando en cuenta que los alimentos son sistemas biológicos muy complejos, tanto en composición química, por la gran cantidad de componentes presentes, como en su estructura, por tratarse de tejidos celulares compartimentalizados. Durante la deshidratación puede haber una pérdida de algunos nutrientes y deterioro de la calidad sensorial del alimento, por lo que debe buscarse que el producto deshidratado conserve lo más posible sus propiedades originales.

2.8.3 Conservación mediante la adición de azúcar

La adición de azúcar se usa fundamentalmente en la elaboración de mermeladas, jaleas y dulces. Esto involucra hervir la fruta, adicionar el azúcar en cantidades variables dependiendo de la fruta y el producto a preparar, y continuar hirviendo

hasta que alcance el nivel de sólidos solubles que permita su conservación. La adición de azúcar más ciertas sustancias de las frutas producen la consistencia de gel que conforma la textura de las mermeladas y jaleas. Para lograr esto es necesario que exista un nivel de acidez y un porcentaje de azúcar adecuados. Algunas frutas no tienen la sustancia llamada pectina en cantidad suficiente para formar un gel adecuado, en cuyo caso es necesario agregarles una pectina exógena. Existe diferencia entre las manzanas o cítricos y las berries, como la frambuesa o la frutilla. En los primeros hay un alto nivel de pectina, no así en los segundos. Durante el proceso de hervir la fruta con el azúcar, la sacarosa -que es el azúcar agregado- se desdobra en sus componentes, fructosa y glucosa, lo que permite dos importantes efectos en el producto, mayor solubilidad que evita la cristalización y, por otra parte, un mayor dulzor. Este proceso se denomina inversión de la sacarosa. Las mermeladas y los otros productos nombrados se conservan debido a un principio denominado actividad de agua. La actividad de agua es la disponibilidad de agua libre para reaccionar y permitir el desarrollo de los microorganismos. Mientras menor sea la actividad de agua, menor la incidencia de reacciones deteriorantes y microorganismos. El nivel de agua en las mermeladas permite el desarrollo de mohos. De esta manera, si se desea conservar el producto se debe contar con el uso de vacío en su envasado, mediante el llenado en caliente o, el uso de sustancias químicas fungistáticas, como benzoato de sodio y sorbato de potasio, que impiden el desarrollo fungoso. De ser posible, siempre es mejor la primera alternativa, aunque requiere de envases de vidrio que son más caros.

2.9 REFERENCIAS

Afanas' ev, I. B., Dcrozko, A. I., Brodskii, A. V., Kostyuk, V. A., & Potapovitch, A. I. (1989). Chelating & free radical scavenging mechanisms of inhibitory action of rutin and quercetin in lipid peroxidation. *Biochemical pharmacology*, 38(11), 1763-1769.

Aguilera, J. M. (2003). Drying and dried products under the microscope. *Food Science and Technology International*, 9(3), 137-143.

Andary, C., & Mondolot-Cosson, L. (1997). Histolocalization of plant polyphenols in tissues and cell walls. Some applications. In *Polyphenols in foods. Proceedings of a European COST concerted action scientific workshop, Aberdeen, Scotland* (pp. 41-44).

Azcón, B. J., & Talon, M. (1993). Fisiología y bioquímica vegetal. ed.

Bakkali, F., Averbeck, S., Averbeck, D., & Idaomar, M. (2008). Biological effects of essential oils—a review. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 446-475.

Belitz y Grosch. Química de los alimentos. Ed. Acribia España: Zaragoza., 1988.

Beyhan, O., Bozkurt, M. A., & Boysal, S. C. (2011). Determination of macro-micro nutrient contents in dried fruit and leaves and some pomological characteristics of selected feijoa Genotypes (Feijoa sellowiana Berg.) from Sakarya provinces in Turkey. *The Journal of Animal & Plant Sciences*, 21(2).

Binder, R. G., & Flath, R. A. (1989). Volatile components of pineapple guava. *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 37(3), 734-736.

Bors, W., Heller, W., Michel, C., & Saran, M. (1990). [36] Flavonoids as antioxidants: Determination of radical-scavenging efficiencies. *Methods in enzymology*, 186, 343-355.

Butler, L. G. (1992). Protein-polyphenol interactions: nutritional aspects [proanthocyanidin, tannin]. *Bulletin de Liaison Groupe Polyphenols (France)*.

Cadby, P. A., Troy, W. R., & Vey, M. G. (2002). Consumer exposure to fragrance ingredients: providing estimates for safety evaluation. *Regulatory Toxicology and Pharmacology*, 36(3), 246-252.

Chung, K. T., Wong, T. Y., Wei, C. I., Huang, Y. W., & Lin, Y. (1998). Tannins and human health: a review. *Critical reviews in food science and nutrition*, 38(6), 421-464.

Decker, E. A. (1997). Phenolics: prooxidants or antioxidants?. *Nutrition reviews*, 55(11), 396-398.

Ducroquet, J. H. (2000). *Goiabeira-Serrana (Feijoa sellowiana)*. Funep.

Fischer, G., Miranda, D., Cayón, G., & Mazorra, M. (2003). Cultivo, poscosecha y exportación de la feijoa (Acacia sellowiana Berg). *Produmedios, Bogotá*.

Frankel, E. N. (1993). In search of better methods to evaluate natural antioxidants and oxidative stability in food lipids. *Trends in Food Science & Technology*, 4(7), 220-225.

Gerry, W., & Speed, M. (1986). New Zealand Fruiting Plant Export (FRUPLEX). *Auckland, New Zealand*.

Harborne, J. B., & Williams, C. A. (2000). Advances in flavonoid research since 1992. *Phytochemistry*, 55(6), 481-504.

Hernández G., J. 2005. Estado actual del conocimiento del orégano mexicano (*Lippia graveolens* H.B.K.). Tesis inédita de licenciatura. Universidad Autónoma Chapingo, Texcoco, México.

Hertog, M. G., Kromhout, D., Aravanis, C., Blackburn, H., Buzina, R., Fidanza, F., & Pekkarinen, M. (1995). Flavonoid intake and long-term risk of coronary heart disease and cancer in the seven countries study. *Archives of internal medicine*, 155(4), 381-386.

Homnava, A., Rogers, W., & Eitenmiller, R. R. (1990). Provitamin A activity of specialty fruit marketed in the United States. *Journal of food composition and analysis*, 3(2), 119-133.

Jovanovic, S. V., Steenken, S., Tosic, M., Marjanovic, B., & Simic, M. G. (1994). Flavonoids as antioxidants. *Journal of the American Chemical Society*, 116(11), 4846-4851.

Kolesnik, A. A., Golubev, V. N., & Gadzhieva, A. A. (1991). Lipids of the fruit of Feijoa sellowiana. *Chemistry of Natural Compounds*, 27(4), 404-407.

Lim, T. K. 2012. Edible medicinal and non-medicinal plants. Volume 3. Fruits. Springer Science Business Media. 898 p.

MARTINEZ, A., Ospina, F., VALENCIA, G., & JIMENEZ, N. (2003). Manual de Practicas de Laboratorio de Farmacognosia y Fitoquímica 2003. *Universidad de Antioquia. Facultad de Química Farmacéutica. Departamento de Farmacia. Medellín. Colombia*.

MOREL, Isabelle, et al. Antioxidant and iron-chelating activities of the flavonoids catechin, quercetin and diosmetin on iron-loaded rat hepatocyte cultures. *Biochemical pharmacology*, 1993, vol. 45, no 1, p. 13-19.

Niki, E. (1996). α -Tocopherol. *Handbook of antioxidants*, 3-25.

Paganga, G., Al-Hashim, H., Khodr, H., Scott, B. C., Aruoma, O. I., Hider, R. C., ... & Rice-Evans, C. A. (1996). Mechanisms of antioxidant activities of quercetin and catechin. *Redox Report (United Kingdom)*.

PLUMB, G. W., CHAMBERS, S. J., LAMBERT, N., BARTOLOMÉ, B., HEANEY, R. K., WANIGATUNGA, S., ... & WILLIAMSON, G. (1996). Antioxidant actions of fruit, herb and spice extracts. *Journal of Food Lipids*, 3(3), 171-188.

Sazima, I., & Sazima, M. (2007). Petiscos florais: pétalas de *Acacia sellowiana* (Myrtaceae) como fonte alimentar para aves em área urbana no Sul do Brasil. *Biota Neotropica*.

Thompson, M., Williams, C. R., & Elliot, G. E. P. (1976). Stability of flavonoid complexes of copper (II) and flavonoid antioxidant activity. *Analytica Chimica Acta*, 85(2), 375-381.

Thorp, G., & Bieleski, R. (2002). Feijoas: origins, cultivars and uses. *David Bateman Ltd., Auckland, New Zealand*.

Vuotto, M. L., Basile, A., Moscatiello, V., De Sole, P., Castaldo-Cobianchi, R., Laghi, E., & Ielpo, M. T. L. (2000). Antimicrobial and antioxidant activities of Feijoa *sellowiana* fruit. *International Journal of Antimicrobial Agents*, 13(3), 197-2.

III PROPIEDADES NUTRICIONALES Y NUTRACÉUTICAS DE *Feijoa sellowiana* Berg

NUTRITIONAL AND NUTRACEUTICAL PROPERTIES OF *Feijoa sellowiana* Berg

RESUMEN

La feijoa, fruta originaria de Sudamérica, es una baya con forma ovoidal de sabor muy agradable. Esta especie frutícola es muy apreciada por su alto contenido de compuestos bioactivos como, polifenoles, flavonoides y vitamina C. En México, las características nutraceuticas de *F. sellowiana* han propiciado el interés por su cultivo. El objetivo de este trabajo fue estudiar cuatro accesiones de frutos de feijoa, cultivadas en una huerta experimental localizada en Elotepec, Municipio de Huatusco, Veracruz. Las accesiones A1, A2, A3 y A4 fueron caracterizadas físicamente, las propiedades nutricionales y nutraceuticas se determinaron en cáscara y pulpa, y en las semillas se determinó el perfil de ácidos grasos. Para evaluar las propiedades nutricionales se hizo un análisis proximal, mientras que las propiedades nutraceuticas, fueron evaluadas cuantificando el contenido de vitamina C, fenoles y flavonoides totales y capacidad antioxidante. El contenido fenólico total (CFT) se cuantificó por el método Folin-Ciocalteu usando como estándar ácido gálico, mientras que los flavonoides se determinaron con base en catequina. La capacidad antioxidante fue estimada por los ensayos ABTS, DPPH y FRAP, usando Trolox como antioxidante de referencia. El peso de los frutos osciló entre 29.47 ± 10.84 y 50.25 ± 13.34 g. El contenido de vitamina C osciló entre 0.42 ± 0.01 y 0.91 ± 0.00 (mg g_{bs}^{-1}) en cáscara, en pulpa fue de 0.26 ± 0.01 y 0.46 ± 0.01 (mg g_{bs}^{-1}), la A1 fue la que presentó los valores más altos. Entre las accesiones el CFT en la cáscara (19.22 ± 1.87 a 49.57 ± 1.25 mg EAG g_{bs}^{-1}) fue mayor en aproximadamente 60 % que en la pulpa siendo la A1 la que obtuvo el mayor CFT. La capacidad antioxidante de la cáscara, analizada por tres métodos diferentes FRAP, DPPH y ABTS fue mayor que la de la pulpa.

Palabras clave: Mirtaceace, flavonoides, capacidad antioxidante, vitamina C.

ABSTRACT

The feijoa, native fruit of South America, is a berry ovoid shape with very pleasant taste. This fruit species is highly prized for its high content of bioactive compounds such as polyphenols, flavonoids and vitamin C. In Mexico, the nutraceutical characteristics of *F. sellowiana* have promoted interest in its cultivation. The aim of this work was to study four accessions of pineapple guava fruit, grown in an experimental orchard located in Elotepec, municipality of Huatusco, Veracruz. The A1, A2, A3 and A4 accessions were physically characterized, nutritional and nutraceutical properties were determined in peel and pulp, and seeds the fatty acid profile was determined. To evaluate the nutritional properties became a proximate analysis, while nutraceutical properties were evaluated by quantitating the vitamin C content, total flavonoids and phenolics and antioxidant capacity. The total phenolic content (CFT) was quantified by the Folin-Ciocalteu method using gallic acid as standard, while flavonoids were determined based on catechin. The antioxidant capacity was estimated by the ABTS, DPPH and FRAP assays, using Trolox as reference antioxidant. The fruit weight ranged from 29.47 ± 10.84 and 50.25 ± 13.34 g. The vitamin C content ranged from 0.42 ± 0.01 and 0.91 ± 0.00 (mg/g_{bs}⁻¹). In shell, pulp was 0.26 ± 0.01 and 0.46 ± 0.01 (mg/g_{bs}⁻¹) the A1 it was the one that presented the highest values. Among the accessions CFT in the shell (19.22 ± 1.87 to 49.57 ± 1.25 (mg EAG g_{bs}⁻¹)) was higher at about 60% in the pulp being the A1 which won the largest CFT. The antioxidant capacity of the shell, analyzed by three different methods FRAP, DPPH and ABTS was higher than that of the pulp.

Key words: Mirtaceae, flavonoids, antioxidant capacity, vitamin C.

3.1 INTRODUCCIÓN

La feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret; Mirtaceae) es originaria de Sur América en las áreas del sur de Brasil, Uruguay, y el Noreste de Argentina (Parra-Coronado and Fischer, 2013). Es una especie perenne y de larga vida adaptada a diferentes zonas climáticas (Fischer, 2003). En condiciones estacionales como en los subtrópicos se producen cosechas anuales, mientras que, en las zonas tropicales, se pueden producir frutos durante todo el año (Quintero, 2012). El valor nutricional que contiene el fruto es uno de los principales factores por los cuales ha ido incrementando su consumo en los últimos años se puede consumir en fresco, así como en alimentos procesados como jugos o helado. Los frutos son ricos en carbohidratos, fibra, minerales y vitamina C es por eso que su valor como especie frutal ha extendido su producción a nivel internacional.

Dentro de otros componentes principales se encuentran los compuestos fenólicos y azufrados entre otros, los cuales le confieren al fruto una comprobada actividad antioxidante que contribuye a mantener el equilibrio entre la producción y la eliminación de especies reactivas de oxígeno, reduciendo a su vez las lesiones ocasionadas a las células del cuerpo (Maia, 2007). Dentro de otros compuestos de interés nutricional, los polifenoles, productos secundarios del metabolismo vegetal, constituyen un amplio y complejo grupo de fitoquímicos con más de 8000 estructuras conocidas (Bravo, 1998). La capacidad antioxidante de los polifenoles se debe, principalmente, a sus propiedades reductoras, atribuyéndoseles a su vez un efecto beneficioso en la prevención de enfermedades cardiovasculares, circulatorias, cancerígenas y neurológicas (Rice-Evans *et al.*, 1997; Ishige *et al.*, 2001; Katsube *et al.*, 2003).

El objetivo de este trabajo fue determinar las propiedades nutricionales del fruto de feijoa mediante parámetros físicos y químicos, así como sus propiedades nutraceuticas es decir el beneficio a la salud mediante pruebas que analizaran su actividad antioxidante y su contenido de fenoles y flavonoides totales con el fin de promover su consumo en fresco o procesado en México.

3.2 MATERIALES Y MÉTODOS

3.2.1 Material vegetal

Los frutos de feijoa fueron colectados al azar, en agosto del 2015, en estado de madurez fisiológica de una huerta experimental localizada en la congregación de Elotepec, perteneciente al municipio de Huatusco, Veracruz a 2000 m de altitud. Los frutos seleccionados aleatoriamente de cuatro árboles diferentes, cuya propagación se hizo por semilla, tienen una distancia de plantación entre cada árbol de 4 x 4 m y se encontraban en condiciones óptimas de producción. De cada uno de los cuatro árboles se obtuvieron aproximadamente 10 kg de frutos.

3.2.2 Caracterización física de frutos

Para la evaluación física fueron seleccionados al azar 30 frutos de cada colecta. La pulpa y cáscara fueron pesadas en una balanza digital (OHAUS CS 2000) y para determinar la longitud y diámetro se utilizó un vernier electrónico (Mitutoyo modelo CD-6"CSX).

3.2.3 Análisis proximal

Se eligieron 10 frutos al azar, de cada árbol, para llevar a cabo un análisis proximal basado en el sistema Wendee ideado por Henneberg and Stohmann (1867). Los parámetros determinados fueron porcentaje de humedad total, materia seca total, cenizas, proteína cruda, extracto etéreo, fibra cruda y extracto libre de nitrógeno.

Para la determinación de humedad total y materia seca total, la muestra fue sometida a un proceso térmico, con una temperatura aproximada de 105 °C hasta que el peso de la muestra fuera constante. En cuanto a la determinación de cenizas la muestra fue sometida a combustión a 550 °C, por lo tanto, la materia orgánica se oxidó y el residuo que contenía la materia mineral se tomó como cenizas.

Los análisis se hicieron por triplicado y fueron expresados en porcentajes en base seca por fruto de feijoa. Todos los datos fueron analizados en el paquete estadístico IBM SPSS Statistics versión 19, las medias fueron expresadas mediante el estadístico HSD de Tukey con una diferencia mínima significativa de $p \leq 0.05$.

3.2.4 Evaluación de la capacidad antioxidante

Preparación de extractos

La obtención de los extractos se llevó a cabo de acuerdo con la metodología de Wang *et al.* (2010). Se pesaron aproximadamente 0.500 g de fruto liofilizado y deshidratado de pulpa y cáscara. Los frutos (pulpa y cáscara) previamente

molidos se colocaron en tubos falcon, posteriormente se les añadió 10 mL de una disolución metanol/agua (50:50, v/v), se llevaron a agitación por 3 min y se ajustó su pH a 3 ± 0.05 con disoluciones de HCL 5 %, la mezcla se agitó en un (Vortex synphony, WVE International) (3000 rpm, 3 min), se sonicó por 15 min en un sonicador (Ultrasonic Cleaner 8890, Cole PARmer), se agitaron durante (30 min) a 27 °C, finalmente se centrifugaron (2500 rpm, 15 min) (SOLBAT J-600, México). Se retiró el sobrenadante y se aforó a 10 mL con la disolución metanol/agua (4:1, v/v). A partir de esta solución se cuantificaron los fenoles totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante. Las muestras fueron analizadas por triplicado.

Determinación de fenoles totales

Los fenoles totales se cuantificaron por el método de Folin-Ciocalteu (Singleton & Rossi, 1965) adaptado a microplacas. En una microplaca de 96 pozos se mezclaron, en cada pozo, 25 μ L del extracto polar de cáscara o pulpa de feijoa, 125 μ L de agua destilada, 20 μ L del reactivo de Folin-Ciocalteu (diluido 1:10 v/v, con agua destilada) y al final se adicionó Na_2CO_3 al 20 % (30 μ L). El agua y el reactivo de Folin-Ciocalteu se adicionarán automáticamente haciendo uso del sistema de inyección automática del equipo de microplacas. Después, la microplaca, con las mezclas de reacción, se dejó en la obscuridad durante 30 minutos y después se leyeron las absorbancias a 760 nm. Las mediciones se hicieron por cuadruplicado. Los resultados del contenido de fenoles totales fueron expresados en miligramos de fenoles equivalentes a ácido gálico por gramo de muestra en base seca ($\text{mg EAG g}_{\text{bs}}^{-1}$). La curva de calibración de ácido gálico se preparó en un rango de concentración de 1.5 a 14 $\mu\text{g/mL}$. La ecuación obtenida mediante la curva tipo se utilizó para determinar el contenido de fenoles totales en la muestra.

Determinación de flavonoides

Los flavonoides totales se determinaron de acuerdo con el procedimiento de Kubola and Siriamornpun (2011) adaptado a microplacas. En tubos falcón cubiertos de aluminio se colocaron 0.5 mL del extracto de pulpa y cáscara de

feijoa, con 2.5 mL de agua destilada y 0.15 mL de solución de NaNO_2 al 5 %, se dejaron reposar durante 5 min, después se añadieron 0.3 mL de $\text{AlCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ al 10 % y se dejaron reposar otros 5 min, posteriormente se adicionaron 1 mL de NaOH al 5 %, la mezcla se agitó en vórtex (3000 rpm, 3 min). En la microplaca se colocaron 200 μL de cada muestra y se leyeron las absorbancias a 510 nm en el lector de microplacas. Las mediciones se realizaron por cuadruplicado, los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra en base seca ($\text{mg EC g}_{\text{bs}}^{-1}$). La curva de calibración de la catequina se realizó en un rango de concentración de 5.8 a 290 $\mu\text{g/mL}$. La ecuación obtenida por la curva tipo se ocupó para determinar la concentración de flavonoides totales en la muestra utilizada. mg EC g .

Ensayo FRAP

El ensayo de FRAP se llevó a cabo de acuerdo con el procedimiento descrito por Benzie and Strain (1996) adaptado a microplacas. Primero se prepararon las siguientes disoluciones: Buffer de acetato $\text{pH}=3.6$, TPTZ (2,4,6 Tripiridil-s triazina, $\text{PM}=312.33$) 10 mM en HCl 40 mM, y disolución $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ 20 mM. Para la preparación de la disolución FRAP se mezclaron 10 mL de buffer de acetato (0.3 mM), 1 mL de solución TPTZ (10 mM) y 1 mL de solución $\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$ (20 mM), esta disolución se preparó y se usó al momento. En una microplaca de 96 pozos se colocaron, en cada pozo, 20 μL del extracto polar de la cáscara o pulpa de feijoa, 180 μL de la disolución FRAP y 60 μL de agua destilada, después se agitó durante 30 segundos y se tomaron las lecturas a 600 nm. Como blanco, se utilizaron 260 μL de la disolución FRAP. Los resultados se expresaron en micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base seca ($\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$). La curva de calibración de trolox se preparó en un rango de concentraciones de 3.8 a 46.0 μM . El poder reductor de los extractos de feijoa se estimó a partir de la ecuación obtenida de la curva tipo.

Ensayo DPPH

El ensayo DPPH se llevó a cabo de acuerdo al método descrito por Cheng *et al.* (2006) adaptado a microplacas. Se preparó una disolución 1 mM DPPH en metanol al 80 %, para la curva de calibración se utilizó una disolución 4.5 mM de Trolox usando como disolvente metanol al 80 % obteniendo una concentración de un rango de 7.37 y 34.51 μM . Una vez que se encontró la dilución óptima se tomaron alícuotas de 1 mL con un intervalo de concentraciones de 0.99 a 34.05 mg mL^{-1} con metanol al 80 %, esto con el fin de que en esas concentraciones se obtenga una degradación del DPPH en un 50 %. En una microplaca de 96 pozos se colocaron 200 μL de las diferentes concentraciones de trolox y por otra parte las diferentes concentraciones del extracto de cáscara o pulpa de feijoa, se usaron los inyectores automáticos del equipo los cuales adicionaron 50 μL de la disolución DPPH. Se cubrió la microplaca con aluminio y se dejó reposar durante 30 min, como control se ocuparon 200 μL de metanol al 80 % y 50 μL de la disolución DPPH. Para poder estimar el porcentaje de DPPH degradado se aplicó la siguiente Ecuación¹ la cual se expresó como micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base seca ($\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$).

$$\% \text{ DPPH}^{\cdot} \text{ degradado} = \left(1 - \frac{A_{\text{muestra}} - A_{\text{blanco}}}{A_{\text{control}} - A_{\text{blanco}}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Donde A_{muestra} , A_{blanco} y A_{control} representan las absorbancias del antioxidante de referencia o de las muestras, blanco y el control. Las determinaciones fueron llevadas a cabo por cuadruplicado. El porcentaje de reducción del $\text{DPPH}^{\cdot}$ fue graficado contra las concentraciones de las muestras y la concentración inhibitoria 50 (CI_{50}) fue calculada de la ecuación de regresión obtenida. Todas las determinaciones se realizaron por cuadruplicado.

Ensayo ABTS

El ensayo de ABTS se llevó a cabo de acuerdo al método descrito por (RE *et al.*, 1999) adaptado a microplacas. Se prepararon las disoluciones de ABTS 7.4 mM y una disolución de persulfato de sodio 2.6 mM de las cuales se mezclaron volúmenes iguales (10 mL cada una) y se dejaron incubar a temperatura

ambiente durante 16 horas en la oscuridad. Una vez transcurrido este tiempo se tomaron 600 μL de la mezcla y se aforó a 10 mL con metanol puro. En la microplaca de 96 pozos se colocaron 20 μL de cada una de las concentraciones de trolox y 20 μL del extracto del fruto de feijoa. Con los inyectoros automáticos del equipo, se adicionaron 180 μL de la disolución ABTS. Como blanco se utilizaron 200 μL de la disolución ABTS. La disminución de la absorbancia fue registrada a 734 nm por espacio de 10 minutos. La curva de calibración de trolox se preparó en un rango de concentraciones de 4.99 a 59.93 μM . Los resultados se expresaron en micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base seca ($\mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$).

3.2.5. Determinación de vitamina C

El contenido de vitamina C fue determinado por el método indofenol de acuerdo con la AOAC, 967.21. Primero se preparó una disolución extractora para lo cual se pesó ácido metafosfórico (7.50 g) y se transfirió a un matraz aforado de 250 mL, después se adicionaron 200 mL de agua destilada y 20 mL de ácido acético ($\text{CH}_3\text{CO}_2\text{H}$), finalmente se aforó a 250 mL con agua destilada.

La muestra seca y molida de feijoa (1 g) se mezcló con 5 mL de la disolución extractora, después se agitó en vortex (5 min, 3000 rpm) y centrifugó (15 min, 3000 rpm). El sobrenadante se aforó a 5 mL. Por otra parte, se preparó una disolución de vitamina C (0.025g) y se llevó a un volumen final de 25 mL con disolución extractora, de esta disolución se tomó una alícuota de 2 mL y se aforó a 50 mL con disolución extractora. Para el titulante indofenol se pesaron (0.021 g) de bicarbonato de sodio (NaHCO_3) y se disolvieron en 20 mL de agua destilada, se agregaron (0.025 g) de indofenol y se llevaron a un volumen final de 100 mL con agua destilada, de la disolución anterior se tomó una alícuota de 10 mL y se aforó a 250 mL con agua destilada. Esta disolución se colocó en una bureta de 20 mL y se cubrió con aluminio para su posterior uso.

Se realizó la titulación del blanco para lo cual se colocaron en un matraz de Erlenmeyer 7 mL de la disolución extractora y se registró el volumen gastado, este procedimiento se realizó por triplicado. Para la titulación de la vitamina C, se

colocaron 5 mL de la disolución extractora y 2 mL de la vitamina C en un matraz Erlenmeyer, se registró el volumen gastado y se realizó por triplicado. Para la titulación del extracto de la muestra se colocaron 5 mL de la disolución extractora y 2 mL del extracto, se registró el volumen gastado y se realizó por triplicado. La cantidad de ácido ascórbico se expresó (mg/g_{bs}^{-1}).

3.2.6. Extracción de aceite de semilla de Feijoa *sellowiana* B. por Soxhlet

El contenido total de aceite fue determinado en la semilla de Feijoa *sellowiana* B. mediante la metodología propuesta por Meyer *et al.* (2008), con modificaciones. Se eligieron al azar frutos en buen estado fisiológico y se procedió a retirarles las semillas de la pulpa con una espátula, posteriormente se reunieron 30 g los cuales fueron colocados en un cartucho de papel filtro en un aparato de destilación Soxhlet, se le añadieron 300 mL de hexano a un matraz y la muestra fue colocada a reflujo constante durante 18 h. Finalizado este tiempo el disolvente fue removido en un rotavapor (Büchi Rotovapor, Büchi Labortechnik AG, Flawil, Switzerland) aplicando vacío y en baño de vapor a 40 °C. El aceite que se obtuvo de la extracción fue pesado y se colocó en un frasco ámbar hasta su posterior análisis, el porcentaje de recuperación fue calculado de acuerdo a la siguiente Ecuación²:

$$\text{Contenido de aceite (\%)} = \frac{(100 - W) * Z}{Y} \quad (2)$$

Por lo tanto, W es el contenido de humedad (%), Z es el peso del aceite extraído (g), Y es el peso de la muestra de semilla de feijoa (g).

Perfil de ácidos grasos

El aceite de semilla de feijoa fue sometido a una reacción de transesterificación alcalina (Contreras *et al.*, 2011). El aceite de semilla (0.50 g) se mezcló con una disolución de KOH (7 mg mL^{-1}). Esta mezcla fue colocada a reflujo y agitación constante durante 2 h. Transcurrido este tiempo, la mezcla de reacción se transfirió a un embudo de separación y se dejó durante 24 h hasta observar la separación de fases, la fase superior conformada por los ésteres metílicos de

ácidos grasos (FAME) y la inferior de glicerina, posteriormente la fase de glicerina fue eliminada y los ésteres metílicos fueron tratados subsecuentemente con ácido cítrico al 0.1 % y agua caliente. Los FAME fueron secados con sulfato de sodio anhidro y se analizaron por cromatografía de gases en un equipo marca Agilent 6890 con un detector de ionización de flama (FID), utilizando una columna AT-FAME (30 m x 0.25 mm d.i. x 0.25 µL de espesor de película). La temperatura inicial del horno fue registrada de 180 °C, se establecieron rampas de 10 °C por minuto hasta alcanzar una temperatura final de 230 °C.

El inyector y el detector obtuvieron una temperatura de 250 °C. Se utilizó hidrógeno como gas acarreador, a una velocidad de flujo de 1.8 mLmin⁻¹. Como estándar se utilizaron FAME's, cuyos tiempos de retención fueron utilizados para cuantificar los ésteres metílicos en la muestra.

3.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.3.1 Caracterización física de los frutos

Las características físicas analizadas en los frutos de feijoa fueron peso (g), longitud (mm) y diámetro (mm), se muestran en el Cuadro 1. Se encontraron diferencias con una mínima significativa de ($p \leq 0.05$) en los parámetros (peso y diámetro) en los frutos de las cuatro accesiones. De acuerdo con lo reportado por Murray *et al.* (2005) el peso fresco del fruto es la variable con más diferencia, por lo cual se supone que el estado hídrico de la planta ha jugado un papel importante en este resultado. El crecimiento del fruto puede deberse a un aumento irreversible en el peso seco o volumen y cambios en el tamaño, forma, o una serie de estructuras que van en función del genotipo y el medio ambiente al que pertenecen (Krug, 1997) y al mismo tiempo producir un aumento cuantitativo en el tamaño y peso del fruto (Ardila *et al.*, 2011). Esto podría justificar el hecho de que se encontrarán diferencias estadísticamente significativas entre accesiones aun estando bajo las mismas condiciones ambientales.

Cuadro 1. Características físicas de la feijoa.

	Accesión 1	Accesión 2	Accesión 3	Accesión 4
Peso	50.25 ± 13.34 a	45.34 ± 15.01 a	35.97 ± 14.30 b	29.47 ± 10.84 b
Longitud	52.22 ± 7.78 a	55.65 ± 5.84 a	51.13 ± 7.80 a	52.39 ± 7.98 b
Diámetro	39.66 ± 3.76 a	37.96 ± 4.31 c	33.87 ± 4.98 c	31.28 ± 4.64 b

Valores con letras iguales dentro de cada fila son similares estadísticamente (Tukey, $p \leq 0.05$)

3.3.2 Análisis proximal

Los resultados del análisis proximal se muestran en el cuadro 3.2. Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en todos los parámetros del análisis proximal evaluado en las cuatro accesiones de feijoa, de acuerdo con (Calvo, 2004) el crecimiento del fruto y otras cualidades nutrimentales pueden estar influenciadas por condiciones en el clima, especialmente la intensidad de la luz y la temperatura.

Cuadro 2 .Análisis proximal de los frutos de Feijoa sellowiana B. de Huatusco, Veracruz.

Determinación (%)	Accesión 1	Accesión 2	Accesión 3	Accesión 4
Humedad total	85.09 ± 0.08 a	86.70 ± 0.06 b	86.70 ± 0.00 a	85.78 ± 0.00 b
Materia seca total	14.91 ± 0.08 b	13.30 ± 0.06 a	13.28 ± 0.00 ab	14.22 ± 0.00 a
Cenizas	0.41 ± 0.05 b	0.36 ± 0.05 b	0.33 ± 0.05 b	0.46 ± 0.05 a
Proteína cruda	1.09 ± 0.15 bc	1.29 ± 0.15 a	0.92 ± 0.15 c	1.09 ± 0.15 b
Extracto etéreo	0.40 ± 0.06 ^a	0.27 ± 0.06 c	0.32 ± 0.06 b	0.39 ± 0.06 a
Fibra cruda	2.09 ± 0.06 c	2.01 ± 0.06 b	2.14 ± 0.06 a	2.16 ± 0.06 b
Extracto libre de N	10.92 ± 0.69 c	9.36 ± 0.69 b	9.57 ± 0.69 a	10.11 ± 0.69 b

Valores con letras iguales dentro de cada fila son similares estadísticamente (HSD de Tukey, ($p \leq 0.05$) ± desviación estándar.

El análisis proximal realizado en frutos de feijoa por Carvajal, 2014 muestran un porcentaje de humedad total (86.66 ± 0.24) similar al analizado en las cuatro accesiones de feijoa de este estudio. En cuanto al porcentaje de proteína cruda, este valor resultó ser inferior (0.82 ± 0.12) al igual que el de extracto libre de

nitrógeno (6.09 ± 0.16), sin embargo, el porcentaje de cenizas (0.64 ± 0.07) y el de fibra cruda (5.55 ± 0.15) son superiores.

3.3.3 Fenoles totales

Los compuestos polifenólicos son constituyentes importantes del fruto. Su actividad antioxidante es debida a la quelación de iones metálicos y a la inactivación de cadenas de radicales libres de lípidos, así como a la prevención de la conversión de hidroperóxidos en oxido-radicales reactivos. (DE Oliveria *et al.*, 2009). El contenido de polifenoles puede ser usado como un importante indicador de capacidad antioxidante, y de igual forma sirve como una pantalla preliminar para cualquier producto al cual se le desee agregar antioxidantes de manera natural. (Viuda *et al.*, 2011). Los resultados de capacidad antioxidante tanto de cáscara como de pulpa, así como el contenido de fenoles totales (CFT) y flavonoides totales se muestran en el Cuadro 3. El CFT de las cuatro accesiones de feijoa liofilizada analizadas fueron estadísticamente diferentes con una mínima significativa de ($p \leq 0.05$), la cáscara obtuvo un mayor CFT respecto a la pulpa en las cuatro accesiones de feijoa. En extractos metanólicos de feijoa analizado por Carvajal, 2014, el CFT fue de $13.10 \pm 0.48 \text{ mg EAG g}_{bs}^{-1}$ menor al obtenido en todas las accesiones de feijoa analizada en este estudio.

Considerando todas las accesiones de los frutos de feijoa, el contenido fenólico promedio en la cáscara y en la pulpa son $30.87 \pm 13.67 \text{ mg EAG g}_{bs}^{-1}$ y $13.72 \pm 6.70 \text{ mg EAG g}_{bs}^{-1}$, respectivamente. Por otra parte el peso de la cáscara corresponde a un 38.11 %. Por lo tanto el contenido fenólico total en el fruto es de $20.25 \text{ mg EAG g}_{bs}^{-1}$. Finalmente, el fruto contiene un 86.07 % de humedad, por lo tanto el contenido fenólico en base fresca es $282 \text{ mg EAG } 100\text{g}_{bf}^{-1}$. El CFT de extractos metanólicos de feijoa analizados por Tuncel & Yilmaz, 2015, fue de $14.4 \pm 1.28 \text{ mg EAG g}_{bf}^{-1}$ un valor semejante al que se obtuvo en las cuatro accesiones de feijoa analizados. Weston, 2010, obtuvo un valor muy cercano ($59 \text{ mg EAG g}_{bf}^{-1}$) a lo obtenido en cáscara de las cuatro accesiones de feijoa analizados. En una investigación realizada por Pasquariello *et al.*, 2015 obtuvo

un promedio total del contenido de fenoles de $10 \pm 4.9 \text{ mg EAG g}_{\text{bs}}^{-1}$, este valor es superior al obtenido por Isobe *et al.*, 2003, quien obtuvo un valor del CFT de $4 \text{ mg EAG g}_{\text{bs}}^{-1}$. Los flavonoides son un grupo heterogéneo de compuestos fenólicos, (aproximadamente 4000) presentes en el mundo de las plantas. Ellos son los responsables de los pigmentos en otoño y de los tonos amarillo, naranja y rojo en la floración de las plantas. También son factores importantes para el crecimiento, desarrollo e inmunidad de las plantas (Di Carlo *et al.*, 1999).

Muchos de los flavonoides purificados de las hierbas y plantas medicinales, son usados en la práctica de la medicina tradicional en muchos países. La acción antiinflamatoria, antimicrobiana, previene la hepatotoxicidad, las neoplasias y la osteoporosis está bien documentada (Kandaswami *et al.*, 1994)

Al igual que el CFT los flavonoides totales (FT) tuvieron una mayor presencia en la cáscara que en la pulpa de las cuatro accesiones de feijoa analizadas (Figura 1) lo cual es algo favorable ya que los flavonoides pertenecen al grupo de los fenoles. Las accesiones A2, A3 y A4 son las que obtuvieron el mayor contenido de FT en la cáscara del fruto liofilizado. La A1 fue la que obtuvo el mayor contenido de FT en pulpa del fruto liofilizado.

En la investigación realizada por Pasquariello *et al.*, 2015, obtuvo valores inferiores del contenido de flavonoides ($2.35 \text{ mg EC g}_{\text{bs}}^{-1}$) a los analizados en este estudio, sin embargo, Ebrahimzadeh *et al.*, 2014, obtuvo un valor superior en extractos metanólicos del fruto ($7.85 \text{ mg EC g}_{\text{bs}}^{-1}$).

Cuadro 3 .Contenido fenólico total (CFT), flavonoides totales(FT), capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP) y contenido de ácido ascórbico (AA) de frutos de *Feijoa sellowiana* Berg.

		CFT	FT	ABTS	DPPH	FRAP	AA
	A	(mg EAG g _{bs} ⁻¹).	(mg EC g _{bs} ⁻¹).	(μmol ET g _{bs} ⁻¹).	(μmol ET g _{bs} ⁻¹).	(μmol ET g _{bs} ⁻¹).	(mg/g _{bs} ⁻¹)
Cáscara	A1	49.57 a ± 1.25	7.24 a ± 0.57	243.26 b ± 1.75	164.76 b ± 0.17	202.80 a ± 0.81	0.42 d ± 0.01
	A2	19.22 c ± 1.87	4.65 c ± 0.94	229.22 c ± 3.01	124.67 d ± 0.01	175.34 b ± 2.12	0.57 b ± 0.00
	A3	22.33 c ± 2.38	5.44 b ± 0.10	229.44 c ± 1.75	132.46 c ± 0.18	176.79 b ± 2.43	0.44 c ± 0.00
	A4	32.38 b ± 2.82	7.50 a ± 0.03	289.91 a ± 4.90	183.01 a ± 0.19	206.25 a ± 1.50	0.91 a ± 0.00
Pulpa	A1	22.83 a ± 1.26	4.64 b ± 0.04	118.51 b ± 1.17	44.19 c ± 0.17	64.21 a ± 1.76	0.26 c ± 0.01
	A2	8.35 c ± 0.14	1.50 c ± 0.86	108.02 c ± 2.20	42.40 d ± 0.17	53.54 b ± 1.35	0.30 b ± 0.01
	A3	9.02 c ± 0.63	1.75 c ± 0.13	116.29 b ± 1.17	48.67 b ± 0.18	64.15 a ± 1.60	0.26 c ± 0.01
	A4	14.68 b ± 0.89	1.87 a ± 0.01	140.92 a ± 1.80	58.19 a ± 0.18	63.63 a ± 0.65	0.46 a ± 0.01

Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (HSD de Tukey, p≥0.05) ± desviación estándar.

En otro estudio realizado por Ebrahimzadeh *et al.*, 2008 donde analizó el contenido de flavonoides totales en extractos metanólicos de la cáscara de feijoa obtuvo un valor superior ($43.45 \pm 1.75 \text{ mg EC g}^{-1} \text{ bs}$) al analizado en la cáscara de las accesiones de feijoa de este estudio.

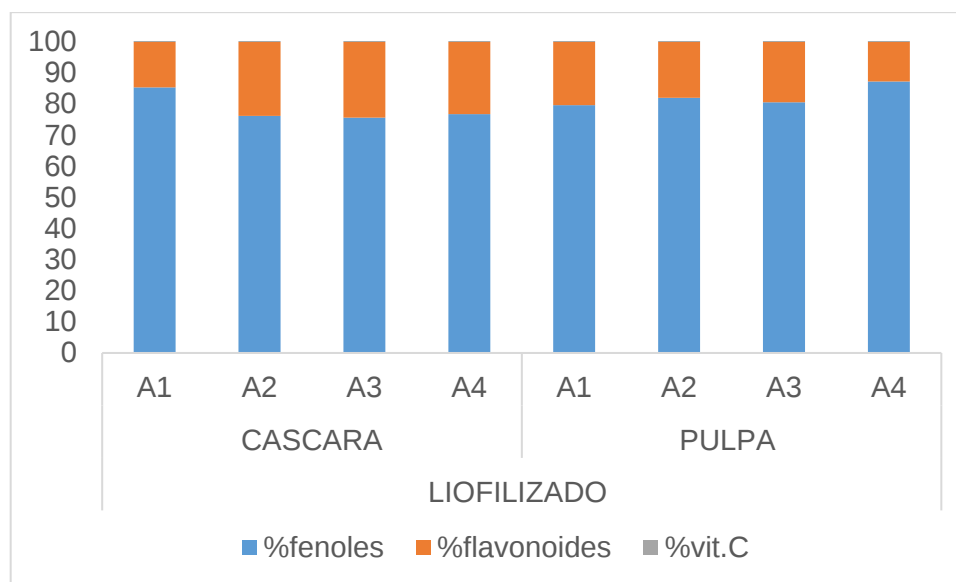


Figura 1 .Contenido fenólico total (CFT), flavonoides totales (FT), capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP) y contenido de (AA) de frutos de Feijoa sellowiana B.

3.3.4 Capacidad antioxidante

Las frutas contienen compuestos que muestran funcionalidades antioxidantes. Por lo tanto, medir la capacidad antioxidante de cada compuesto individualmente resulta una tarea compleja y difícil. Varios métodos se han desarrollado para estimar la capacidad antioxidante total de diferentes materiales vegetales (Guo *et al.*, 2003).

Usualmente estos métodos miden la capacidad de los antioxidantes para secuestrar radicales específicos, inhibir la peroxidación de lípidos o de quelar los iones metálicos. El uso de estos métodos difiere en su forma de generar radicales libres, la estrategia de medir el punto de la reacción de inhibición, y la sensibilidad hacia las diferentes moléculas reductoras en la muestra (Roginsky & Lissi, 2005).

Se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las cuatro accesiones de feijoa analizadas mediante los ensayos FRAP, ABTS, DPPH (Cuadro 3.3). La A4 fue la que obtuvo mayor capacidad antioxidante en cáscara y pulpa liofilizada, siendo la A2 la que obtuvo la menor capacidad antioxidante dentro de los tres ensayos que se ocuparon en este estudio para determinarla.

La capacidad antioxidante analizada Contreras *et al.*, 2011 en extractos metanólicos de feijoa mediante los ensayos FRAP y ABTS muestran valores ($285 \mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$ y $320 \mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$) similares a los encontrados en este estudio. En el fruto deshidratado la A4 en pulpa fue la que obtuvo la mayor capacidad antioxidante y en cáscara fue la A1.

En el estudio realizado por Elmatas *et al.* (2010), se analizó la actividad antioxidante en fruto deshidratado, obtuvo un valor de $194.82 \mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$ en el ensayo FRAP y en el ensayo DPPH obtuvo un valor de $259 \mu\text{mol ET g}_{\text{bs}}^{-1}$, estos valores son cercanos a lo obtenido en las accesiones de feijoa analizadas.

Los datos de capacidad antioxidante fueron sometidos a una regresión lineal múltiple y un análisis de varianza en la cual la variable independiente fue la capacidad antioxidante y las dependientes el CFT, FT y vitamina C, obteniendo la siguiente ecuación: capacidad antioxidante = $129.32 - 0.189 \text{ fenoles} + 12.80 \text{ flavonoides} + 76.32 \text{ vitamina C}$.

En el análisis de varianza se encontró una P de 0.00 lo cual indica que no hay diferencias estadísticamente significativas entre la variable independiente y las variables explicativas. Sin embargo, se encontraron diferencias estadísticamente significativas en la variable flavonoides con una P de 0.00001 en la variable vitamina C con una P de 0.00001, debido a este resultado se procedió a realizar una regresión múltiple ocupando estas variables obteniendo la Ecuación³:

$$\text{capacidad antioxidante} = 131.40 + 10.908 \text{ flavonoides} + 82.83 \text{ vitamina C. (3)}$$

Se obtuvo un modelo estadísticamente significativo con una P de 0.00001 y una $R^2 = 0.98$ es decir la variable flavonoides y la variable vitamina C explican la capacidad antioxidante.

3.3.5 Determinación de vitamina C

Los resultados de ácido ascórbico (AA) están representados en el cuadro 3. El contenido de AA fue estadísticamente significativo en las cuatro accesiones analizadas en este estudio. La A4 fue la que presentó un mayor contenido de AA en pulpa y en cáscara liofilizados. La USDA (Full report, Feijoa, raw 2016) , reporta un total de ácido ascórbico de 0.32 mg/g en porción comestible de fruto fresco, valor cercano al obtenido en pulpa liofilizada de las cuatro accesiones de feijoa analizadas, las cuales obtuvieron valores en un rango de $(0.26-0.46 \pm 0.01 \text{ mg/g})$.

3.3.6. Perfil de ácidos grasos de aceite de semilla de *Feijoa sellowiana* B.

El contenido de aceite de semilla de feijoa fue del 0.23 % en 30 g de semillas de feijoa, este valor es inferior de acuerdo con lo obtenido por Andrade *et al.*, 2012 el cual obtuvo un rendimiento del (1.5 % en 100 g de semillas de feijoa) sin embargo el rendimiento del aceite es bajo debido al tamaño de la semilla.

Los ácidos grasos poliinsaturados modulan las actividades enzimáticas, son transportadores y receptores de membrana, por ejemplo, los receptores de las lipoproteínas LDL, neurotransmisores y receptores de insulina. Además, están involucrados en la producción de eicosanoides (Prostaglandinas, prostaciclina, tromboxanos y leucotrienos) al igual que están involucrados en la transducción de señales y la activación de factores de transcripción nuclear (Spector,1999). Swagell *et al.*,2007 demostraron un número importante de efectos de los ácidos grasos en la expresión genética que pueden estar implicados en una asociación bien establecida entre la grasa de la dieta y la salud humana.

El perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de feijoa se muestra en el Cuadro 4. La mayor prevalencia de ácidos grasos poliinsaturados fue del ácido linoleico

con un 46.23 %, seguido del linolénico con 3.69 %. Dentro de los monoinsaturados se encuentra el ácido oleico (18.57 %) y el ácido palmitoleico (0.48 %) y por último los saturados palmítico (20 %) y el behénico (0.91 %). Por lo tanto, el 69 % pertenece a los ácidos grasos insaturados y el 21 % a los saturados.

Andrade *et al.*, 2012 reportaron un valor superior de ácido linoleico (84.44 %) al reportado en este estudio, sin embargo, obtuvieron valores inferiores del ácido oleico (7.21 %), al igual que del ácido palmítico (5.55 %). Por lo tanto, se puede concluir que el mayor porcentaje de ácidos grasos lo representa el ácido linoleico en las semillas de feijoa.

En otro estudio de Pescador *et al.*, 2012 realizado en embriones zigóticos de semilla de feijoa, reporta un valor de ácido linoleico del 63.91 %, valor superior al encontrado en este estudio, en cuanto al ácido oleico se reporta un valor inferior del 8.44 %.

Cuadro 4. Perfil de ácidos grasos del aceite de semilla de Feijoa sellowiana extraído mediante Soxhlet (%).

Ácidos grasos		(%)
Palmítico	C16:0	20.86
Palmitoleico	C16:1	0.48
Esteárico	C18:0	2.77
Oleico	C18:1 ω 9	18.57
Linoleico	C18:2 ω 6	46.23
Linolénico	C18:3 ω 9,12,15	3.69
Behénico	C20:0	0.91

3.4 CONCLUSIONES

En la caracterización física de los frutos se encontraron diferencias estadísticamente significativas en las variables peso y diámetro de las cuatro accesiones analizadas. El extracto libre de nitrógeno y la humedad total fueron

los principales componentes nutrimentales del fruto. En cuanto a la capacidad antioxidante la cáscara del fruto tanto liofilizada como deshidratada presentó un mayor contenido en comparación con la pulpa. La cáscara de feijoa presenta un alto valor nutracéutico debido a su contenido de antioxidantes y de vitamina C, lo cual le brinda al fruto un preciado valor nutrimental, el fruto puede ser recomendado para su consumo en fresco o en productos de la industria alimentaria.

3.5 REFERENCIAS

- Andrade, J. M. D. M., Marin, R., Apel, M. A., Raseira, M. D. C. B., & Henriques, A. T. (2012). Comparison of the fatty acid profiles of edible native fruit seeds from southern Brazil. *International Journal of Food Properties*, 15(4), 815-822.
- Ardila, G., Fischer, G., & Balaguera López, H. E. (2011). Caracterización del crecimiento del fruto y producción de tres híbridos de tomate (*Solanum lycopersicum* L.) en tiempo fisiológico bajo invernadero. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 5, 44-56. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2011v5i1.1252>.
- Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.
- Bravo, L. (1998). Polyphenols: chemistry, dietary sources, metabolism, and nutritional significance. *Nutrition reviews*, 56(11), 317-333.
- Calvo, G. (2004). Efecto del 1-metilciclopropeno (1-MCP) en pera variedad Williams cosechadas con dos estados de madurez. *Revista de Investigaciones Agropecuarias*, 33, 3-26.
- Carvajal Aguilar, M. G. (2015). Evaluación de la actividad antioxidante de las hojas y frutos de la Feijoa (*acacia sellowiana*).
- Cheng, Z., Moore, J., & Yu, L. (2006). High-throughput relative DPPH radical scavenging capacity assay. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(20), 7429-7436.
- Contreras-Calderón, J., Calderón-Jaimes, L., Guerra-Hernández, E., & García-Villanova, B. (2011). Antioxidant capacity, phenolic content and vitamin C in pulp, peel and seed from 24 exotic fruits from Colombia. *Food research international*, 44(7), 2047-2053.
- Cuevas-Sanchez, J. A., Ramirez, D. G., Reyes, L., Reyes-Chumacero, A., & Reyes-Trejo, B. (2011). Proximate composition, mineral nutrient and fatty acids

of the seed of Ilama, *Annona diversifolia* Saff. *Scientific Research and Essays*, 6(14), 3089-309.

De Oliveira, A. C., Valentim, I. B., Silva, C. A., Bechara, E. J. H., de Barros, M. P., Mano, C. M., & Goulart, M. O. F. (2009). Total phenolic content and free radical scavenging activities of methanolic extract powders of tropical fruit residues. *Food Chemistry*, 115(2), 469-475.

Di Carlo, G., Mascolo, N., Izzo, A. A., & Capasso, F. (1999). Flavonoids: old and new aspects of a class of natural therapeutic drugs. *Life sciences*, 65(4), 337-353.

Ebrahimzadeh, M. A., Enayatifard, R., Khalili, M., Ghaffarloo, M., Saeedi, M., & Yazdani Charati, J. (2014). Correlation between sun protection factor and antioxidant activity, phenol and flavonoid contents of some medicinal plants. *Iranian Journal of Pharmaceutical Research*, 13(3), 1041-1047.

Ebrahimzadeh, M. A., Pourmorad, F., & Bekhradnia, A. R. (2008). Iron chelating activity, phenol and flavonoid content of some medicinal plants from Iran. *African Journal of Biotechnology*, 7(18).

Elmastaş, M., & Gedikli, F. (2010). Total phenolic compounds and antioxidant capacity of leaf, dry fruit and fresh fruit of feijoa (*Acca sellowiana*, Myrtaceae). *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(11), 1065-1072.

Fischer, G. (2003). Ecofisiología, crecimiento y desarrollo de la feijoa. In G. Fischer, D. Miranda, G. Cayón, & M. Mazorra (Eds.), *Cultivo, poscosecha y exportación de la feijoa (Acca sellowiana Berg)* (p. 9-26). Bogotá: Produmedios.

Guo, C., Yang, J., Wei, J., Li, Y., Xu, J., & Jiang, Y. (2003). Antioxidant activities of peel, pulp and seed fractions of common fruits as determined by FRAP assay. *Nutrition Research*, 23, 1719–1726.

Henneberg W.; Stohmann F. 1867. Beiträge zur Begründung einer rationellen Fütterung der Widerkauer., vol 1. Braunschweig, Germany [In German].

ISOBE, Y., Yumiko, K. A. S. E., NARITA, M., & KOMIYA, T. (2003). Antioxidative activity of the tropical fruit, *Feijoa sellowiana* Berg. *Journal of Home Economics of Japan*, 54(11), 945-949.

Ishige, K., Schubert, D., & Sagara, Y. (2001). Flavonoids protect neuronal cells from oxidative stress by three distinct mechanisms. *Free Radical Biology and Medicine*, 30(4), 433-446.

Kandaswami C, Middleton Jr. E. In: Armstrong D, editor. *Free radicals in diagnostic medicine*. New York: Plenum Press, 1994:351]356.

Katsube, N., Iwashita, K., Tsushida, T., Yamaki, K., & Kobori, M. (2003). Induction of apoptosis in cancer cells by bilberry (*Vaccinium myrtillus*) and the anthocyanins. *Journal of agricultural and food chemistry*, 51(1), 68-75.

Krug, H. (1997). Environmental influences on development growth and yield. In H. C. Wien (Ed.), *The physiology of vegetable crops* (p. 101-180). London: Cabi Publishing.

Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food chemistry*, 127(3), 1138-1145.

Maia, G. A., SOUSA, P. D., & LIMA, A. D. S. (2007). Processamento de sucos de frutas tropicais. *Fortaleza: Edições UFC*, 320.

Meyer, M. D., & Terry, L. A. (2008). Development of a rapid method for the sequential extraction and subsequent quantification of fatty acids and sugars from avocado mesocarp tissue. *Journal of agricultural and food chemistry*, 56(16), 7439-7445.

Murray, X. J., Holcroft, D. M., Cook, N. C., & Wand, S. J. (2005). Postharvest quality of 'Laetitia' and 'Songold' (*Prunus salicina* Lindell) plums as affected by preharvest shading treatments. *Postharvest biology and technology*, 37(1), 81-92.

Parra-Coronado, A., & Fischer, G. (2013). Maduración y comportamiento poscosecha de la feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret). Una revisión. *Revista Colombiana de Ciencias Hortícolas*, 7, 98-110. <http://dx.doi.org/10.17584/rcch.2013v7i1.2039>.

Pasquariello, M. S., Mastrobuoni, F., Di Patre, D., Zampella, L., Capuano, L. R., Scortichini, M., & Petriccione, M. (2015). Agronomic, nutraceutical and molecular variability of feijoa (*Acca sellowiana* (O. Berg) Burret) germplasm. *Scientia Horticulturae*, 191, 1-9.

Pescador, R., Kerbauy, G. B., dos Santos, D. Y. A. C., Dal Vesco, L. L., de Freitas Fraga, H. P., & Guerra, M. P. (2012). Comparative study of reserve lipid accumulation during somatic and zygotic *Acca sellowiana* (O. Berg.) Burret embryogenesis. *Acta Physiologiae Plantarum*, 34(2), 771-778.

Quintero, O. C. (2012). Feijoa (*Acca sellowiana* Berg). In G. Fischer (Ed.), *Manual para el cultivo de frutales en el trópico* (p. 443-473). Bogotá: Produmedios.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9), 1231-1237.

Rice-Evans, C., Miller, N., & Paganga, G. (1997). Antioxidant properties of phenolic compounds. *Trends in plant science*, 2(4), 152-159.

Rodríguez, M., Arjona, H. E., & Campos, H. A. (2006). Caracterización fisicoquímica del crecimiento y desarrollo de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) en los clones 41 (Quimba) y 8-4. *Agronomía Colombiana*, 24(1), 54-61.

Roginsky, V., & Lissi, E. (2005). Review of methods to determine chain-breaking antioxidant activity in food. *Food Chemistry*, 92, 235–254.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.

Spector, A. A. (1999). Essentiality of fatty acids. *Lipids*, 34(1), S1-S3.

Swagell, C.D.; Henly, D.C.; Morris, C.P. Regulation of human hepatocyte gene expression by fatty acids. *Biochemical and Biophysical Research Communications* 2007, 362 (2), 374–380.

Tuncel, N. B., & Yilmaz, N. (2015). Optimizing the extraction of phenolics and antioxidants from feijoa (*Feijoa sellowiana*, Myrtaceae). *Journal of Food Science and Technology*, 52(1), 141-150.

USDA National Nutrient Database Full Report (All Nutrients) Feijoa, raw, 2016 .1 Value Per 100 g.

Viuda-Martos, M., Ruiz-Navajas, Y., Fernández-López, J., Sendra, E., Sayas-Barberá, E., & Pérez-Álvarez, J. A. (2011). Antioxidant properties of pomegranate (*Punica granatum* L.) bagasses obtained as co-product in the juice extraction. *Food Research International*, 44(5), 1217-1223.

Wang, W., Bostic, T. R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122(4), 1193-1198.

Weston RJ (2010) Bioactive products from fruit of the feijoa (*Feijoa sellowiana*, Myrtaceae): a review. *Food Chem* 121:923–926.

IV OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DEL ACEITE ESENCIAL DE LA CÁSCARA DE (*Feijoa sellowiana* Berg)

IV OBTAINING AND CHARACTERIZATION OF ESSENTIAL OIL SHELL OF (*Feijoa sellowiana* Berg)

RESUMEN

Los aceites esenciales (AE) se definen como aceites volátiles que tienen componentes aromáticos fuertes y brindan un olor, sabor y aroma característico a una planta aromática, en su mayoría son insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter y aceites vegetales y minerales. Se aisló el aceite esencial de la cáscara de feijoa usando el método de extracción por arrastre de vapor, para una mayor caracterización se analizó la muestra por cromatografía de gases con el fin de determinar los principales componentes que proporcionan las propiedades biológicas de esta especie. El rendimiento del aceite esencial fue del 0.3 %. El benzoato de 2-metilpropano y el óxido de cariofileno fueron los compuestos que se obtuvieron en mayor rendimiento (18.41 y 10.28 %).

Palabras clave: Myrtaceae, aceite esencial, aislamiento, cromatografía de gases.

ABSTRACT

Essential oils (AE) are defined as volatile oils that have strong aromatic components and provide an odor, flavor and aroma characteristic to an aromatic plant, most of them are insoluble in water but readily soluble in alcohol, ether and vegetable and mineral oils. the essential oil shell feijoa was isolated using the method of stripping steam for further characterization sample by gas chromatography to determine the major components that provide the biological properties of the species analyzed. The yield of essential oil was 0.3 %. Benzoate and 2-methylpropane caryophyllene oxide compounds were obtained in higher yield (18.41 and 10.28 %).

Keywords: Myrtaceae, essential oil, isolation, gas chromatography.

4.1 INTRODUCCIÓN

Los aceites esenciales (AE) se definen como aceites volátiles que tienen componentes aromáticos fuertes y brindan un olor, sabor y aroma característico a una planta aromática, en su mayoría son insolubles en agua, pero fácilmente solubles en alcohol, éter y aceites vegetales y minerales. Por lo general no son oleosos al tacto y contienen componentes químicos mayoritarios como alcoholes, ésteres, aldehídos, cetonas, lactonas y óxidos. Pueden proceder de las flores, frutos, hojas, raíces, semillas y corteza de los vegetales (Staschenko, 1999).

Los AE son producidos por más de 17,500 especies vegetales pertenecientes a las familias, Lamiaceae, Rutaceae, Myrtaceae, Zingiberaceae y Asteraceae (Regnault-Roger *et al.*, 2012). Las familias Mirtáceas comprenden alrededor de 130 géneros y unas 2,900 especies, nativas principalmente de las regiones tropicales y subtropicales de América, Asia y Australia. Las diferentes especies se encuentran como árboles o arbustos perennifolios, los cuales poseen aceites esenciales usados en perfumería o medicina, como en el caso del eucalipto (*Eucaliptus sp*) y el Tea Tree Oil (TTO) (*Melaleuca alternifolia*), o en frutos como en el caso de la feijoa o la guayaba (*Feijoa sellowiana* y *Psidium guava*).

En la naturaleza, las características aromáticas de los AE cumplen diversas funciones en la planta como: atracción de polinizadores, protección contra el frío o el calor así como la defensa contra animales u otros microorganismos. Los AE son mezclas muy complejas que pueden contener cerca de 20-60 componentes en diferentes concentraciones, de los cuales dos o tres grupos contienen el mayor porcentaje de componentes (20-70 %) comparados con otros cuyas cantidades pueden ser rastreables. Por lo general los grupos con mayor porcentaje de compuestos son los que determinan las propiedades biológicas de los aceites esenciales. Estos componentes se incluyen en dos grupos cuyo origen biosintético es distinto. El grupo principal está conformado por terpenos y terpenoides y el segundo por compuestos aromáticos y alifáticos, todos ellos caracterizados por ser de bajo peso molecular. Los AE se sintetizan en el

citoplasma y plástidos de las células vegetales a través de las rutas del ácido malónico, ácido mevalónico y del metil-D-eritritol-4-fosfato (MEP). Los monoterpenos son moléculas formadas por dos unidades de isopreno (C₅), éstos son los más representativos ya que constituyen cerca del 90 % de los aceites esenciales y tienen una gran variedad de estructuras acíclicas, monocíclicas y bicíclicas.

Para poder obtener aceites esenciales existen varios métodos, entre los más comunes se encuentran la destilación por corriente de vapor y extracción con disolventes. El rendimiento del aceite esencial depende del fruto o la planta del cual se esté obteniendo y por lo general varía en promedio desde unas milésimas por cada 100 gramos de producto vegetal hasta 1-3 %. En este estudio se aisló el aceite esencial de la cáscara de los frutos de feijoa (*Acca sellowiana* Berg) mediante el método de destilación por arrastre de vapor para su posterior caracterización por cromatografía de gases con la finalidad de conocer los componentes mayoritarios que proporcionan las propiedades biológicas a esta especie.

4.2 MATERIALES Y MÉTODOS

4.2.1 Material vegetal

Los frutos de feijoa fueron colectados en agosto del 2015 de una huerta experimental localizada en la congregación de Elotepec, perteneciente al municipio de Huatusco, Veracruz a 2000 m de altitud. Los frutos sin daños físicos fueron colectados en madurez fisiológica y seleccionados al azar, posterior a esto se procedió a separar la cáscara de la pulpa.

4.2.2 Obtención del aceite esencial

Los aceites esenciales del fruto de feijoa fueron aislados utilizando el dispositivo de Clevenger de acuerdo con el método descrito por Guenther, 1948. Las cáscaras de los frutos de feijoa (100 g) se colocaron en un matraz de fondo redondo con junta esmerilada, se adicionó suficiente agua destilada para cubrir completamente el material vegetal y se adaptó el dispositivo de Clevenger (Figura

2). La mezcla se calentó a reflujo constante hasta lograr separar el aceite esencial (1 h). Finalmente, la fase aceitosa se separó por diferencia de densidad.



Figura 2. Dispositivo Clevenger

4.2.3 Análisis GC/Masas

El aceite esencial fue analizado en un cromatógrafo de gases acoplado a una trampa de iones Agilent 7890 B. Para la separación se utilizó una columna capilar (30m x 250 μ x 0.25 μ). El extracto fue inyectado (5 μ L) utilizando el método de inyección splitless (20:1). La rampa de temperatura fue inicialmente de 50 °C después fue incrementando a 250 °C en un rango de 10 °C/min y finalmente se mantuvo a una temperatura constante de 200 °C por 5 minutos. Se utilizó como gas de arrastre el helio en un rango de flujo de 0.5 mL/min.

4.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.3.1 Composición química del aceite esencial de *Feijoa sellowiana* Berg

El rendimiento del aceite esencial obtenido de la cáscara de *Feijoa sellowiana* fue de 0.3 %. Se detectaron 63 compuestos, de los cuales 57 fueron identificados en la biblioteca del Instituto Nacional de Normas y Tecnología (NIST por sus siglas en inglés, *National Institute of Standards and Technology*) integrada en el software del equipo de cromatografía de gases. En la Figura 3, se muestra el cromatograma obtenido donde se observan los tiempos de retención de los

compuestos identificados, los cuales representan el 94.98 % de los contenidos en el aceite. Aquellos compuestos con un porcentaje mayor al 0.01 % se presentan en la Cuadro 5.

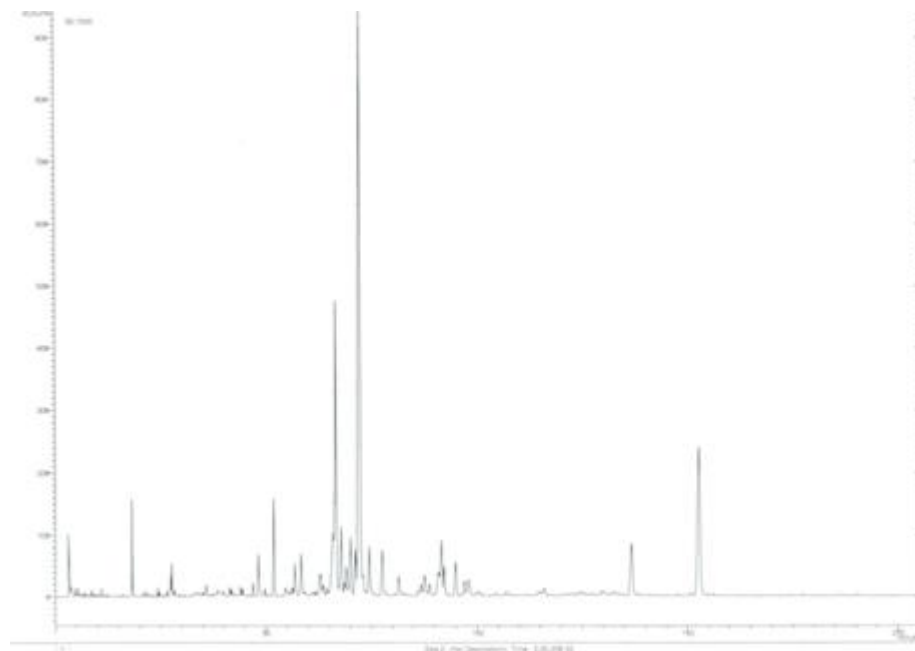


Figura 3. Cromatograma de gases del aceite esencial de la cáscara de feijoa. El aceite esencial de feijoa es excepcionalmente aromático, sin embargo, el rendimiento del aceite es bajo y varía de acuerdo a la parte del fruto del cual fue extraído al igual que de la zona geográfica de la cual pertenece. Este grupo de investigadores aislaron el aceite de la cáscara de frutos provenientes de Nueva Zelanda y obtuvieron un rendimiento bajo de <0,1 % (Shaw *et al.*,1983).

En un estudio realizado por Lombardo *et al.*, 2016 demostró que el aceite esencial de feijoa era capaz de reducir el crecimiento fúngico *in vitro* en más del 50 %, el aceite esencial será seleccionado para trabajos posteriores con el fin de estudiar su uso potencial en los tratamientos aplicados a la cadena de envasado.

Cuadro 5. Composición química del aceite esencial de la cáscara de Feijoa sellowiana.

No. Compuesto	Nombre del compuesto	TR (min)	Porcentaje (%)
1	2-Butenoic acid methyl ester, (E)	5.439	0.028
2	Benzeneethanamine, 4-fluoro- α -methyl-	8.623	0.056
3	Phenethylamine, o-fluoro- α -methyl-	18.18	0.725
4	1-Cyclohexene-1-propanol, 2,6,6-trimethyl-	24.228	0.107
5	2-Butenoic acid, methyl ester, (E)-	27.301	0.273
6	α -Guaiene	28.236	0.155
7	Naphthalene, decahydro-4a-methyl-1-methylene-7-(1-methylethylidene)-, (4aR-trans)-	41.434	0.157
8	Himachala-2,4-diene	41.901	0.138
9	1,2,4-Methenoazulene, decahydro-1,5,5,8a-tetramethyl-, [1S-(1 α ,2 α ,3a β ,4 α ,8a β ,9R*)]-	44.048	0.417
10	(-)-Aristolene	46.961	0.306
11	5-Iodopryid-2(1H)-thione	48.259	0.82
12	(+)-2-Carene, 2-isopropenyl-	49.761	0.196
13	Naphthalene, 1,2,3,4-tetrahydro-1,1,6-trimethyl-	51.896	1.142
14	Spiro[4.5]dec-6-en-8-one, 1,7-dimethyl-4-(1-methylethyl)-	54.633	0.49
15	1,1,4,5,6-pentamethyl-2,3-dihydro-1H-indene	56.158	0.236
16	Ledol	56.824	1.241
17	Ledene oxide-(II)	58.286	3.562
18	1-Naphthalenol, decahydro-1,4a-dimethyl-7-(1-methylethylidene)-, [1R-(1 α ,4a β ,8a α)]-	59.073	0.209
19	Spiro[5.5]undec-2-ene, 3,7,7-trimethyl-11-methylene-, (-)-	61.144	0.187
20	4aH-Cycloprop[e]azulen-4a-ol, decahydro-1,1,4,7-tetramethyl-, [1aR-(1 α ,4 β ,4a β ,7 α ,7a β ,7b α)]-	62.807	2.92
21	Aromadendrene, dehydro-	63.499	0.78
22	Caryophyllene oxide	66.416	10.28
23	Benzoic acid, 3,17-diacetoxy-4,4,10,13-tetramethylhexadecahydrocyclopenta[a]phenanthren-7-yl ester	66.486	6.504
24	Aromandendrene	67.788	6.396
25	Propanoic acid, 2,2-dimethyl-, 2-(1,1-dimethylethyl)phenyl ester	68.511	0.085
26	Benzoic acid, heptyl ester	69.009	0.841
27	Azulene, 1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydro-1,4-dimethyl-7-(1-methylethenyl)-, [1R-(1 α ,3a β ,4 α ,7 β)]-	70.032	4.535
28	5-Azulenemethanol, 1,2,3,3a,4,5,6,7-octahydro- α , α ,3,8-tetramethyl-, [3S-(3 α ,3a β ,5 α)]-	71.151	2.669

29	Benzoic acid, 2-methylpropyl ester	72.293	13.56
30	S-Benzyl-N2-(4-nitrobenzoyl)cysteine N'-(4-hydroxybenzylidene)hydrazide	73.029	1.127
31	Ledol	73.508	0.279
32	Diepicedrene-1-oxide	74.497	3.949
33	Humulane-1,6-dien-3-ol	77.595	3.839
34	Alloaromadendrene	78.527	0.049
35	trans- α -Bergamotene	81.509	0.765
36	1,3,6,10-Dodecatetraene, 3,7,11-trimethyl-, (Z,E)-	86.239	0.253
37	Naphthalene, 1,2,3,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-, (1S-cis)-	86.844	0.568
38	Spiro[4.5]dec-7-ene, 1,8-dimethyl-4-(1-methylethenyl)-, [1S-(1 α ,4 β ,5 α)]-	87.699	1.119
39	cis- α -Bisabolene	87.746	0.984
40	Tricyclo[5.4.0.0(2,8)]undec-9-ene, 2,6,6,9-tetramethyl-, (1R,2S,7R,8R)-	88.818	0.918
41	γ -Elemene	90.945	2.154
42	6-(1,3-Dimethyl-buta-1,3-dienyl)-1,5,5-trimethyl-7-oxa-bicyclo[4.1.0]hept-2-ene	90.963	0.995
43	Pregn-5-en-20-one, 3-(acetyloxy)-, cyclic 20-(1,2-ethanediyl acetal), (3 β)-	91.16	0.232
44	Naphthalene, 1,2-dihydro-1,1,6-trimethyl-	92.227	0.542
45	Naphthalene, 1,2-dihydro-1,1,6-trimethyl-	94.944	0.766
46	2,5-Dimethyl-4-phenylpyridine	96.995	0.637
47	Naphthalene, 1,2,4a,5,6,8a-hexahydro-4,7-dimethyl-1-(1-methylethyl)-	98.073	0.587
48	2-Methyl-4-(2,6,6-trimethylcyclohex-1-enyl)but-2-en-1-ol	98.162	0.506
49	Cholan-24-oic acid, 7,12-bis(acetyloxy)-3-ethoxy-, methyl ester, (3 α ,5 β)-	100.09	0.517
50	1-Phenanthrenecarboxylic acid, 7-ethyl-1,2,3,4,4a,4b,5,6,7,9,10,10a-dodecahydro-1,4a,7-trimethyl	104.52	0.121
51	Ergost-5-en-3-ol, 22,23-dimethyl-, acetate, (3 β)-	114.70	0.43
52	1,2,3,4-Butanetetrol, 1,4-dibenzoate, (R*,S*)-	115.90	0.56
53	9-Isopropyl-1-methyl-2-methylene-5-oxatricyclo[5.4.0.0(3,8)]undecane	124.71	0.311
54	β -Guaiene	129.84	0.034
55	Limonen-6-ol, pivalate	132.69	0.169
56	Benzyl Benzoate	136.71	1.979
57	Benzoic acid 2-methylpropyl ester	152.80	4.856

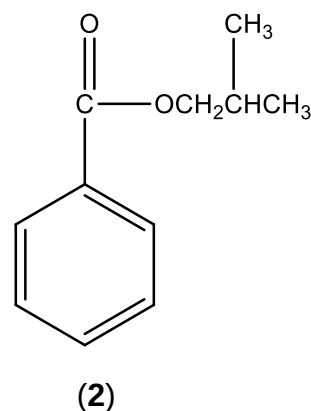
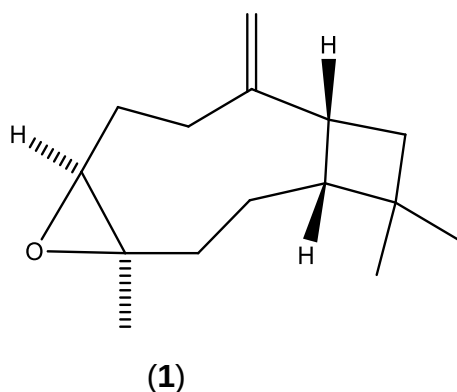
El Benzoato de isobutilo (18.41 %) y el óxido de cariofileno (10.28 %) fueron los componentes que se encontraron en mayor porcentaje en el aceite esencial. El benzoato de isobutilo, también conocido como isobutil antralinato , es utilizado como aditivo en la industria alimentaria ya que proporciona un ligero aroma a flores de naranja.

Un estudio realizado por Hardy and Michael (1970) acerca de los componentes volátiles de los frutos de feijoa, demostró que los componentes metil benzoato y etil benzoato son ésteres que presentan el mismo olor y que juegan un papel fundamental en el aroma de los frutos de feijoa, por lo cual se podría decir que el benzoato de isobutilo (**1**) analizado en este estudio juega el mismo papel ya que este compuesto pertenece a la familia de los esteres benzoicos.

El óxido de cariofileno (**2**), es un sesquiterpeno bicíclico natural presente en muchos aceites esenciales principalmente en el aceite del clavo de olor (*Syzygium aromaticum*), árbol nativo de Indonesia que también pertenece a la familia Myrtaceae. Cuando el óxido de cariofileno se une al receptor cannabinoide CB₂ ejerce acción antiinflamatoria en el organismo, también se utiliza en la industria de los alimentos y cosméticos debido a su suave sabor aromático.

Saj *et al.*, 2008, reportaron que el aceite esencial de feijoa tenía un amplio espectro de actividad antibacteriana y antifúngica, esto debido a sus componentes mayoritarios, uno de ellos, el óxido de cariofileno (27%) el cual es un valor superior al encontrado en este estudio.

En la composición del aceite esencial de la cáscara de feijoa analizado por Fernández *et al.*, 2004, el porcentaje de óxido de cariofileno (12%) fue mayor al obtenido en este estudio (10.28%).



El compuesto γ -Elemeno se encontró aproximadamente en el mismo porcentaje (3.5 %) que el reportado por (Melo R.M. *et al.*, 2007) utilizando una extracción por arrastre de vapor en hojas frescas de *Eugenia uniflora* L. la cual pertenece a la misma familia Myrtaceae que la feijoa. El γ -Elemene es un sesquiterpeno que contribuye al aroma de muchas plantas y sirve como feromonas para los insectos.

El aceite esencial de otra especie de la familia Myrtaceae (*Leptospermum petersonii*) contiene un 0.08 % de aromadendreno el cual se encontró en mayor proporción en el aceite esencial de la cáscara de feijoa (6.93 %). Debido a que este compuesto es característico por proporcionar aroma a las plantas se podría decir que la cáscara de feijoa posee un alto potencial aromático dentro de la familia Myrtaceae (Eunae, 2012). Otro compuesto que se identificó en el perfil del aceite fue el azuleno (4.53 %) el cual es un isómero del naftaleno un hidrocarburo aromático, algunos derivados del azuleno previenen lesiones gástricas (Amagase *et al.*, 2013).

4.4 CONCLUSIONES

La mayoría de los componentes del aceite esencial fueron identificados por cromatografía de gases, los componentes mayoritarios como el benzoato de isobutilo y el óxido de cariofileno son los que proporcionan las principales características biológicas al aceite esencial, por lo que se podría concluir que este aceite puede ser utilizado como un ingrediente que resalte el aroma y sabor de algunos alimentos.

4.5 REFERENCIAS

- Amagase, K., Yoshida, Y., Hara, D., Murakami, T., & Takeuchi, K. (2013). Prophylactic effect of egualen sodium, a stable azulene derivative, on gastrointestinal damage induced by ischemia/reperfusion, double antiplatelet therapy and loxoprofen in rats. *J Physiol Pharmacol*, 64, 65-75.
- Beyhan, O.; M.A. Bozkurt and S.C. Boysal 2011. "Determination of macro-micro nutrient contents in dried fruit and leaves and some pomological characteristics of selected feijoa genotypes (*Feijoa sellowiana* berg.) from Sakarya provinces in Turkey". *The Journal of Animal & Plant Sciences* 21(2): 251-255. CORPORACIÓN COLOMBIA INTERNACIONAL –CCI-. 2008. Producción y comercialización de la feijoa en Colombia. Disponible desde internet en: <http://www.cci.org.co/publicaciones> (con acceso 09/11/2010).
- Eunae, K. 2012. "Fumigant Antifungal Activity of *Myrtaceae* Essential Oils and constituents from *Leptorpermum petersonii* against three *Aspergillus* species" Division of Forest Insect Pests and Diseases, Korea Forest Research Institute.
- Fernandez, X., Loiseau, A. M., Poulain, S., Lizzani-Cuvelier, L., & Monnier, Y. (2004). Chemical composition of the essential oil from Feijoa (*Feijoa sellowiana* Berg.) peel. *Journal of Essential Oil Research*, 16(3), 274-275.
- Fischer, G. 2003. Ecofisiología, crecimiento y desarrollo de la feijoa. pp. 9-26. En: Fischer, G., D. Miranda, G. Cayón y M. Mazorra, M. (eds.). 2003. Cultivo, poscosecha y exportación de la Feijoa (*Acca sellowiana* Berg.). Produmedios, Bogotá.
- Guenther, E., 1948. The Essential Oils. D. Van Nostrand, New York
- Hardy, P.J., & Michael, B.J. (1970). Volatile components of Feijoa fruits. *Phytochemistry*, 9(6), 1355-1357.
- Hoffmann, A., J.C. Nachtigal, R.A. Kluge y A.B. Bilhalva. 1994. Influência da temperatura e do polietileno no armazenamento de frutos de goiabeira serrana (*Feijoa sellowiana* Berg.). *Sci. Agric.* 51(3), 563-68.
- Lombardo, P., Guimaraens, A., Franco, J., Dellacassa, E., & Faggiani, E. P. (2016). Effectiveness of essential oils for postharvest control of *Phyllosticta citricarpa* (citrus black spot) on citrus fruit. *Postharvest Biology and Technology*, 121, 1-8.
- Melo, R.M.; Correa, V.F.S.; Amorim, A.C.L.; Miranda, A.L.P.; Rezende, C.M., Identification of Impact Aroma Compounds in *Eugenia uniflora* L. (Brazilian Pitanga) Leaf Essential Oil, *J. Braz. Chem. Soc.*, 18(1), 2007, 179.
- Quintero, O.C. 2012. Feijoa (*Acca sellowiana* Berg). pp. 443-473. En: Fischer, G. (ed.). 2012. Manual para el cultivo de frutales en el trópico. Produmedios, Bogotá.
- Regnault-Roger, C., Vincent, C., Arnason, J.T., 2012. Essential oils in insect control: low-risk products in a high-stakes world. *Ann. Rev. Entomol.* 57, 405–424

Saj, O. P., Roy, R. K., & Savitha, S. V. (2008). Chemical composition and antimicrobial properties of essential oil of Feijoa sellowiana O. Berg.(pineapple guava). *Journal of Pure and Applied Microbiology*, 2(1), 227-230.

Schuman, M., & Lüdders, P. (1992). Cultivation of feijoa: Possibilities and limits in Colombia. *Erwerbsobstbau*, 34(4), 110-112.

Shaw, G. J., Ellingham, P. J., & Birch, E. J. (1983). Volatile constituents of feijoa headspace analysis of intact fruit. *Journal of the Science of Food and Agriculture*, 34(7), 743-747.

Stashenko, E. E., Cervantes, M., Combariza, M. Y., Fuentes, H.; Martinez, J. R. (1999). HRGC/FID and HRGC/MSD analysis of the secondary metabolites obtained by different extraction methods from *Lepechinia schiedeana*, and in vitro evaluation of its antioxidant activity. *J. High Resol. Chromatogr.* 22, 343.

Vuotto, M. L., A. Basile, V. Moscatiello, P. de Sole, R. Castaldo-Cobianchi, E. Laghi y M. T. L. Lelopo. 2000. Antimicrobial and antioxidant activities of Feijoa sellowiana fruit. *Int. J. Antimicrobial Agents* 13, 197-201.

V PROCESAMIENTO AGROINDUSTRIAL DE (*Feijoa sellowiana* Berg.) AGROINDUSTRIAL PROCESSING OF (*Feijoa sellowiana* Berg.)

RESUMEN

En los últimos años se han presentado grandes avances en tecnología de alimentos, el procesado, el almacenamiento y la distribución. En este estudio se llevó a cabo un proceso de deshidratación por convección de aire caliente y la elaboración de una mermelada como métodos de conservación del fruto de *Feijoa sellowiana* Berg. Las propiedades nutraceuticas de ambos productos fueron evaluadas cuantificando el contenido de fenoles (CFT) y flavonoides totales (FT) así como la capacidad antioxidante mediante los ensayos FRAP, ABTS y DPPH. Adicionalmente se llevó a cabo una prueba de aceptabilidad de la mermelada con una escala hedónica de nueve puntos para determinar su aceptación en el consumidor. El contenido de fenoles y flavonoides totales de las cuatro accesiones del fruto deshidratado de feijoa fue mayor en cáscara que en pulpa. La mermelada presentó un CFT de 1.86 ± 0.14 (mg EAG $\text{g}_{\text{muestra}}^{-1}$). Lo cual se vio reflejado en la capacidad antioxidante (ABTS 1.43 ± 0.14 , DPPH 7.71 ± 0.56 , FRAP 11.75 ± 1.07 ($\mu\text{mol ET g}_{\text{muestra}}^{-1}$). La mermelada obtuvo una buena aceptación en el consumidor.

Palabras clave: deshidratación, capacidad antioxidante, mermelada.

ABSTRACT

In recent years there have been great advances in food technology, processing, storage and distribution. This study was carried out a process of dehydration by hot air convection and the preparation of a jam as conservation methods *Feijoa sellowiana* Berg fruit. To evaluate the nutritional properties of both methods discussed in content of phenols and total flavonoids and antioxidant capacity using the FRAP, ABTS and DPPH assays. Finally he conducted a test of acceptability of the jam with a nine-point hedonic scale to determine their possible acceptance by the consumer. The phenol content of total flavonoids and four

accessions of dehydrated guava fruit was higher pulp shell, being the A1 containing the higher content of these compounds. The antioxidant capacity of dehydrated fruit peel, analyzed by three different methods FRAP, DPPH and ABTS was higher than that of the pulp. Marmalade presented a CFT of 1.86 ± 0.14 (mg EAG $\text{g}_{\text{muestra}}^{-1}$) and a content of FT of 0.47 ± 0.05 (mg EC $\text{g}_{\text{muestra}}^{-1}$). therefore the antioxidant capacity showed very low values the three trials analyzed. Marmalade earned a good reputation in the consumer.

Key words: dehydration, antioxidant capacity, jam.

5.1 INTRODUCCIÓN

En los últimos años se han presentado grandes avances en la tecnología de alimentos, el procesado, el almacenamiento y la distribución han mejorado considerablemente el aspecto nutricional y es necesario continuar implementando toda técnica de procesamiento que involucre mejorar la retención de nutrientes en productos de mayor consumo. En el procesamiento de los alimentos siempre interviene el calor con el consecuente aumento de temperatura y las vitaminas sensibles al calor son las primeras afectadas. Por ello, es importante buscar técnicas más apropiadas que disminuyan las temperaturas de procesos y por ende los tiempos de exposición al calor (Fellows,1994).

Los nutrientes esenciales de la feijoa están constituidos por azúcares mono y disacáridos, vitamina C, fibra, minerales y en pequeñas proporciones las proteínas. En cuanto a los azúcares, la fructosa ,la glucosa, y sacarosa confieren el sabor dulce a las frutas maduras y suponen un 5 a 18 % del peso de la porción comestible. La vitamina C o ácido ascórbico principalmente se encuentra en cítricos y frutas tropicales, tiene propiedades antioxidantes y reductoras. Inhibe eficazmente el pardeamiento enzimático por causa del oxígeno del aire al reducir los productos ortoquinona.

La transformación de las frutas en productos dulces concentrados para prolongar los cortos periodos de vida de la fruta fresca son muy comunes y la producción de mermelada es una industria fuerte en algunos países (Herrero & Guardia 1992).

La mermelada es, en términos prácticos, un método de conservación de alimentos en el cual se mezclan frutas y/o verduras con azúcar, acidificantes y en algunos casos pectinas, de consistencia pastosa o gelatinosa y un color brillante y atractivo que refleja el color del producto.

La Norma Oficial Mexicana (NMX-F-131-1982) define a la mermelada como un producto alimenticio obtenido por la cocción y concentración del jugo o pulpa de un fruto con el grado de madurez adecuado ya sea fresco o congelado libre de receptáculos y pedúnculos, adicionado de edulcorantes nutritivos y agua, agregándole o no ingredientes opcionales y aditivos permitidos, envasado en recipientes herméticamente cerrados y procesados técnicamente para asegurar su conservación.

El codex alimentario (CODEX STAN 296-2009) define a la mermelada como un producto que puede ser preparado con uno o más de los siguientes ingredientes: fruta(s) entera(s) o en trozos, que pueden tener toda o parte de la cáscara eliminada, pulpa(s), puré(s), zumo(s), jugo(s), extractos acuosos y cáscara que están mezclados con productos alimentarios que confieren un sabor dulce como azúcares o edulcorantes o carbohidratos como la miel, con o sin agua, hasta adquirir una consistencia gelatinosa adecuada.

Existen algunos factores esenciales de composición y calidad que marca el CODEX STAN 296-2009 para la elaboración de mermeladas los cuales se mencionan a continuación. El contenido de fruta utilizada en el producto terminado no deberá ser menor al 45 %. El contenido de sólidos solubles totales en el producto terminado deberá estar entre el 60 a 65 % o superior. En cuanto a los criterios de calidad el producto final deberá tener una consistencia gelatinosa adecuada, con el color y el sabor apropiados para el tipo o clase de fruta utilizada como ingrediente en la preparación de la mezcla, tomando en cuenta cualquier sabor impartido por ingredientes facultativos o por cualquier colorante permitido utilizado. El producto deberá estar exento de materiales defectuosos normalmente asociados con las frutas.

En este estudio se aplicaron dos métodos de conservación de los frutos de *Feijoa sellowiana* Berg. consistentes en la deshidratación por aire caliente y la preparación de una mermelada. Los productos obtenidos fueron evaluados en relación de sus propiedades nutraceuticas.

5.2 MATERIALES Y MÉTODOS

5.2.1 Material vegetal

Los frutos de feijoa fueron colectados en madurez fisiológica en agosto del 2015, se eligieron al azar aquellos que no presentaran daños físicos que comprometieran la calidad del mismo.

5.2.2 Proceso de deshidratación del fruto

Un total de 15 frutos de cada accesión fueron seleccionados al azar y fueron cortados en rodajas de aproximadamente 4 cm de grosor posteriormente fueron sometidos a un proceso de convección de aire caliente en un deshidratador Sedona Combo (modelo SD-P9150-F) mediante un sistema de control secuencial de la temperatura en dos fases, primero se manejó una temperatura de 60 °C durante el día y a 40 °C durante la noche, en un promedio de 18 h. Una vez terminado este proceso se procedió a separar la cáscara de la pulpa, para su posterior estudio.

5.2.3 Elaboración de mermelada de (*Feijoa sellowiana* Berg.)

Se pesaron aproximadamente 500 g de fruto a los cuales se les retiró el pedúnculo, la mitad (250 g) se picaron en trocitos y el resto se molió en una licuadora de la marca OSTER modelo 4125. La mezcla junto con los trozos de fruta se vaciaron en una olla de peltre, posteriormente se añadió el azúcar junto con 1 gramo de pectina de alto metoxilo (Dupont), la mezcla se coció a fuego lento hasta llegar a una temperatura de 60 °C. La cantidad de solidos solubles totales (sst) fueron medidos con un refractómetro escala brix visual (Schmidt+Haensch GmbH & Co), el pH fue medido con un potenciómetro

(HANNA HI 2211-01). Estas mediciones se realizaron antes, durante y después de la cocción del producto.

Se ensayaron tres tratamientos los cuales variaban en su porcentaje de fruta y de azúcar, el primer tratamiento tenía (50:50), el segundo tratamiento (60:40) y el tercero (70:30) porcentajes de fruta y azúcar respectivamente, tres repeticiones. Se implementó un diseño completamente al azar y se realizaron comparaciones múltiples (Tukey, $P=0.05$). Las variables respuesta fueron, fenoles y flavonoides totales, actividad antioxidante y vitamina C.

5.2.4 Evaluación de capacidad antioxidante y vitamina C

Preparación de extractos de mermelada

Se pesó aproximadamente 1 g de mermelada de feijoa y se colocó en un tubo falcon, posteriormente se les añadió 10 mL de una disolución metanol/agua (4:1, v/v), la mezcla se agitó en un (Vortex synergy, WVE International) (3000 rpm, 3 min), se centrifugaron (2500 rpm, 15 min) (SOLBAT J-600, México). Se retiró el sobrenadante y se aforó a 10 mL con la disolución metanol/agua (4:1, v/v). A partir de esta solución se cuantificaron los fenoles totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante. Las muestras fueron analizadas por triplicado.

Preparación de extractos de fruto deshidratado

Los extractos fueron elaborados mediante la metodología de Wang *et al.* (2010). Se pesaron aproximadamente 0.500 g de fruto deshidratado de pulpa o cáscara posteriormente se molieron y se colocaron en tubos falcon, se mezclaron con 10 mL de una disolución metanol/agua (4:1, v/v), la mezcla se homogenizó en vortex (Vortex symphony, WVE International) (3000 rpm, 3 min) y posteriormente se ajustó el pH a 3 ± 0.05 con disoluciones de HCL 5 %. La mezcla se agitó por 15 minutos (Ultrasonic Cleaner 8890, Cole PARmer) y agitación (30 min) a 27 °C. Finalmente se centrifugó (2500 rpm, 15 min) (SOLBAT J-600, México). El sobrenadante se aforó a 10 mL con la disolución metanol/agua (4:1, v/v). Con la solución obtenida se cuantificaron los fenoles totales, flavonoides totales y capacidad antioxidante. Las muestras fueron analizadas por triplicado.

Determinación de fenoles totales

Se cuantificaron los fenoles totales mediante el método de Folin-Ciocalteu adaptado a microplacas (Singleton and Rossi, 1965). Las absorbancias fueron medidas a 760 nm. Los resultados se expresaron en miligramos de fenoles equivalentes a ácido gálico por gramo de muestra en base seca (mgEAC g_{bs}⁻¹).

Determinación de flavonoides

Los flavonoides totales fueron determinados de acuerdo con el procedimiento de Kubola and Siriamornpun (2011) adaptado a microplacas. Las mediciones se realizaron por cuadruplicado, los resultados se expresaron en miligramos equivalentes de catequina por gramo de muestra en base seca (mg EC g_{bs}⁻¹).

Ensayo FRAP

El ensayo de FRAP se llevó a cabo de acuerdo a lo descrito por Benzie and Strain (1996) adaptado a microplacas. Los resultados se expresaron en micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base seca (μmol ET g_{bs}⁻¹).

Ensayo DPPH

El ensayo de DPPH se realizó de acuerdo a la metodología descrito por Cheng *et al.* (2006) adaptado a microplacas.

Ensayo ABTS

El ensayo de ABTS se llevó a cabo mediante la metodología descrita por (Pellegrini *et al.*, 1999) adaptado a microplacas. Los resultados se expresaron en micromoles equivalentes de Trolox por gramo de muestra en base seca (μmol ET g_{bs}⁻¹).

Determinación de Vitamina C

El contenido de vitamina C fue determinado mediante el método de titulación oxido ion reducción de acuerdo con la AOAC, 967.21.

5.2.5 Evaluación sensorial

La prueba de aceptabilidad se llevó a cabo en el Laboratorio de evaluación sensorial del Departamento de Ingeniería Agroindustrial de la Universidad Autónoma Chapingo, se reclutaron a cien panelistas, los cuales realizaron una evaluación de la mermelada mediante una escala hedónica de nueve puntos.

5.3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

5.3.1 Fenoles totales

El CFT en fruto deshidratado se muestra en el Cuadro 6, se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas entre las cuatro accesiones de feijoa analizadas ($p \leq 0.05$), siendo la accesión A1 y A4 las que presentaron un mayor CFT (26.05 ± 1.07 y 23.63 ± 2.00 mg EAG g^{-1}_{bs} , respectivamente).

Elmatas *et al.* (2010) obtuvieron un rendimiento del CFT en fruto deshidratado del 13.17 %, esto puede deberse a las condiciones de temperatura a los que fueron sometidos durante el estudio. Las accesiones A1 y A4 son las que obtuvieron el mayor contenido de FT, en cáscara y pulpa deshidratada. Al igual que los fenoles existe mayor presencia de FT en cáscara que en pulpa.

El contenido fenólico total disminuyó en un 64% y el de flavonoides totales en un 55% respecto al contenido en el fruto liofilizado.

Contenido fenólico total(CFT), flavonoides totales (FT), capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP) y contenido de ácido ascórbico (AA) de frutos de *feijoa sellowiana* B.

		CFT	FT	ABTS	DPPH	FRAP	AA
	A	(mg EAG g _{bs} ⁻¹).	(mg EC g _{bs} ⁻¹).	(μmol ET g _{bs} ⁻¹).	(μmol ET g _{bs} ⁻¹).	(μmol ET g _{bs} ⁻¹).	(mg/g _{bs} ⁻¹)
Cáscara	A1	26.05 a ± 1.07	3.60 a ± 0.12	178.74 b ± 1.75	152.84 b ± 0.17	163.86 a ± 0.81	0.21 d ± 0.01
	A2	13.47 c ± 0.65	2.90 c ± 0.94	153.76 c ± 3.01	92.48 d ± 0.01	112.23 b ± 2.12	0.12 b ± 0.00
	A3	14.35 c ± 0.70	3.29 b ± 0.10	168.18 c ± 1.75	72.14 c ± 0.18	60.79 b ± 2.43	0.19 c ± 0.00
	A4	26.63 b ± 2.00	3.79 a ± 0.03	187.69 a ± 4.90	123.63 a ± 0.19	119.38 a ± 1.50	0.13 a ± 0.00
Pulpa	A1	10.04 a ± 0.39	1.34 b ± 0.04	95.61 b ± 1.17	50.58 c ± 0.17	56.99 a ± 1.76	0.12 c ± 0.01
	A2	4.78 c ± 0.43	0.66 c ± 0.86	91.35 c ± 2.20	30.03 d ± 0.17	34.88 b ± 1.35	0.08 b ± 0.01
	A3	4.70 c ± 0.25	0.78 c ± 0.13	78.27 b ± 1.17	33.16 b ± 0.18	37.73 a ± 1.60	0.11 c ± 0.01
	A4	13.03 b ± 0.53	1.87 a ± 0.01	97.70 a ± 1.80	64.67 a ± 0.18	60.65 a ± 0.65	0.09 a ± 0.01

Valores con letras iguales dentro de cada columna son similares estadísticamente (HSD de Tukey, (p≤0.05) ± desviación estándar.

El CFT y FT de los extractos de mermelada se encuentran en el cuadro 7. A pesar de que el fruto fue sometido a un proceso térmico durante la elaboración de la mermelada, se puede observar que aún presenta capacidad antioxidante. El proceso térmico de la mermelada redujo la concentración de vitamina C.

Cuadro 6. Contenido de fenoles totales (CFT), flavonoides totales (FT), capacidad antioxidante (ABTS, DPPH, FRAP) y contenido de ácido ascórbico (AA) de mermelada de *Feijoa sellowiana* B.

CFT (mg EAG g ⁻¹ _{muestra}).	1.86 ± 0.14
FT (mg EC g ⁻¹ _{muestra})	0.47 ± 0.05
ABTS (μmol ET g ⁻¹ _{muestra}).	1.43 ± 0.14
DPPH (μmol ET g ⁻¹ _{muestra}).	7.71 ± 0.56
FRAP (μmol ET g ⁻¹ _{muestra}).	11.75 ± 1.07
AA (mg/g _{bs} ⁻¹)	0.11 ± 0.00

5.3.2 Capacidad antioxidante

Se obtuvieron diferencias estadísticamente significativas en las cuatro accesiones de feijoa mediante los ensayos FRAP, ABTS y DPPH analizados para determinar la capacidad antioxidante (Cuadro 6). La A1 fue la que obtuvo la mayor capacidad antioxidante en cáscara y la A4 en pulpa.

Los datos de capacidad antioxidante fueron sometidos a una regresión lineal múltiple y un análisis de varianza donde la variable respuesta era la capacidad antioxidante y las explicativas el CFT, FT y vitamina C, obteniendo la siguiente Ecuación⁴:

capacidad antioxidante = 64.6 + 0.389 fenoles + 30.13 flavonoides – 15.7(4) vitamina C.

En el modelo anterior la variable explicativa que describe significativamente el modelo son los flavonoides totales. Por ello, se construyó un modelo de regresión lineal simple representado por la ecuación⁵:

$$\text{capacidad antioxidante} = 53.4 + 34.88 \text{ flavonoides. (5).}$$

5.3.3 Evaluación sensorial

Los datos que arrojaron las evaluaciones se analizaron con un diseño de bloques completamente al azar, y con la prueba de Tukey para obtener diferencias estadísticamente significativas, los resultados se encuentran en el Cuadro 8.

Cuadro 7 Evaluación sensorial de mermelada de *Feijoa sellowiana* B.

Tratamiento	Aceptabilidad
50:50	7.17 _a
60:40	6.92 _{ba}
70:30	6.58 _b

Debido a que el primer tratamiento (50:50) y el segundo (60:40) son estadísticamente iguales, lo cual quiere decir que fueron igualmente aceptados, se debe considerar el costo-beneficio que implica elaborarlos. Se recomienda el primer tratamiento ya que ocupa una menor cantidad de fruta, tomando en cuenta que no se está disponible durante todo el año y que su proceso de elaboración se encuentra estandarizado por el CODEX STAN 296-2009.

5.4 CONCLUSIONES

Se realizó el proceso de deshidratación y la elaboración de la mermelada con el fin de conservar la calidad nutrimental del fruto, debido a que los dos procesos requieren altas temperaturas si hubo una pérdida en cuanto a sus propiedades nutrimentales, sin embargo se recomienda la aplicación de nuevas metodologías que impliquen el uso de menor temperatura para que esas propiedades se mantengan intactas.

5.5 REFERENCIAS

Alvaro, A. H., & Guardia, J. (1992). *Conservación de frutos: manual técnico*. Mundi Prensa Libros SA.

Benzie, I. F., & Strain, J. J. (1996). The ferric reducing ability of plasma (FRAP) as a measure of "antioxidant power": the FRAP assay. *Analytical biochemistry*, 239(1), 70-76.

Cheng, Z., Moore, J., & Yu, L. (2006). High-throughput relative DPPH radical scavenging capacity assay. *Journal of agricultural and food chemistry*, 54(20), 7429-7436.

CODEx, S. STAN 296-2009. *Norma del codex para las confituras, jaleas y mermeladas, con trozos de frutas*.

Elmastaş, M., & Gedikli, F. (2010). Total phenolic compounds and antioxidant capacity of leaf, dry fruit and fresh fruit of feijoa (*Acca sellowiana*, Myrtaceae). *Journal of Medicinal Plants Research*, 4(11), 1065-1072.

Fellows, M. (1994). *Tecnología del Procesado de Alimentos*. Editorial Acibia. Zaragoza, España.

Kubola, J., & Siriamornpun, S. (2011). Phytochemicals and antioxidant activity of different fruit fractions (peel, pulp, aril and seed) of Thai gac (*Momordica cochinchinensis* Spreng). *Food chemistry*, 127(3), 1138-1145.

NMX-F-131-1982. Alimentos para humanos. frutas y derivados. mermelada de fresa. foods for humans. fruits and derivatives strawberry marmalade. normas mexicanas. dirección general de normas.

Re, R., Pellegrini, N., Proteggente, A., Pannala, A., Yang, M., & Rice-Evans, C. (1999). Antioxidant activity applying an improved ABTS radical cation decolorization assay. *Free radical biology and medicine*, 26(9), 1231-1237.

Singleton, V. L., & Rossi, J. A. (1965). Colorimetry of total phenolics with phosphomolybdic-phosphotungstic acid reagents. *American journal of Enology and Viticulture*, 16(3), 144-158.

Wang, W., Bostic, T. R., & Gu, L. (2010). Antioxidant capacities, procyanidins and pigments in avocados of different strains and cultivars. *Food Chemistry*, 122(4), 1193-1198.

CONCLUSIONES GENERALES

En la caracterización fisicoquímica de las cuatro accesiones de *Feijoa sellowiana* Berg. analizadas el extracto libre de nitrógeno y la humedad total fueron los principales componentes. La cáscara de feijoa presentó una mayor capacidad antioxidante que en la pulpa, por lo cual se podría considerar como fuente en ingredientes de productos nutraceuticos en la industria alimentaria.

El perfil de ácidos grasos de los esteres metílicos del aceite extraído de las semillas de feijoa contienen un 69.4 % de ácidos grasos insaturados siendo el ácido linoleico con un 46.23 % el principal componente del aceite, por lo tanto podría ser una buena fuente de ácidos grasos con beneficio a la salud.

La caracterización del aceite esencial de la cáscara mostró como compuestos principales al benzoato de isobutilo y al oxido de cariofileno por lo cual podría decirse que son los que proporcionan el aroma característico del fruto sin embargo se recomienda seguir indagando en la composición del aceite de los frutos cultivados en México.

Durante el procesamiento del fruto fresco, los compuestos bioactivos del mismo se perdieron en aproximadamente un 50 % esto puede deberse al proceso térmico que sufrieron durante su elaboración. Sin embargo la mermelada de feijoa obtuvo una buena aceptación en el consumidor.