



INSTITUTO TECNOLÓGICO DE MÉRIDA

TESIS

**Í CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLÁTIL POR LIKENS-
NICKERSON-CG/EM Y HS-SPME-CG/EM DE TRES VARIEDADES
DE CIRUELAS (*Spondias purpurea* L.) CULTIVADAS EN YUCATÁNÍ**

PARA OPTAR AL GRADO DE:

MAESTRÍA EN CIENCIAS DE LOS ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA

PRESENTA:

IBQ. GEORGINA BEATRIZ EUÁN CANUL

ASESOR:

DR. LUIS FERNANDO CUEVAS GLORY

MÉRIDA, YUCATÁN, MÉXICO.

28 DE JUNIO DE 2013

DEPENDENCIA: DIV. DE EST. DE POSG. E INV.
Oficio N° X/0177/2013

MÉRIDA, YUCATÁN A 03 DE JUNIO DE 2013

ASUNTO: SE AUTORIZA IMPRESIÓN

**C. GEORGINA BEATRIZ EUÁN CANUL
PASANTE DE MAESTRIA EN CIENCIAS DE
LOS ALIMENTOS Y BIOTECNOLOGÍA
P R E S E N T E.**

De acuerdo al fallo emitido por su asesor El Dr. Luis Fernando Cuevas Glory, y la comisión revisora integrada por El Dr. Enrique Sauri Duch, La Dra. Elizabeth de la Luz Ortiz Vázquez, y el Dr. Gabriel Lizama Uc, considerando que cubre los requisitos establecidos en el Reglamento de Titulación de los Institutos Tecnológicos le autorizamos la impresión de su trabajo profesional con la TESIS:

**“CARACTERIZACIÓN DE LA FRACCIÓN VOLÁTIL POR LIKENS-NICKERSON-CG/EM Y HS-SPME-CG/EM DE
TRES VARIEDADES DE CIRUELA (*Spondias purpurea* L.) CULTIVADAS EN YUCATÁN”**

ATENTAMENTE
IN HOC SIGNO VINCES


M.C RAMIRO ALPIZAR CARRILLO.
JEFE DE LA DIVISION DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN

RAC/ljaa


S. E. P.
INSTITUTO TECNOLÓGICO
DE MÉRIDA
DIVISION DE ESTUDIOS DE
POSGRADO E INVESTIGACION



SEP Instituto Tecnológico de Mérida, Km.5 Carretera Mérida-Progres A.P 911
C.P.97118 Mérida Yucatán, México, Tels. 964-50-00, Ext. 10001, 10401
10601, 10201 e-mail:itm@itmerida.mx http://www.itmerida.mx



RECONOCIMIENTO
A LA CALIDAD SEP
2012
100 POR CIENTO EN
SUS PROGRAMAS DE
BUENA CALIDAD



GL System Certification



RECONOCIMIENTO
NIEG-2003

AGRADECIMIENTOS

A todos los profesores que han contribuido y permitido realizar esta Tesis, por los medios técnicos que han puesto a mi disposición, por el apoyo y por la confianza que mostraron en mí, sobre todo a mi asesor de Tesis: Dr. Luis Fernando Cuevas Glory Investigador en el Laboratorio de Instrumentación Analítica en la División de Estudios de Posgrado en el Instituto Tecnológico de Mérida, por la asesoría, proporcionarme las herramientas y comentarios adecuados para la elaboración de esta tesis.

Al sínodo de revisión de tesis; la Dra. Elizabeth de la Luz Ortiz Vázquez Investigadora del área de Microbiología aplicada y Molecular en la División de Estudios de Posgrado en el Instituto Tecnológico de Mérida; al Dr. Enrique Sauri Duch Investigador en el Laboratorio de Instrumentación Analítica en la División de Estudios de Posgrado en el Instituto Tecnológico de Mérida; y el Dr. Gabriel Lizama Uc Investigador en el Laboratorio de Biotecnología Molecular División de Estudios de Posgrado.

A la M. en C. Rocío Ruenes Investigadora del área de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias por su apoyo, ayuda y por proporcionarme las herramientas y comentarios adecuados para la identificación taxonómica del fruto de ciruela.

A los Laboratorios de Instrumentación Analítica de División de Estudios de Posgrado en el Instituto Tecnológico de Mérida.

Al Programa de Impulso y Orientación a la Investigación (DGEST 20011-20012) por el apoyo económico en la realización de la primera parte de esta tesis.

Al programa de Apoyo a la Investigación (CONACYT 2012-2013) por el apoyo económico para la realización de esta tesis.

Agradezco a toda mi familia, a mi padre aun que ahora no cuento con su presencia física pero siempre se encuentra presente en todos mis logros y desafíos; a todos mis seres queridos, amigos y familiares por su constante ayuda con su tiempo, apoyo y consejos para realizar esta maestría.

A DIOS, por ponerme en este camino y enseñarme con sus palabras que sólo se nos conceden cargas que nuestros hombros puedan soportar.

A mis hijos, por saber aprovechar y ser pacientes cuando había poco tiempo para compartir en familia.

“Nunca digas adiós, si todavía quieres tratar. Nunca te des por vencido si sientes que puedes seguir luchando. Nunca le digas a una persona que ya no la amas, si no puedes dejarla ir. El amor llega a aquel que espera, aunque la hallan decepcionado; a aquel que aun cree, aunque haya sido traicionado: aquel que todavía necesite amar y aquel que tiene coraje y la fe para construir la confianza de nuevo” (Madre Teresa de Calcuta).

A todos, estoy por siempre agradecida

Georgina Beatriz Euán Canul

RESUMEN

En la península de Yucatán se conoce una gran variedad de frutas tropicales de consumo tradicional de las cuales no hay información acerca del aroma de las mismas. Tres variedades pertenecientes a la especie *Spondias purpurea* L. de la familia Anacardiaceae Lindl fueron elegidas para su estudio, ya que se les considera de alto potencial económico debido a que estos frutos son a menudo baratos, poseen cualidades organolépticas y nutricionales, un alto aporte de sustancias no nutritivas tales como colorantes (pigmentos) y tienen una amplia demanda para su consumo en fresco en los mercados locales. En el presente trabajo se analizaron los compuestos volátiles de la pulpa de fruta de de las variedades *Campech abal*, *Chi abal* y *Ek abal* clasificadas como *Spondias purpurea* L. empleando dos métodos de extracción: 1) Destilación-Extracción simultánea (DES), con un Equipo Likens-Nikelson y 2) Micro extracción en Fase Sólida (SPME, por sus siglas en inglés).

Por la técnica DES el éster Butirato de etilo fue identificado como compuesto característico de la variedad *Chi abal* y el éster Acetato de etilo para las variedades *Ek abal* y *Campech abal*.

Para la técnica de extracción HS-SPME, el aldehído Hexanal fue identificado como compuesto característico para las variedades *Chi abal* y *Ek abal*, en la variedad *Campech abal* el Alcohol 1 hexanol fue el compuesto predominante.

Palabras clave: Compuestos volátiles, ciruela, *Spondias*, DES, HS-SPME

ABSTRACT

In the Yucatan, it's known a variety of traditional consumer tropical fruits of which no information regarding the aroma is available. Three species of these fruits were chosen for study their volatile compounds: *Spondias purpurea* L. (Mexican plum) of the family Anacardiaceae Lindl. It's a fruit considered with high commercial potential since are often extremely cheap and possess organoleptic and nutritional qualities, as well as other substances not considered nutritious such as dyes (pigments). Additionally, has a wide demand for fresh consumption in the markets near the production areas. In this study it was extracted the volatile compounds from fruit pulp from three varieties of the species *Spondias purpurea* L. (Mexican plum) using two extraction methods: 1) simultaneous distillation-extraction (DES) with a Likens-Nikelson equipment and 2) Solid Phase Micro Extraction (SPME).

By using DES extraction technique, the Ethyl butyrate was the characteristic compound for the variety *Chi abal*; on the other hand Ethyl acetate was the common characteristic compound for the varieties *Ek abal* and *Campech abal*.

By using HS-SPME extraction technique, the Hexanal aldehyd was identified as the characteristic compound in the varieties *Chi abal* and *Ek abal*, and 1-hexanol Alcohol was the most important compound in the *Campech abal*.

Keywords: Volatile compounds, plum, Spondias, DES, HS-SPME

ABREVIATURAS

CG: Cromatógrafo de gases o cromatografía gases, según el contexto.

CG-MS: Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas.

HS: Espacio de cabeza (*Headspace*)

HS-SPME: Microextracción en Fase Sólida del espacio de cabeza.

PDMS: Polidimetilsiloxano.

PDMS/DVB/CAR: Polidimetilsiloxano/divinilbenceno/Carboxen

SDE: Destilación-Extracción Simultánea.

NIST: Instituto Nacional de Estándares y Tecnología.

FID: Detector de ionización de llama (Flame Ionization Detector)

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
Agradecimientos	i
Resumen	iii
Abstract	iv
Abreviaturas	v
Índice de contenido	vi
Índice de tablas	ix
Índice de figuras	xi
I. INTRODUCCIÓN	1
II. JUSTIFICACIÓN	4
III. OBJETIVOS	5
3.1. Objetivo General	5
3.2. Objetivos Específicos	5
IV. ANTECEDENTES	6
4.1 Descripción del género <i>Spondias</i>	6
4.2. Descripción taxonómica de la especie <i>Spondias purpurea</i> L.	7
4.3. Ciruela (<i>Spondias purpurea</i> L.) en México	8
4.4. Características fisicoquímicas de <i>Spondias purpurea</i> L.	12
4.5 Color (brillo, intensidad de color y ángulo de tono)	12
4.6. Usos de <i>Spondias purpurea</i> L.	13
4.7. El aroma en las frutas	15
4.8. Cromatografía	16
4.9. Cromatografía de Gases (CG)	16
4.10. Espectrometría de masas (EM)	17
4.11. Cromatografía de gases acoplada a espectrometría de masas (CG/EM)	18
4.12. Técnicas de extracción y concentración de volátiles	18
4.12.1. Destilación extracción con solvente simultanea (DES) con equipo <i>Likens- Nickerson</i>	20
4.12.2. Microextracción en fase sólida de espacio de cabeza	

(HS-SPME)	20
4.12.2.1 Procedimiento de la HS-SPME	22
4.13. Identificación cualitativa y cuantitativa de los compuestos volátiles	26
V. MATERIALES Y METODOS	28
5.1. Recolección del material vegetal	29
5.2. Identificación taxonómica de la planta y frutos	30
5.3. Colecta de los frutos de ciruela (<i>Spondias purpurea</i> L.)	30
5.4. Correlación del estadio de maduración de la pulpa de ciruela mediante parámetros fisicoquímicos	31
5.4.1. Sólidos solubles totales (SST) medido en grados Brix	31
5.4.2 Color (brillo, intensidad de color y ángulo de tono)	32
5.4.2. Tono o matiz	32
5.4.3. Determinación de acidez titulable (AT)	32
5.4.4. Índice de madurez (SST/ATT)	32
5.4.5. Análisis estadístico	33
5.5. Condiciones Cromatograficas (GC/EM)	33
5.6. Destilación extracción simultanea (DES o <i>Likens- Nickerson</i>)	34
5.7. Microextracción en fase solida en el modo espacio de cabeza (HS-SPME)	36
5.7.1. Etapa de extracción	36
5.7.2. Etapa de desorción	37
VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	38
6.2. Parámetros Fisicoquímicos para la selección de las tres variedades	38
6.2.1. Sólidos solubles totales (SST) expresado en °Brix de los frutos	38
6.2.2. Color (Luminosidad *L y el tono) del epicarpio de los frutos	39
6.2.3. Porcentaje de acidez de los frutos	40
6.2.4. Índice químico de madurez (SST/AT)	41

6.3. Identificación cualitativa y cuantitativa de la fracción volátil en los extractos de ciruela (<i>Ek abal, Chi abal y Campech abal</i>) por DES-CG/EM y HS-SPME-CG/EM	42
VII. CONCLUSIONES	58
VIII. RECOMENDACIONES	60
IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	61
ANEXOS	67

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Regiones productoras más significativas de México	11
Tabla 2. Análisis de micronutrientes del fruto de la ciruela <i>chi abal</i> , (<i>Spondias purpurea</i> L.) en madurez comestible	12
Tabla 3 Criterios para la clasificación de la maduración de <i>Spondias purpurea</i> L. ciruela (<i>chi abal</i> , <i>campech abal</i> y <i>ek abal</i>)	31
Tabla 4. Sólidos solubles totales de la pulpa de los frutos maduros de ciruelas (<i>Spondias purpurea</i> L.)	38
Tabla 5. Valores de Luminocidad *L, *a, *b y tono de la cáscara de los tres variedades de ciruelas evaluadas	39
Tabla 6. Acidez total titulable (ATT) % de acidez de los frutos maduros	40
Tabla 7. Índice de madurez IM de las tres variedades de ciruelas evaluadas	41
Tabla 8. Compuestos volátiles identificados en ciruela <i>Campech abal</i> , <i>Ek abal</i> , <i>Chi abal</i> comparados mediante los dos métodos de extracción DES/CG/EM Y HS-SPME/CG-EM.	52
Tabla 1.1 Lista de compuestos de la variedad <i>Campech abal</i> por el método HS/SPME y GC/MS	68
Tabla 1.2 Lista de compuestos de la variedad <i>Chi abal</i> por el método HS/SPME y GC/MS	69
Tabla 1.3. Lista de compuestos de la variedad <i>Ek abal</i> por el método HS/SPME y GC/MS	71
Tabla 1.4. Lista de compuestos de la variedad <i>Campech abal</i> por el método DES y GC/MS	72
Tabla 1.5. Lista de compuestos de la variedad <i>Ek abal</i> por el método DES y GC/MS	75
Tabla 1.6 Lista de compuestos de la variedad <i>Chi abal</i> por el método DES y GC/MS	77

Tabla 1.7. Comparación de compuestos identificados en la variedad *Campech abal* mediante SDE-CG/EM Y HS-SPME CG/ CG 80

Tabla 1.8 Comparación de compuestos identificados *Spondias purpurea* L. mediante dos métodos de aislamiento (SDE-CG/EM Y HS-SPME/ CG) para la variedad *Chi abal* 83

Tabla 1.9. Comparación de compuestos identificados *Spondias purpurea* L. mediante dos métodos de aislamiento (SDE-CG/EM Y HS-SPME/ CG) para la variedad *Ek abal* 86

ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Árbol de <i>Spondias purpurea</i> L. en etapa de fructificación (Tomada en el municipio de Hocabá, Yucatán, México).	8
Figura 2. Clasificación de la nomenclatura botánica <i>S. purpurea</i> L. de acuerdo a la gramática maya (Ruenes, 2010).	10
Figura 3. Dispositivo de SPME (Mestres <i>et al.</i> , 2000).	22
Figura 4. Etapa de absorción de los analitos en la fibra de HS/SPME (Riu, 2005).	24
Figura 5. Se observa un <i>vial</i> utilizado para el análisis <i>headspace</i> . Donde %S+ representa la fase condensada de la muestra y %G+ corresponde al espacio de cabeza (HS).	24
Figura 6. Etapa de desorción térmica de los analitos en la fibra de SPME (Riu, 2005).	25
Figura 7. Diagrama de flujo de la metodología aplicada para el análisis de los compuestos volátiles por las técnicas HS-SMPE y Likens-Nickerson.	28
Figura 8. Localización del área de estudio de los <i>abales</i> <i>Spondias purpurea</i> L. (Anacardiaceae) en el municipio de Hocabá, Yucatán, México.	29
Figura 9. Variedades seleccionadas de ciruelas (<i>Spondias purpurea</i> L.) en el municipio de Hocaba de Mérida Yucatán, México (A) <i>Ek abal</i> , (B) <i>Campech abal</i> y (C) <i>Chi abal</i> .	30
Figura 10. Equipo utilizado para la extracción de la fracción volátil de la pulpa de ciruela <i>Chi abal</i> , <i>Ek abal</i> y <i>Campech abal</i> por el método Likens y Nickerson.	35
Figura 11. Equipo utilizado para el equilibrio y extracción de los compuestos volátiles de las tres variedades de ciruelas.	36
Figura 12. Cromatogramas obtenidos por DES-CG/EM DE: a) <i>Campech abal</i> , b) <i>Ek abal</i> , c) <i>Chi abal</i> .	45
Figura 13. Cromatogramas obtenidos por HS-SPME-CG/EM DE: a) <i>Campech abal</i> , b) <i>Ek abal</i> , c) <i>Chi abal</i> .	46

Figura 14. Porcentajes de los grupos químicos en la variedad <i>Ek abal</i> comparando los dos métodos de extracción HS-SPME Y DES.	48
Figura 15. Porcentajes de los grupos químicos en la variedad <i>Chi abal</i> comparando los dos métodos de extracción HS-SPME Y DES.	49
Figura 16. Porcentajes de los grupos químicos en la variedad <i>Campech abal</i> comparando los dos métodos de extracción HS-SPME Y DES.	50

I. INTRODUCCIÓN

Las frutas constituyen un grupo de alimentos indispensables para el equilibrio de la dieta humana especialmente por su aporte de fibra y vitaminas. La gran diversidad de las especies con sus distintas propiedades organolépticas y las diferentes formas de prepararlas, hacen de ellas productos de una gran aceptación por parte de los consumidores (Astiasaán, 2000).

Existe una gran variedad de frutas tropicales, que a excepción de la piña y la banana, eran hasta hace poco tiempo desconocidas, estas frutas nos llaman la atención y nos sorprenden con sus exóticas formas, sus vivos colores, su peculiar aroma y su delicioso y singular sabor. De igual forma es importante resaltar la industria de los aromas siendo necesario aportar en el conocimiento diversificando y ampliando el espectro de frutas utilizadas, en pro del conocimiento científico con el fin de darle un uso apropiado a la biodiversidad de este tipo de frutas.

La familia de las Anacardiaceae Lindl es una familia moderadamente grande, incluye unas 600 especies que se encuentran principalmente en zonas tropicales de todo el mundo. Aunque también hayan algunas representantes en zonas templadas, estos pertenecen sólo a unos cuantos géneros (por ejemplo, *Rhus*, *Toxicodendro*, *Cotinus*) (Martínez-Millán, 2005). En la familia no se presentan estípulas y la estructura de la flor es casi uniforme, con un distinguible disco carnosos y secretor de néctar en la base de los estambres. Esto sugiere que la polinización se realiza por pequeños insectos (Cabrera, 2000). Es de especies tropicales, las cuales son más abundantes en el sur de Asia, con cerca de 80 géneros y 600 especies; estas especies son de considerable importancia económica como fuentes de fruto evidencian amplias potencialidades económicas, debido a la calidad de sus frutos, entre estos se encuentran las especies *Mangifera indica* L. "mango", *Anacardium occidentale* L. "mamey" "arañón", *Pistacia vera* "Pistacho", entre otras; (Guerrero *et al.*, 2011); nueces, tintes, taninos, lacas, ceras, barnices y maderas comerciales. El exudado resinoso es común en la corteza interna. Las anacardiáceas incluyen muchas especies con activos fenoles alcalinos que pueden producir dermatitis al contacto con la piel.

I. INTRODUCCIÓN

La susceptibilidad varía considerablemente; así, la cáscara del fruto del mango, es inofensiva a mucha gente pero puede producir una reacción alérgica en otros.

En México podemos encontrar las especies: *S. purpurea* L.; *S. mombin* L. Y *S. radlkoferi*, aunque esta última fue considerada por Blackwill (citado por Croat, 1974) como un sinónimo de *S. mombin*, ahora se sabe que se trata de otra especie. Las especies *S. radlkoferi* y *S. mombin* difieren en algunas características tales como épocas de floración y fructificación, color del fruto, forma del endocarpio, textura de la corteza, pubescencia del cáliz, forma de la yema floral, número de estilos, anchos del disco y tipo de pubescencia. En nuestro país se cultiva principalmente *S. purpurea* y en menor escala *S. mombin*, en la península de Yucatán existe una amplia distribución de las variantes de *S. purpurea* (*abal*), esto se debe en parte a que es un elemento florístico de la selva baja caducifolia (Rzedowski y Rzedowski 1999), pero también a la importancia que representa para la cultura maya (Colunga *et al.*, 1992), consideran que *S. purpurea* es una especie exclusivamente cultivada y que su pariente silvestre es *S. mombin*.

Con relación a su preferencia en Yucatán los campesinos prefieren las variantes de *S. purpurea* (*abal*) en función del gusto personal por distintos atributos de la fruta como el sabor, color del fruto que llama la atención no solo por el grado de dulzor (cantidad de azúcares) (Ruenes-Morales, 2010). En la figura 1 se puede observar una imagen en donde se aprecian las características en cuanto a color y forma de las flores y fruto de *Spondias purpurea*.

En relación a estos atributos el aroma presenta gran importancia ya que tiene un papel decisivo en la aceptación o rechazo de los alimentos, por lo que puede considerarse un atributo fundamental de calidad. Antes incluso de la degustación, el aroma, junto con el aspecto visual, determina la apetencia por el alimento (Sauri, 2003). Durante el consumo de éste, por otra parte, la impresión producida es, fundamentalmente, el resultado de dos sensaciones conjuntas que se perciben simultáneamente: el sabor y el aroma (Sauri, 2003). Las interacciones entre sabor, olor y textura se integran bajo la palabra inglesa *flavor*, que las globaliza, la cual fue admitida al español sin adecuaciones (Quijano, 2004). Sin

I. INTRODUCCIÓN

embargo, y a pesar de que el aroma y el sabor están íntimamente relacionados entre sí, parece ser que el primero, el cual se percibe a través del sentido del olfato, tiene mucha más importancia, ya que sin el concurso del aroma, la sensación global o flavor se reduciría prácticamente a la percepción de los sabores primarios dulce, salado, amargo y ácido (Sauri, 2003).

Este perfil aromático característico de las frutas depende de una mezcla compleja de compuestos químicos que se va formando durante la maduración del fruto, a través de distintas rutas bioquímicas a partir de precursores de las plantas. El desarrollo de los aromas en las frutas tiene lugar durante el climaterio, que es el periodo eficaz del proceso madurativo. Pequeñas cantidades de hidratos de carbono, lípidos, proteínas y aminoácidos se catabolizan y dan lugar a distintos compuestos volátiles. La velocidad de formación de estas sustancias aumenta después del inicio del climaterio y el proceso continúa tras la recolección de la fruta hasta que comienza la senescencia (Riu, 2005).

En general, los constituyentes volátiles se encuentran en concentraciones muy bajas y contribuyen al aroma global en grados muy diversos, no solo en función de su naturaleza química, sino también de su concentración (Pino, 1995). De aquí la necesidad de usar técnicas de aislamiento y concentración que garanticen el análisis de una composición química semejante a la de la fruta. La técnica utilizada por excelencia para el análisis de los compuestos volátiles del aroma es la cromatografía de gases, ya que permite efectuar más fácilmente la separación, identificación y la determinación cualitativa y cuantitativa de las sustancias presentes en el extracto de una matriz compleja.

En el presente trabajo se estudiarán los extractos de la fracción volátil obtenidos de tres frutas tropicales: ciruelas *Ek abal*, *Campech abal* y *Chi abal*, (*Spondias purpurea* L.), mediante las técnicas de extracción Likens-Nikerson y micro extracción en fase sólida en el modo *headspace* (HS-SPME, por sus siglas en inglés) y su análisis por la técnica de Cromatografía de Gases acoplado a Espectrometría de Masas (CG-EM) para contribuir al conocimiento de algunos de los parámetros que pudieran ser utilizados para definir la calidad y caracterizar la fracción volátil de las tres variedades elegidas de *Spondias*.

II. JUSTIFICACIÓN

A pesar que las ciruelas mexicanas se encuentran en la mayor parte de los estados del país, en la mayoría de los trabajos que se encuentran en la bibliografía en referencia al conocimiento de las ciruelas se ha limitado a su aspecto físico y morfológico principalmente; No obstante que los frutos de *S. purpurea* son relativamente pequeños, su sabor, color, y valor nutrimental revelan que es un fruto con calidad aceptable en comparación con los frutos producidos por especies frutales más importantes en el mundo, ya que las ciruelas son una fuente importante de azúcares y minerales, y probablemente de ácido ascórbico, ya que comúnmente la acidez de los frutos es debido a la presencia de este ácido y a la aceptación popular sin embargo, sólo algunos estudios informan de la composición volátil de esta fruta en alguna de sus diferentes variedades y distintas regiones; en el presente trabajo se pretende contribuir con el estudio de la fracción volátil empleando dos métodos de extracción DES y HS-SPME y posterior identificación y determinación cuantitativa de los compuestos que contribuyen al aroma de las tres variedades de ciruelas: *Ek abal*, *Campech abal* y *Chi abal* del género *Spondias purpurea* L., de la familia Anacardiaceae, producidas y de interés comercial en la península de Yucatán; ya que para realizar este tipo de análisis es necesario el aislamiento y concentración de los volátiles que suelen ser bajos por lo que se obtiene una fracción pequeña de los mismos haciendo compleja su identificación y cuantificación por ellos es necesario el empleo de un método de extracción adecuado.

III. OBJETIVOS

3.1. OBJETIVO GENERAL

Extraer la fracción volátil de tres frutas de la Península de Yucatán, de la especie *Spondias purpurea* L. de la familia Anacardiaceae; ciruelas *Ek abal*, *Campech abal* y *Chi abal*, por los métodos Destilación-Extracción simultánea (DES), con un Equipo Likens-Nikerson y Micro extracción en fase sólida con espacio de cabeza (HS-SPME) e identificar la fracción volátil con un cromatógrafo de gases (CG) acoplado a un espectrómetro de masas (EM).

3.2. OBJETIVOS ESPECIFICOS

- 1.-Extraer el aroma de ciruelas *Ek abal*, *Campech abal* y *Chi abal*, (*Spondias purpurea* L.) por los métodos Likens-Nikerson y HS-SPME.
- 2.-Realizar el análisis cualitativo de la fracción volátil de ciruelas (*Spondias purpurea* L.), por CG acoplado a un EM.
- 3.-Realizar el análisis cuantitativo de los compuestos identificados en la fracción volátil de las tres variedades de ciruelas *Ek abal*, *Campech abal* y *Chi abal*, (*Spondias purpurea* L.), por el método HS-SPME/CG-EM y Likens-Nikerson/CG-EM.
- 4.- Comparar la fracción volátil de las ciruelas *Ek abal*, *Campech abal* y *Chi abal*, (*Spondias purpurea* L.), obtenidas por los métodos HS-SPME/CG-EM y Likens-Nikerson/CG-EM.

IV. ANTECEDENTES

4.1 Descripción del género *Spondias*

El género *Spondias*, es originaria de Mesoamérica, pertenece al orden Sapindales, familia Anacardiaceae, comúnmente conocida como ciruela o ciruelo, las *Spondias* son uno de los géneros más importantes de la familia Anacardiaceae; varias de sus especies tienen potencial para la explotación agroindustrial (De Souza *et al.*, 2007). El género *Spondias* se estableció como tal por Linneo en 1753, basado en *Spondias mombin* L., una especie nativa de América tropical. Posteriormente se conocieron *Spondias purpurea* L. también de América tropical, y *Spondia cytherea* Sonner, de Mascareñas y las regiones del pacífico, en donde se cultiva ampliamente (Airy Shaw y Forman, 1967).

En la cueva La Changuera en el estado de Morelos, Morett y Ruiz (1997) identificaron el material como *S. purpurea* forma *rubra* con una antigüedad de más de 2000 años. Miller y Schaal (2005) aportaron evidencia de que el proceso de domesticación de *S. purpurea* tuvo un centro importante en la península de Yucatán. Por su parte, Zizumbo y Colunga-García (2008), señalan que las poblaciones domesticadas tienen reducida capacidad de reproducción sexual debido a la propagación vegetativa recurrente y que bajo domesticación muestran gigantismo y cambios en la coloración de los frutos de rojo a amarillo y verde, lo cual reduce su posibilidad de dispersión por aves. Las especies *Spondias mombin*, *S. radolkoferi* y *S. purpurea* son nativas de México y forman parte de los bosques tropicales subcaducifolios, bosques de galería y bosques tropicales caducifolios, respectivamente (Rzedowski y Rzedowski, 1999).

En las *Relaciones Histórico-Geográficas de Yucatán* (1581) los cronistas señalan que las plantas de *S. purpurea* (ciruelas-Abal) se encontraban en la vegetación natural y cultivadas en sus casas. En Landa (1566) se menciona que hay gran cantidad y diversidad de ciruelas de diferente color y gusto de las de España, que se llaman aval [*abal*]; son casi moradas son árboles que cuando echan el fruto pierden la hoja y mientras les duran están sin ella; echan la fruta

IV. ANTECEDENTES

pegada al mismo árbol+ también hay cinco variedades de ciruelas y la mejor de ellas es la morada que llaman zabacabal [*sabakabal*] y otra muy buena que llaman xchiabal [*ixchiq-bal*] que son verdes cuando maduran y tienen la pepita chica; las demás no son buenas+ Además se describen remedios empíricos para mitigar alguna dolencia como el *pató*+ para el que se empleaban los frutos de la segunda cosecha del *abal* (Ruenes *et al.*, 2010).

4.2. Descripción taxonómica de la especie *Spondias purpurea* L.

Es un árbol que alcanza los 15 m de altura (Figura 1), caducifolio, polígamo-dioico, con hojas compuestas imparipinnadas con una vaina intermarginal. Las flores son pequeñas de colores variados (blanco verdoso, rosa, púrpura o rojo intenso), arregladas en racimos cortos. Los frutos son una drupa generalmente anaranjada, roja, café-rojizacio de color morado y en algunas variantes amarilla, oblongo-cilíndrica; sabor agradable (dulce-ácida); la semilla es amarilla y fibrosa (Kostermans, 1991). Con frecuencia se le confunde con *S. mombin*, especie que posee hojas de 25- 30 cm de largo y panículas terminales de 15-40 cm de largo, mientras que *S. purpurea* tiene hojas de 15-20 cm de largo y flores arregladas en pequeños racimos axilares <8 cm de largo. Los estambres son desiguales, más cortos (3 mm) que los pétalos, las anteras estériles en las flores femeninas y el gineceo está reducido en las flores masculinas (Rzedowski y Rzedowski, 1999).



Figura 1. Árbol de *Spondias purpurea* L. en etapa de fructificación (Tomada en el municipio de Hocabá, Yucatán, México)

4.3. Ciruela (*Spondias purpurea* L.) en México

La ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L.) tiene su origen en el sur de México y Centroamérica, y se distribuye hasta Perú y Brasil, donde se le ha encontrado tanto de manera silvestre como cultivada (Morton, 1987). La fruta de ciruela mexicana es una fruta tropical que se destaca por ser perecedera, tener sabor exótico y aceptación cada vez mayor en el mercado (Sousa *et al.*, 2000; Díaz- Perez *et al.*, 1998).

La ciruela (*Spondias purpurea* L.), puede ser considerada como un recurso valioso para las áreas tropicales y subtropicales de México por su valor como especie frutal y forestal (Pimienta y Ramírez, 2004). Las semillas de *S. mombin* y *S. purpurea* son dispersadas por murciélagos frugívoros (Sousa-Novelo, 1949; Sánchez, 1978; León, 1987). La planta crece sobre sustratos pedregosos, ya que presenta un enraizamiento superficial y no requiere de grandes precipitaciones

IV. ANTECEDENTES

para su crecimiento. El nombre vernáculo de *S. purpurea* más generalizado en México es ciruelo o ciruela mexicana, pero entre diversos grupos étnicos del país se han registrado distintos nombres, como *cuaripa* en el estado de Jalisco; *ten* en San Luis Potosí; *xocobitl* en Morelos; *chatsutsoco-scatann* en Veracruz; *biaxhi*, *biagi*, *piache*, *yaga-yeche*, en Oaxaca; *huitzó*, *cutzuhuitzó*, *putzohuitz* en Chiapas; *campech abal*, *ek abal*, *hahaqal abal*, *hondura abal*, *huhi abal*, *ix houen*, *kekqen abal*, *sabac abal*, *tuspana abal*, *xcan abal*, *xi abal*, *xkqni abal*, *xkusmil abal*, *xuntura abal* en Campeche, Quintana Roo y Yucatán (Sousa-Novelo, 1949).

En México, se cuenta con una amplia variedad de ciruelas cultivadas y en las poblaciones yucatecas se reconocen 10 con distintos fenotipos en frutos, tiempos de cosecha, siembra entre otros (Ruenes *et al.*, 2010). Esta especie es empleada en la alimentación de las comunidades locales, lo que subraya su importancia para la población yucateca. Adicionalmente las cualidades de sus frutos y fenología hacen que se reconozcan distintos fenotipos bajo diferentes nombres mayas sin embargo los mayas reconocen a *S. purpurea* como una unidad taxonómica (*abal*), que agrupa a tres clases principales de acuerdo con el periodo en que se cosechan sus frutos: 1) secas (*yaxkim abal*), 2) lluvias (*hahal abal*) y 3) finales de lluvias (*keel abal*). Pero la clasificación maya también considera los diferentes usos de los *abales* tal como se aprecia en la (Figura 2) (Ruenes, 2010).

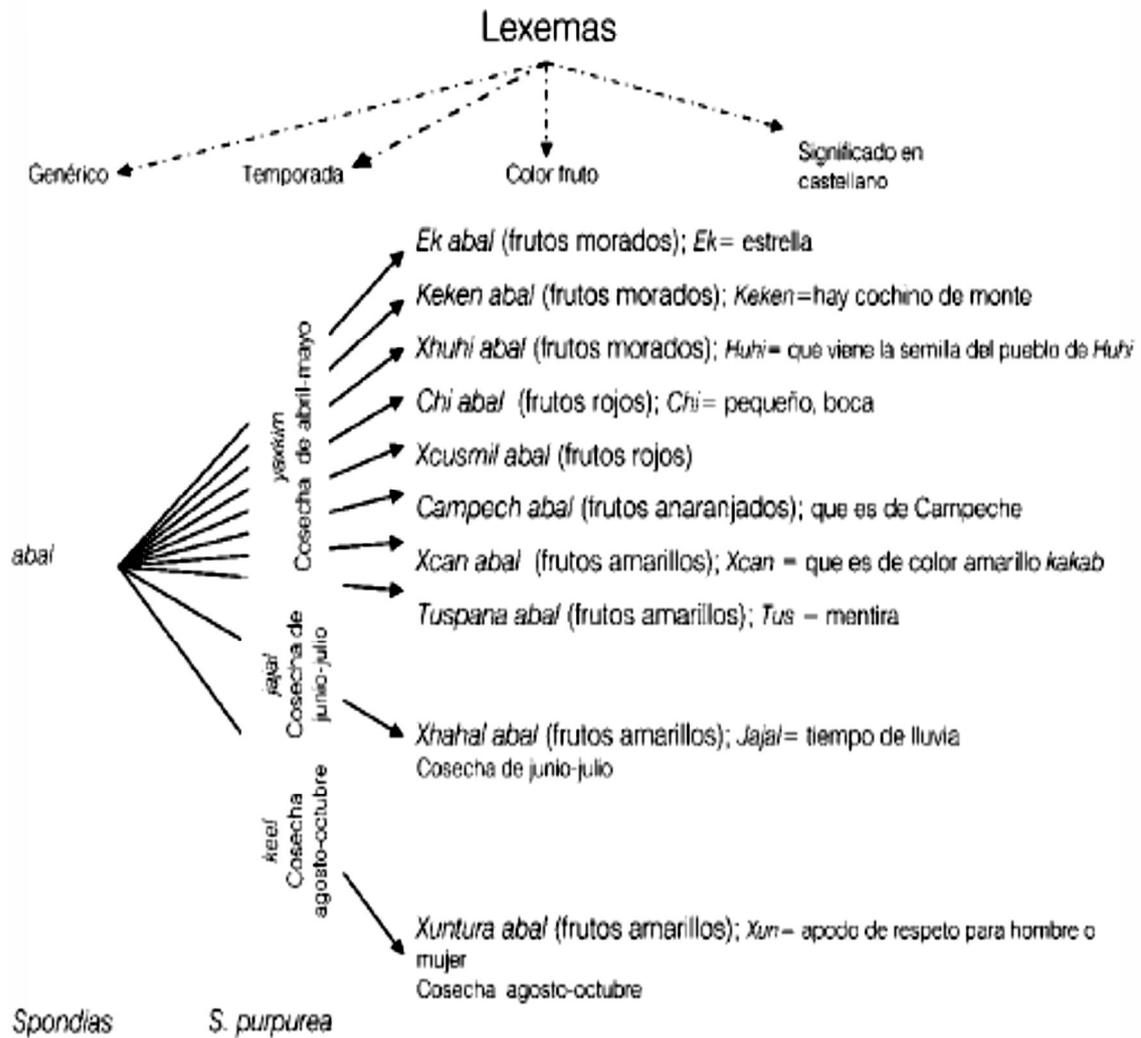


Figura 2. Clasificación de la nomenclatura botánica *S. purpurea* L. de acuerdo a la gramática maya (Ruenes, 2010).

IV. ANTECEDENTES

El número de frutos por árbol grande y frondoso (de 1 a 1.5 m de altura) es de 1500 a 1600 ciruelas, la temporada de floración se ubica entre los meses de febrero y marzo, la temporada de cosecha es de abril a mayo, la recolección es manual, bajando el fruto del árbol, ya que los frutos que caen al suelo (aproximadamente un 35% de la producción) antes de la cosecha invariablemente sufren algún tipo de daño de origen mecánico, que originan contaminaciones bióticas posteriores.

La ciruela en Yucatán es de consumo tradicional y de comercialización informal ya que no existen cultivadores definidos ni plantaciones establecidas, además de no existir información relacionada con su producción y comercialización. En México las plantaciones comerciales son escasas; sin embargo, se encuentran pequeñas huertas en 27 entidades federativas los cuales se resumen en Tabla 1.

Tabla 1. Regiones productoras de *S. purpurea* L. más significativas de México

Estado	Principales municipios
Veracruz	Soledad de Doblado, Platón, Sánchez, Jalacingo, Tierra Blanca, Tempoal, Espinal, Medellín.
Puebla	Zacatlán, Teziutlán, Xiutetelco, Chingnautla, Zaragoza, Atempan, Teteles de Avila Castillo.
Guerrero	Tlapehuala, Cocula, Teloloapan, Quechaltenango, San Marcos
Yucatán	Opichen, Mérida, Ticul, Halachó.
Michoacán	Gabriel Zamora, Tzitzio, Jungapeo, Sta. Clara
Jalisco	San Cristobal de la Barranca, Tequila, Zapopan, Amatitlán.
Morelos	Cuernavaca, Tepoztlán, Puente delxtla, Totolapan.
Campeche	Campeche, Hecelchakán, Tenabo, Calkini.
Oaxaca	San Pedro Pochutlá, San Pedro Tutepec, Santa María Tecomavaca, San Juan Bautista, Cuicatlán.
Sinaloa	Concordia, Mazatlán, Escuinapa, Rosario.
Chiapas	Chiapa de Corzo, San Cristóbal de las casas, Venustiano Carranza, Huistán, La Libertad.
Colima	Colima, Villa de Alvaréz, Tecomán, Coquimatlán, Manzanillo
Nayarit	Tuxpan, Compostela, San Blás.
San Luis Potosí	Tampamolón, Ciudad Valles, Tamuín.

(Avitia *et al.*, 2003).

4.4. Características fisicoquímicas de *Spondias purpurea* L.

Sus características fisicoquímicas quedan determinadas, para el fruto maduro por los siguientes valores promedio: 10.1g de peso, 2.3 cm de ancho, 2.5 cm de largo, 14.6 °Brix y 3.4 de pH.

Para el fruto sazón por los siguientes valores promedio: 11.5g de peso, 2.7 cm de ancho, 3cm de largo, 9.6°Brix y 4.1 de pH (Sauri, 2007).

Tabla 2. Análisis de micronutrientes del fruto de la ciruela *chi abal*, (*Spondias purpurea* L.) en madurez comestible

Contenido de micronutrientes	Concentraciones/100g
Calcio	26 mg
Fósforo	19 mg
Hierro	2.71 mg
Beta carotenos	0.05 mg
Tiamina	0.12 mg
Riboflavina	0.03 mg
Niacina	0.35 mg

(Sauri, 2007)

Así como los grados °Brix y el pH reportados en el fruto de ciruela también los parámetros cualitativos, tales como: acidez titulable, concentración de sólidos solubles totales (SST), firmeza, color (brillo, intensidad de color y ángulo de tono); son importantes al hacer una selección de frutas.

4.5 Color (brillo, intensidad de color y ángulo de tono)

El color es la única propiedad sensorial que puede ser medida en forma instrumental más efectivamente que en forma visual. Los espectrofotómetros de color son usados comúnmente para medir color en los alimentos. Estos instrumentos generan curvas de espectros que representan la reflectancia o transmitancia de la luz sobre la superficie del producto y son comparados con

IV. ANTECEDENTES

estándares de referencia. Estos instrumentos son técnicas que demuestran ser convenientes, precisos y evalúan cuantitativamente los resultados (Kane y col., 2003).

El color se considera una de las características sensoriales más importante en la apariencia de un alimento. Se determina por el largo de onda entre 380 y 770 nm y se puede definir como la energía radiante que el ojo humano detecta a través de sensaciones visuales recibidas por la estimulación de la retina (Kramer, 1976).

Un sistema de colorimetría utilizado en la determinación de color en alimentos es el 13 sistema Hunter. Este sistema también conocido como color uniforme está basado en la teoría de los colores oponentes a la visión de color. En esta teoría se asume que hay un estado de conexión-señal intermedia entre los receptores de luz en la retina y el nervio óptico que transmite las señales de color al cerebro. En este mecanismo de conexión, las respuestas al rojo son comparadas con verde y resulta en una dimensión de color de rojo a verde. Las respuestas al verde son comparadas con azul para dar una dimensión de color de amarillo a azul. Esas dos dimensiones son representadas por los símbolos de **a** y **b**. La tercera dimensión de color es la luminosidad o blancura expresada como **L** (deMan, 1999). La escala de Hunter Lab es una de las más usadas ya que es fácil de interpretar. Utiliza tres parámetros, **L**, **a** y **b**, donde **L** mide las tonalidades de blanco (100) hasta negro (0), **a** mide las tonalidades de rojo (+) hasta verde (-) y **b** las de amarillo (+) hasta azul (-).

4.6. Usos de *Spondias purpurea* L.

Adhesivo [exudado] (resina): La resina se utiliza en América Central para elaborar pegamentos y gomas.

Comestible (fruta, bebidas) [fruto, brote]: Los frutos frescos se comen maduros o crudos, deshidratados, curtidos en alcohol o salmuera. Con los frutos se elaboran bebidas refrescantes y vinagre. Se usan también para hacer gelatina y jalea. Los frutos se venden en el mercado local y regional. Los frutos inmaduros

IV. ANTECEDENTES

se adicionan a los frijoles y se hace atole, tartas y salsa. En Sinaloa se industrializa en diferentes formas, ciruela pasa con y sin sal, ciruela negra dulce, ciruela cristalina dulce. Los brotes jóvenes y hojas se consumen crudos o cocinados como verduras. Con los frutos se confeccionan vinos y otras bebidas alcohólicas.

Forrajero [hoja, brote]: Se usa para alimentar ganado y cebar cerdos. La mayor proporción de materia seca comestible se produce los primeros 90 días después de la poda inicial debido a lo tierno de los rebrotes en ese momento. Después de 150 días de la poda inicial, la proporción de materia seca comestible disminuye por la lignificación de la biomasa, ocasionando una baja digestibilidad.

Industrializable [madera]: La madera es ligera y blanda y en Brasil se ha encontrado que es adecuada para la fabricación de papel.

Medicinal [corteza, hoja, fruto, exudado] (resina), [raíz]: el extracto de las hojas y corteza es utilizado como febrífugo. Al sureste de Nigeria se emplea infusión de hojas para lavar heridas, inflamaciones y quemaduras. El extracto de la corteza cocida es un remedio para la roña, disentería y para la flatulencia infantil. En Filipinas la savia de la corteza se usa para tratar estomatitis en infantes.

Fruto (extracto, jarabe): el extracto se utiliza para sanar inflamaciones, el jarabe se usa para curar diarrea crónica. Exudado (resina): la resina se mezcla con jugo de piña o guanábana para tratar la ictericia.

Hoja, Corteza: Esta parte de la planta se utiliza para infecciones de encía, salpullido, Sarampión.

Raíz: Se utiliza para erupciones acompañadas de dolor de cabeza y cuello. Se ha reportado que además se utiliza para enfermedades del intestino y la vejiga, y como remedio contra la sarna.

Saponífera [madera]. Las cenizas de la madera se utilizan en la fabricación de jabón (Avitia, *et al.*, 2003).

4.7. El aroma en las frutas

El aroma de las frutas se debe a los constituyentes volátiles presentes que le imparten el carácter particular que las hace populares. En relación con sus características de *flavor de* varios tipos de frutas frescas producen distintos perfiles volátiles, diversas clases de sustancias químicas, incluyendo ésteres, alcoholes, aldehídos, cetonas, lactonas y terpenoides. Sin embargo algunos compuestos azufrados, tales como S-metiltiobutanoato, 3-metiltiopropional, 2-metiltioacetato de etilo, 3-metiltiopropanoato de etilo y 3 metiltioacetato de propilo que también contribuyen al sabor y aroma de frutas tales como melón (Song y Forney, 2008). En general, los constituyentes volátiles se encuentran en concentraciones muy bajas y contribuyen al aroma global en grados muy diversos, no solo en función de su naturaleza química, sino también de su concentración (Pino, 1995). Además, un número abrumador de compuestos químicos han sido identificados como compuestos volátiles en frutas frescas, solo una fracción de esos compuestos han sido identificados como compuestos de impacto en el sabor y aroma de frutas frescas con base en su abundancia cuantitativa y umbral olfatorio (Cunningham y Barry, 1986; Schieberle *et al.*, 1990; Wyllie *et al.*, 1995). De aquí la necesidad de usar técnicas de aislamiento y concentración que garanticen el análisis de una composición química semejante a la de la fruta.

La utilización de técnicas de cromatografía, es muy útil ya que permite efectuar más fácilmente la separación, identificación y la determinación cualitativa y cuantitativa sobre las sustancias presentes en la mezcla. La cromatografía es una técnica de separación extraordinariamente versátil que presenta distintas variantes. En toda separación cromatográfica hay dos fases (sólida, líquida o gas) una móvil y otra estacionaria, que se mueven una con respecto de la otra manteniendo un contacto íntimo. La muestra se introduce en la fase móvil y los componentes de la muestra se distribuyen entre la fase estacionaria y la móvil. Los componentes de la mezcla a separar invierten un tiempo diferente en recorrer cada una de las fases, con lo que se produce la separación. Si un componente

está la mayor parte del tiempo en la fase móvil, el producto se mueve rápidamente, mientras que si se encuentra la mayor parte en la fase estacionaria, el producto queda retenido y su salida es mucho más lenta.

La más utilizada en química orgánica es cromatografía líquido-sólido en sus dos variantes: cromatografía en columna (CC) y cromatografía de capa fina (TLC).

4.8. Cromatografía

La cromatografía es un método de separación de diferentes componentes de una muestra, este método logra la separación de los mismos a través del paso de una muestra por una fase estacionaria con la ayuda de la fase móvil, cada componente de la muestra tiene propiedades particulares que permitirá su interacción en forma diferente entre la fase estacionaria y móvil, de esta forma cada componente se retrasa en forma particular y si el caudal, las características de la fase estacionaria y móvil y la longitud de la columna son las adecuadas se lograra la separación completa de todos los componentes de la muestra. El objetivo principal de un estudio cromatografía es lograr la separación de todos los componentes en una muestra, para ello es necesario jugar con una serie de factores cromatograficos, es por ello que es necesario conocer como están relacionados los diferentes factores experimentales con las ecuaciones cromatografías.

4.9. Cromatografía de Gases (CG)

El análisis por CG permite separar una mezcla en sus componentes individuales, que posteriormente entran uno por uno a la fuente iónica del espectrómetro de masas, o a cualquier otro dispositivo de detección.

La muestra se volatiliza y se inyecta en la cabeza de una columna cromatográfica. La elución se produce por el flujo de una fase móvil de un gas inerte, y a diferencia de la mayoría de los tipos de cromatografía, la fase móvil no

IV. ANTECEDENTES

interacciona con las moléculas del analito; su única función es la de transportar el analito a través de la columna. Existen dos tipos de cromatografía de gases: la *cromatografía gas-sólido* (GSC) y la *cromatografía gas-líquido* (GLC). La cromatografía gas-líquido tiene gran aplicación en todos los campos de la ciencia y su denominación se abrevia normalmente como cromatografía de gases (GC).

El éxito de la aplicación de la CG al estudio de los aceites esenciales ha sido posible gracias al desarrollo de columnas capilares, que permiten separar las mezclas multicomponente de las sustancias de diversa polaridad o isomería (monoterpenos, sesquiterpenos, etc.).

En la inyección en columnas capilares es necesaria una reducción del volumen de la muestra cuando se trabaja con columnas capilares. Esto se logra mediante un inyector . divisor (inyección en *split*), donde generalmente se inyecta una muestra de 1 μ L pero sólo entra al capilar 0.01 μ L; el resto es desechado. Esta técnica impide la sobrecarga de la columna, pero desperdicia una porción significativa de la muestra, cuando se realizan análisis en cantidades pequeñas de muestra con algunos componentes en concentraciones del orden de milésimos de parte por millón, se introduciría muy poco material en la columna si para estas muestras se utiliza el divisor.

4.10. Espectrometría de Masas (EM)

La espectrometría de masas es un método de análisis rápido y sensible que permite obtener la máxima cantidad de información estructural con la cantidad mínima de muestra (10⁻⁶-10⁻¹⁴ g). El espectro de masas es una gráfica que relaciona las masas de los iones específicos (más exactamente, valores de la relación masa/carga del ion, m/z) con sus respectivas concentraciones en la corriente iónica total (TIC), producida por la ionización y la fragmentación de las moléculas del analito en la cámara de ionización. El espectro de masas suministra información sobre la masa molecular, composición elemental de una sustancia

IV. ANTECEDENTES

(cuando se utiliza EM de alta resolución) y en algunos casos, permite establecer la estructura espacial de la molécula.

Los espectros de masas de terpenos, principales constituyentes de los aceites esenciales, son muy parecidos en la mayoría de los casos; es por eso que su identificación por la EM está basada principalmente en las diferencias cuantitativas (Intensidades de los iones) (Konig, 1998, Adams, 1995). Sin embargo, se han podido encontrar criterios experimentales (relación de las intensidades de los iones moleculares y característicos, EM de la colisión activada, energía cinética liberada durante las transiciones metaestables, etc.) para la identificación de terpenos (básicamente monoterpenoides) a través de sus espectros de masas.

4.11. Cromatografía de Gases acoplada a Espectrometría de Masas (CG/EM)

El acoplamiento de un cromatógrafo de gases con un espectrómetro de masas permite hacer un análisis rápido y seguro de mezclas complejas, determinando simultáneamente cuántos y cuáles son los constituyentes y en qué proporción se encuentran en la mezcla. Este método es altamente sensible y con él se logra detectar componentes en cantidades del orden de pico gramos.

El sistema moderno de CG-EM consta de tres bloques principales: cromatógrafo de gases, espectrómetro de masas y sistema de datos, cuyo componente más importante es una computadora. El sistema de datos computarizado realiza la conversión de las señales procedentes del espectrómetro de masas en cromatogramas y espectros de masas normalizados, permitiendo obtener la información estructural de cada uno de los componentes de la mezcla (Adams, 1995, Stashenko, 1991).

4.12. Técnicas de extracción y concentración de volátiles

Al abordar el estudio de la fracción aromática de los alimentos hay que tener en cuenta los siguientes puntos: a) la concentración de volátiles en la

IV. ANTECEDENTES

muestra suele ser baja por lo que se va a obtener una fracción pequeña de los mismos a partir de una cantidad de muestra grande; b) la fracción volátil está constituida generalmente por un gran número de componentes de peso molecular y naturaleza química diferentes y cuyas concentraciones pueden variar en un intervalo muy amplio; c) no hay una correspondencia directa sobre la incidencia de cada compuesto en el aroma de un alimento y su concentración en la fracción aromática ya que los umbrales de detección son muy variables; d) en la etapa de extracción al utilizar disolventes se hace necesario un proceso de concentración y e) hay que evitar la formación de artefactos durante el análisis ya que pueden interferir y dar lugar a resultados erróneos (Flath, 1981). En general, el análisis de la fracción volátil de los alimentos requiere cuatro etapas perfectamente definidas: 1) separación de la fracción volátil de la muestra; 2) concentración de la misma; 3) fraccionamiento en los diferentes componentes y 4) identificación (Mehlitz, 1962). Todas estas etapas son de gran importancia en este tipo de análisis y deben ser cuidadosamente elegidas.

Entre los diferentes métodos utilizados para la extracción de la fracción volátil en los diferentes tipos de alimentos se encuentran aquellos que no realizan concentración de la muestra y los que realizan concentración de la muestra estos dos grandes grupos para cada uno de los métodos de extracción se mencionan a continuación:

A) Aquellos que no realizan concentración de la muestra.

- Inyección directa.
- Espacio de cabeza estático.

B) Aquellos que realizan concentración.

- Destilación.
- Extracción.
- Espacio de cabeza dinámico.
- Arrastre y atrape.

Estos métodos son los más utilizados aunque también se han aplicado otros tales como la extracción con disolventes y diálisis por membrana que ha sido aplicada a muestras de queso Cheddar y carne de buey (Benkier, 1980); la

técnica de difusión simple, aplicable especialmente a líquidos viscosos y espumosos (Booker, 1985) o la extracción con fluido supercrítico, menos utilizada hasta la fecha, pero que ha sido aplicada con éxito a especias, chicle y corteza de naranja (Hawthorne, 1988).

4.12.1. Destilación extracción con solvente simultánea (DES) con equipo Likens- Nickerson

Es un método ampliamente utilizado que fue introducido por Likens y Nickerson en 1964. Consiste en que la muestra diluida en agua y el disolvente destilan de forma separada y condensan en la misma zona produciéndose en ella la extracción, separándose y recirculando posteriormente las dos fases. De esta técnica original se han descrito numerosas modificaciones, entre ellas una destinada a la obtención de volátiles de grasas y aceites donde se obtienen condensados libres de agua, y una micro versión del aparato original para aplicaciones analíticas. El método presenta ventajas como usar pequeñas cantidades de disolvente, introduciéndose por ello pocos contaminantes, poder obtener una concentración alta de volátiles en poco tiempo y poder minimizar la degradación térmica trabajando a presión reducida. (Morales, *et al.*, 1992).

También presenta inconvenientes como el de no ser adecuada para volátiles termolábiles.

4.12.2. Microextracción en fase sólida de espacio de cabeza (HS-SPME)

La microextracción en fase sólida (*Solid Phase Microextraction* SPME) fue desarrollada en los años 90, inicialmente usada para la determinación de compuestos clorados en aguas contaminadas. Esta técnica de preparación de muestra, extrae y concentra los analitos directamente en una fibra o fase estacionaria que incluye un tipo o más de polímeros extractantes (Riu, 2005). Las técnicas más conocidas para la extracción de compuestos orgánicos volátiles y

IV. ANTECEDENTES

semi-volátiles de una muestra sólida o líquida son: *headspace* dinámico o purga y trampa (P&T), para concentración de volátiles; extracción líquido-líquido; extracción en fase sólida y extracción con fluido supercrítico. La técnica de microextracción en fase sólida involucra la extracción de analitos orgánicos específicos directamente desde la solución o desde su espacio de cabeza, dentro de un vial cerrado o un sistema en el cual se pueda aislar de la mejor manera posible la fase vapor, como en el montaje para realizar SPME *in vivo*. Esta técnica de preparación de muestra, extrae y concentra los analitos directamente en una fibra o fase estacionaria que incluye un tipo o más de polímeros extractantes (Mestres *et al.*, 2000). El método es rápido, fácil de aplicar, de bajo coste y a la vez, respetuoso con el medio ambiente, ya que no usa ningún tipo de disolvente orgánico. Se emplea combinado con cromatografía de gases (CG) y cromatografía de gases acoplada a detector de espectrometría de masas (CG-EM) y es aplicado a un amplio rango de compuestos volátiles y semivolátiles en muestras biológicas, ambientales y de alimentos (Riu, 2005). El pequeño tamaño de la fibra y su geometría cilíndrica permiten incorporarla a una jeringa. De esta forma se facilita la manipulación y se protege la fibra cuando ésta no se utiliza (Zhang, *et al.*, 1994) (Figura 3).

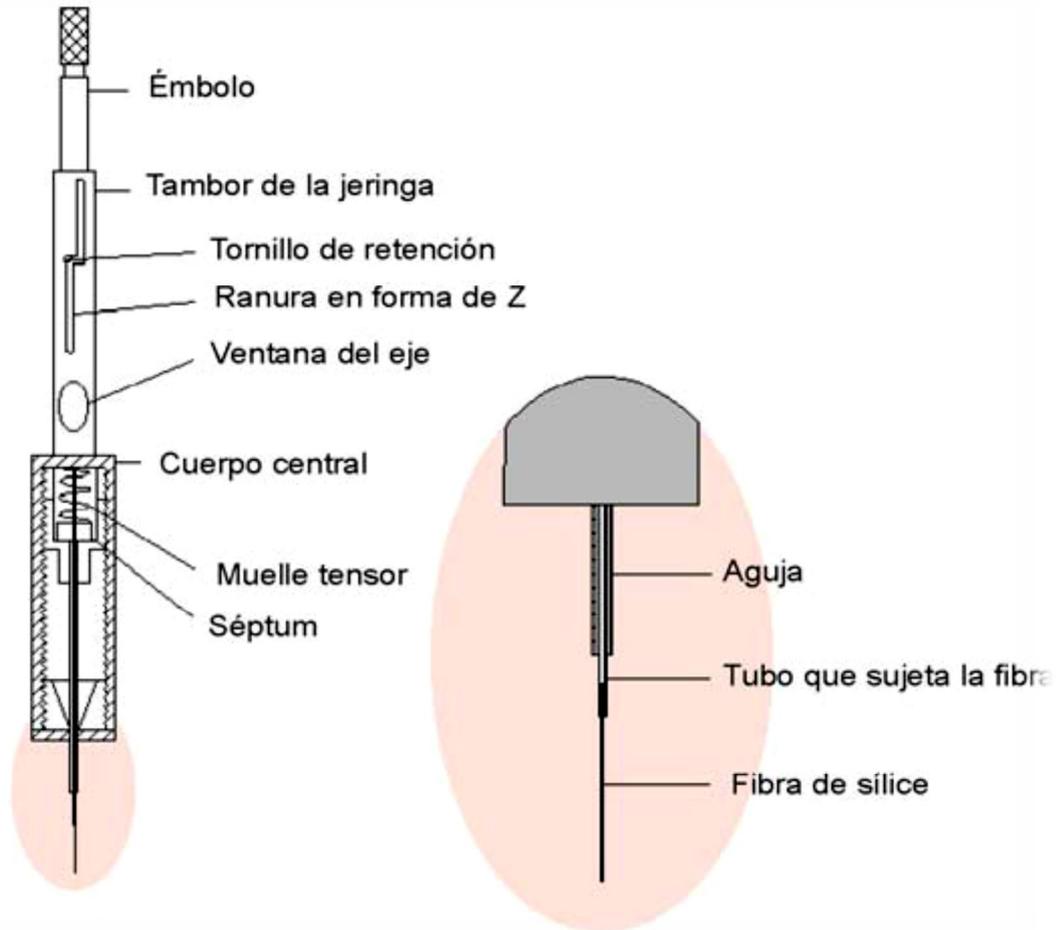


Figura 3. Dispositivo comercial de SPME (Pérez *et al.*, 2011)

4.12.2.1 Procedimiento de la SPME

En el proceso de SPME se pueden diferenciar principalmente dos etapas. Una primera etapa de extracción en la que la fibra recubierta del sorbente se pone en contacto con la muestra durante un tiempo y temperatura determinadas, de manera que se produce una migración de los analitos desde la solución a la fibra hasta que se alcanza la situación de equilibrio. Después de esta primera etapa, se realiza la desorción de los analitos retenidos por la fibra.

a) Etapa de extracción

En esta etapa se produce la migración de los analitos desde la muestra a la fibra hasta que se alcanza la situación de equilibrio. Este proceso de extracción se puede producir por adsorción o absorción en función del tipo de fibra utilizado. Para el proceso de extracción con SPME, se coloca un volumen de muestra en un vial herméticamente cerrado con un septum de silicona o teflón. Seguidamente se perfora el septum y se introduce la jeringa en el vial. Empujando el émbolo se expone la fibra a la muestra el tiempo previamente establecido. Una vez finalizado el tiempo de extracción, se devuelve la fibra al interior de la jeringa. En la realización de la extracción de SPME en el modo de extracción de espacio de cabeza o *headspace* (HS/SPME). En este caso (Figura 4), la fibra se expone a la fase gaseosa que queda por encima de la muestra y los analitos pasarán a la fase gaseosa en función de su presión de vapor. Las principales ventajas de este modo de extracción son que se alarga la vida útil de la fibra, ya que se evitan interferencias con otros componentes de la muestra, sobre todo aquéllos de elevado peso molecular. Por ello, es el tipo de extracción más utilizado para los analitos volátiles y semivolátiles. Además, permite modificar la matriz de la muestra sin dañar la fibra, por ejemplo variar el pH o añadir sal para aumentar el rendimiento de la extracción. El HS/SPME se utiliza tanto en muestras gaseosas, como líquidas y sólidas, siendo útil en estas últimas en el caso de sedimentos, alimentos y muestras biológicas, dónde la interferencia de la matriz es importante. En términos generales, se puede decir que el volumen del espacio de cabeza tiene que ser lo más pequeño posible, ya que el rendimiento de la extracción disminuye cuando aumenta el volumen del espacio de cabeza por efecto de la dilución (Riu, 2005); en la Figura 5 se observa un *vial* utilizado para el análisis *headspace*.

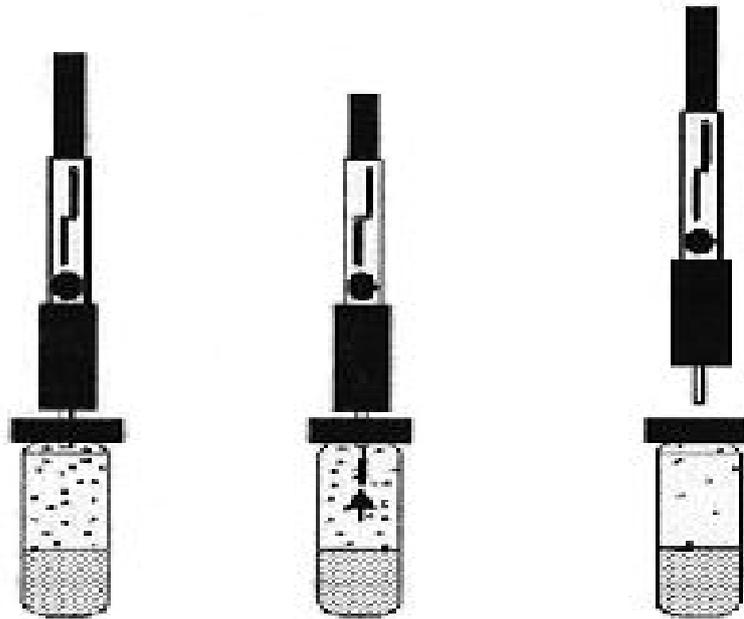


Figura 4. Etapa de absorción de los analitos en la fibra de HS/SPME (Riu, 2005).

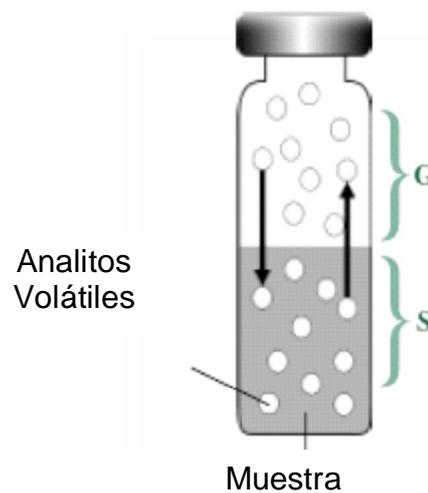


Figura 5. Se observa un *vial* utilizado para el análisis *headspace*. Donde **S** representa la fase condensada de la muestra y **G** corresponde al espacio de cabeza (HS).

b) Etapa de desorción

En esta etapa se liberan los analitos retenidos por la fibra. Este paso se realiza por desorción térmica, cuando se lleva a cabo acoplado a un cromatógrafo de gases (Figura 6). La fibra se inserta en el inyector del cromatógrafo de gases que se encuentra a temperatura suficientemente elevada para que, al bajar de nuevo el émbolo de la jeringa, de forma instantánea se desorban los analitos entrando en la columna cromatográfica.

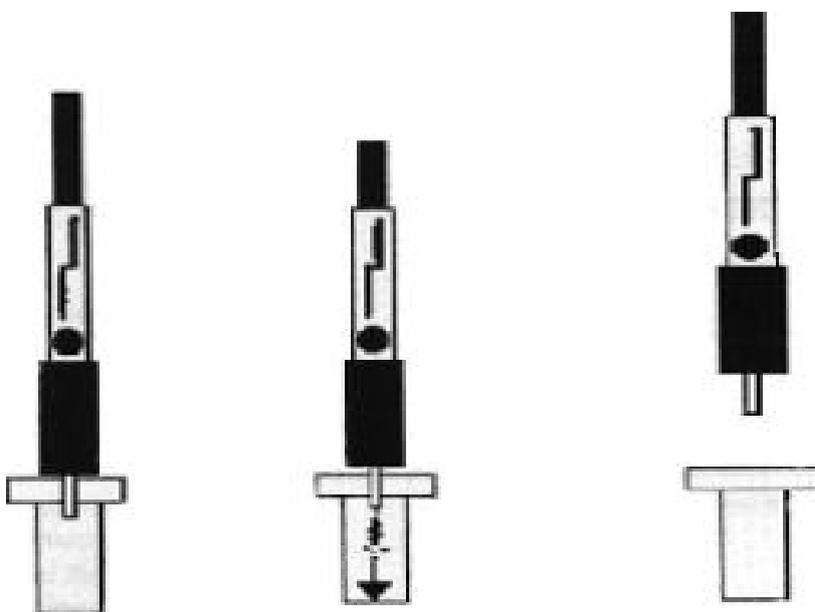


Figura 6. Etapa de desorción térmica de los analitos en la fibra de SPME (Riu, 2005).

4.13. Identificación cualitativa y cuantitativa de los compuestos volátiles

Un análisis cromatográfico puede dar una amplia información cualitativa si se escoge el sistema de detección adecuado para determinar y evaluar los canalitos separados, así si se utiliza un detector que permita obtener un espectro de cada compuesto separado y a su vez contenga una base de datos que pueda realizar su comparación con una biblioteca de espectros se podría, de una forma muy precisa, establecer la identidad de los componentes de una muestra, de hecho esto se logra fácilmente con cromatógrafos que contienen sistema de detección como el Infrarrojo (IR), el de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) o el Espectrómetro de Masas (EM). Sin embargo, estos sistemas son muy costosos, es por ello que la mayoría de los laboratorios cuentan con cromatógrafos con sistemas de detección sencillos como el detector de ionización a la llama (siglas en inglés, FID) o el detector de conductividad térmica (siglas en inglés TCD) en el caso de cromatografía de gases o detectores de absorbancia o índice de refracción para los casos de cromatografía de líquidos.

En el análisis cuantitativo para la cromatografía en columna, el análisis cuantitativo se basa en la comparación de la altura, o del área, del pico del analito con la de uno o más patrones inyectados bajo las mismas condiciones cromatográficas. El uso de uno u otro término dependerá de las características de la banda obtenida, aunque en la actualidad con el uso de sistemas de integración de área computarizados, la precisión es muy alta para el cálculo de área.

Para lograr un análisis cuantitativo de los componentes separados de una muestra existe una gran variedad de métodos de análisis entre los que se pueden mencionar: Calibración absoluta, Método del estándar interno y Normalización de área (con y sin factor de respuesta); Cada método tiene sus ventajas y desventajas, en este análisis la fracción volátil identificada en las ciruelas *chi abal*, *ek abal* y *campech abal*, se cuantificaron aplicando el método de estandarización interna; tomando en cuenta una de sus ventajas como ser independiente del volumen de inyección de muestra lo que es sumamente importante para aquellas técnicas cromatográficas que utilizan un método de introducción de muestra no

IV. ANTECEDENTES

automatizado como por ejemplo el uso de jeringas de inyección en cromatografía gaseosa.

En el presente estudio la fracción volátil, de los frutos, se cuantificaron aplicando el método de estandarización interna; para ello se empleó nonanoato de metilo con una concentración de 0.148625 mg/kg, como estándar interno, este fue adicionado en la etapa previa de preparación de las muestras para análisis cromatográfico.

Las áreas de los picos cromatográficos de cada uno de los componentes de las muestras se compararon con el área reportada para el estándar interno.

Las concentraciones de cada uno de los compuestos se calcularon mediante la siguiente fórmula:

$$C_c = C_e \left(\frac{A_c}{A_e} \right)$$

Donde:

C_c: Concentración del compuesto de interés (mg/kg);

C_e: Concentración del estándar interno (nanoato de metilo);

A_c: Área del compuesto de interés,

A_e: Área del estándar interno (nonanoato de metilo).

V. MATERIALES Y MÉTODOS

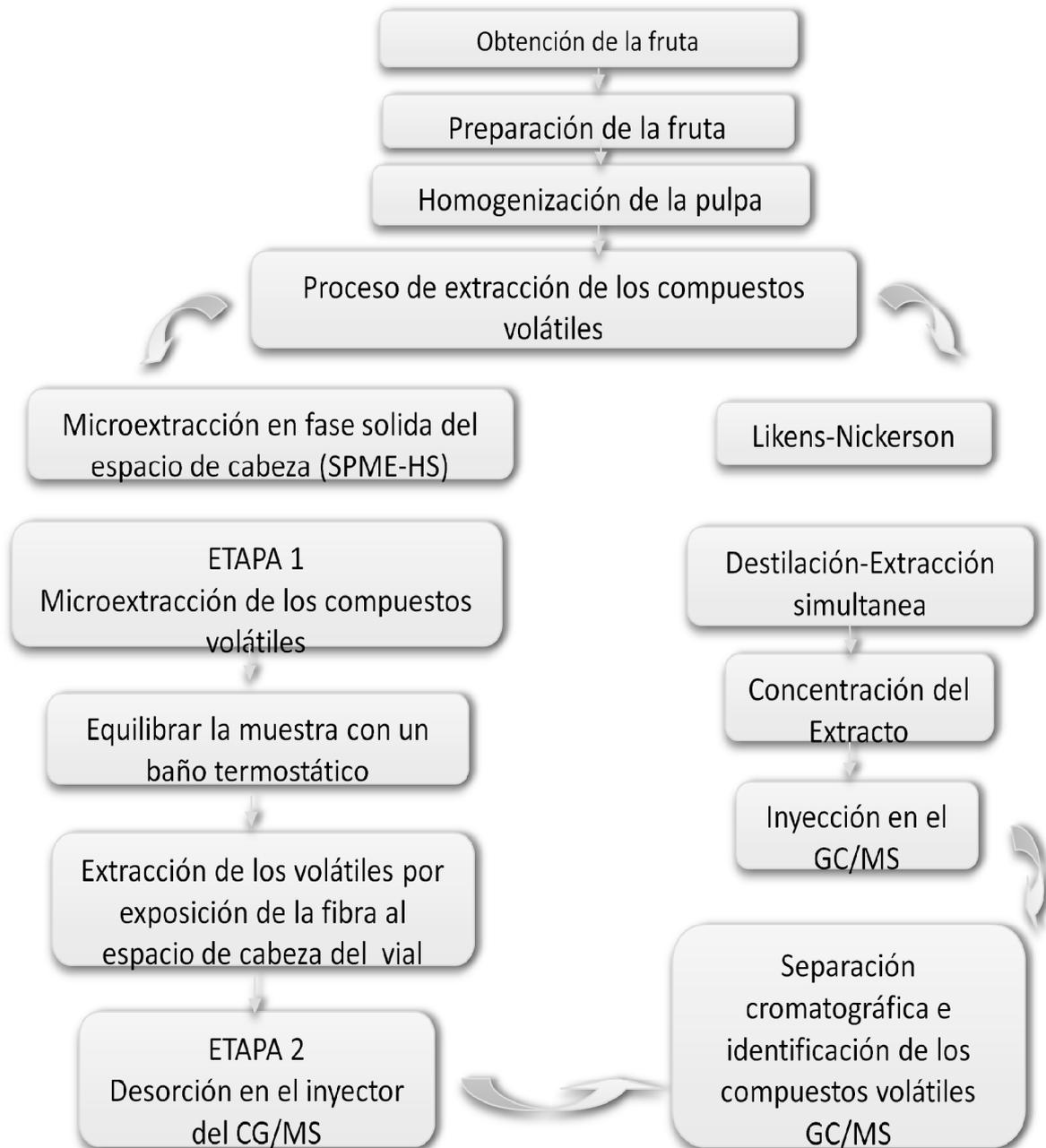


Figura 7. Diagrama de flujo de la metodología aplicada para el análisis de los compuestos volátiles por las técnicas HS-SMPE y Likens-Nickerson.

5.1. Recolección del material vegetal

Los frutos fueron recolectados de manera manual en en una propiedad rural localizados en el municipio de Hocabá, en la región central de la península de Yucatán, México (Figura 8). La vegetación original era bosque tropical caducifolio (bosque tropical seco) con una altura de 6-10 m y diámetros entre 10 y 30 cm. Sin embargo en la actualidad domina la vegetación secundaria originada por cultivos, principalmente de maíz y henequén, en parcelas abandonadas de distintas edades. El municipio cuenta con 5312 habitantes de origen maya que practican sistemas de producción agrícola tradicional como la milpa (cultivo de maíz) y de huerto familiar (Ruenes, 2010).

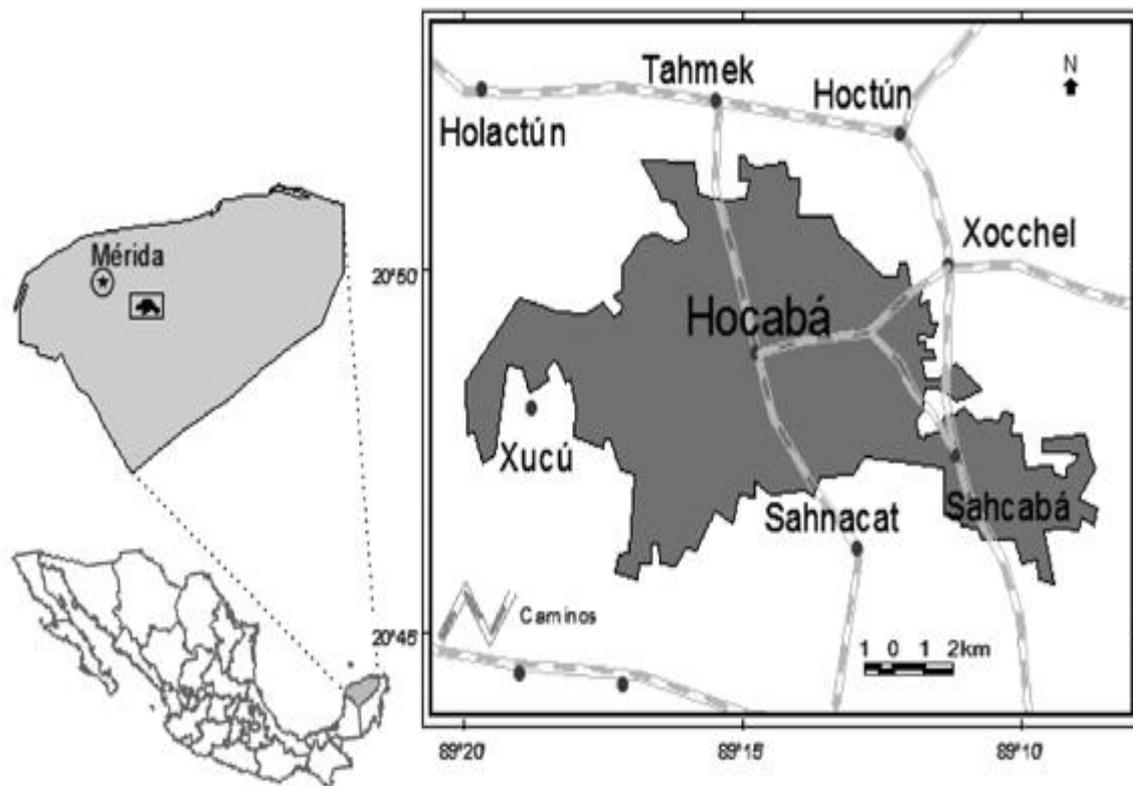


Figura 8. Localización del área de estudio de los árboles *Spondias purpurea* L. (Anacardiaceae) en el municipio de Hocabá, Yucatán, México.

5.2. Identificación taxonómica de la planta y frutos

La identificación taxonómica fue realizada por la M. en C. María del Rocío Ruenes Morales Investigadora del área de Manejo y Conservación de Recursos Naturales Tropicales del Campus de Ciencias Biológicas y Agropecuarias. Se identificaron tres plantas, a saber: *abales* del Género *Spondias*, Especie *S. purpurea* L., Familia Anacardiaceae; Ciruelas *Chi abal*, *Campech abal* y *Ek abal*.

5.3. Colecta de los frutos de ciruela (*Spondias purpurea* L.)

Se realizaron colectas de frutos de forma oval, de color amarillo rojizo en estado maduro, con un peso promedio de 20.03 g. diámetro longitudinal de 4 cm y transversal de 3 cm aproximadamente; de tres variedades de ciruela (*Chi abal*, *Campech abal* y *Ek abal*) en el municipio de Hocabá (Mérida, Yucatán), durante abril y mayo y del 2012 (Figura 9). Se colectó aproximadamente cinco kilogramos de fruta de cada variedad, las cuales variaron en el contenido de pulpa por fruto entre 61% y 64%; en un lapso de tres semanas, los frutos se transportaron al Laboratorio de Química Analítica división posgrado del Instituto Tecnológico de Mérida, donde fueron seleccionados para su evaluación.



A



B



C

Figura 9. Variedades seleccionadas de ciruelas (*Spondias purpurea* L.) en el municipio de Hocaba de Mérida Yucatán, México., (A) *Ek abal*, (B) *Campech abal* y (C) *Chi abal*.

V. MATERIALES Y MÉTODOS

Se obtuvieron muestras homogéneas de frutos al momento de la cosecha, con base a la coloración externa del fruto, textura entre otros. Los criterios usados para la selección de la fruta fueron considerando sólo frutas maduras (Tabla 3).

Tabla 3. Clasificación para la selección de los frutos de ciruelas (*Chi abal*, *Campech abal* y *Ek abal*)

CARACTERÍSTICAS	ETAPAS DE MADUREZ		
	Verde	Medio maduro	Maduro
Color cáscara	Verde	Verde amarillo	Amarillo verdoso
Textura	Duro	Semi-duro	Suave
Extracción de pulpa	Difícil	Normal	Fácil

5.4. Correlación del estadio de maduración de la pulpa de ciruela mediante parámetros Físicoquímicos

Para correlacionar el estadio de maduración del fruto de ciruela seleccionados se llevaron a cabo los análisis físicoquímicos siguientes: determinación de los sólidos solubles totales (SST) ° Bx, color, determinación de acidez titulable (AT) expresado en % acidez, determinación de índice de madurez con el cociente SST/ AT.

5.4.1. Sólidos solubles totales (SST) medido en grados Brix

Tomando en cuenta que el contenido de sólidos solubles totales es un parámetro importante en la caracterización de los frutos se evaluaron los sólidos solubles totales (°Brix), los cuales se determinaron colocando una gota del fruto en un refractómetro digital Atago® (Mod. RX-500), calibrado previamente con agua. El resultado se expresó como °Brix, siguiendo el método descrito en la AOAC (1992), de las tres variedades de ciruelas (*Chi abal*, *Campech abal* y *Ek abal*) seleccionadas.

5.4.2 Color (brillo, intensidad de color y ángulo de tono)

Para la evaluación y clasificación del color en el epicarpio de los frutos de ciruela se utilizó un espectrofotómetro portátil (X-rite Mod. Sp62), esta medición llevó a cabo haciendo las lecturas directamente sobre la superficie de epicarpio, tomándose lecturas por triplicado en cada uno de los frutos y se realizó la lectura utilizando el sistema de color oponente de Hunter donde **L** mide las tonalidades de blanco (100) hasta negro (0), **a** las tonalidades de rojo (+) hasta verde (-) y **b** las de amarillo (+) hasta azul (-) con estas variables se calculó el ángulo de matiz $\arctg b/a$.

5.4.3. Tono o matiz

Es el atributo de la sensación visual según la cual el estímulo aparece similar a uno de los colores percibidos: rojo, verde, amarillo, verde y azul o a ciertas proporciones de dos de ellos. Se define como la cualidad del color.

* **Tono:** $h^* = \text{tang}^{-1} (b^*/a^*) = \text{arctangente} (b^*/a^*)$. Mide tono o ángulo a partir del semieje a+ positivo. El valor encontrado está altamente correlacionado con las percepciones visuales de los cambios del color rojo.

5.4.4. Determinación de acidez titulable (AT)

La determinación de AT se realizó con base en la metodología reportada por la (A.O.A.C., 1984). El porcentaje de acidez se calculó con relación al ácido cítrico (meq= 0.064), el cual es el ácido que se encuentra en mayor proporción en este tipo de fruta.

5.4.5. Índice de madurez (SST/AT)

El cociente entre contenido de sólidos solubles y acidez total ($^{\circ}\text{Brix/acidez}$).

5.4.6. Análisis estadístico

La información obtenida de los tres parámetros fisicoquímicos fue sometida a un análisis de varianza y comparaciones de medias (Diferencia Mínima Significativa) para poder detectar diferencias significativas entre las colectas de ciruela. Los datos se procesaron mediante análisis de varianza ANOVA en el paquete estadístico de Statgraphics centurión XV, versión 15.1.02. Los promedios se compararon utilizando la prueba de Tukey para determinar las diferencias significativas entre los efectos principales (variables independientes).

5.5. Condiciones Cromatograficas (GC/EM)

Para la separación de los compuestos volátiles se empleó helio como gas acarreador y una columna cromatográfica marca allthe AT5-ms, 30 m de longitud, 0.25 mm de diámetro interno (ID) y 0.25 µm de espesor de la fase estacionaria (5% fenil y 95% metilpolidimetilsiloxano) y un detector de ionización de llama (FID). Las condiciones del cromatógrafo fueron las siguientes: Temperatura del inyector 250 °C, temperatura de la interface 280 °C. La temperatura de la columna fue programada iniciando con 50 °C, la cual se mantuvo 2 minutos, con incremento gradual de 4 °C /minuto hasta llegar a 250 °C y manteniéndose a esta temperatura durante 8 minutos. Las condiciones del EM fueron: voltaje de ionización 70 eV, temperatura de la fuente 200° C, el rango utilizado fue de 35-450 unidades de masa atómica (Delgado *et al.*, 2007; Pino *et al.*, 2005).

5.6. Destilación extracción simultanea (DES o *Likens- Nickerson*)

Se obtuvo los extractos con la técnica destilación-extracción con solvente simultánea (DES) de la pulpa de los frutos de las ciruelas fueron identificados como la variedad *Chi abal*, *Campech abal* y *Ek abal* en el laboratorio los frutos fueron lavados con agua de la llave y cortados con ayuda de un cuchillo de acero inoxidable para obtener la pulpa.

La destilación-extracción con solvente simultánea (DES) se llevó a cabo en un equipo a micro-escala para solventes de alta densidad, aparato desarrollado por Likens y Nickerson, tal como se aprecia en la Figura 10.

Después de la obtención y clasificación de la fruta se procedió a obtener la pulpa (aproximadamente 250 g), la cual se homogenizó y depositó en un matraz balón junto con 1000 ml de agua destilada y 500 µl de nonanoato de metilo como estándar interno con una concentración de 3.567 mg/ml. En un matraz de corazón de 50 ml, se adicionó disolvente orgánico (diclorometano) en un volumen suficiente (40 ml) para la extracción de los compuestos volátiles de la fruta. Se dejó operando el equipo por espacio de 1 h. El extracto obtenido se retiró del equipo y se depositó en un matraz de corazón unido a un refrigerante Vigreux y un baño caliente de aproximadamente 60 °C a 70 °C, se concentró hasta obtener la cantidad mínima de (tres o cuatro ml) de volumen. A este extracto se le adicionó sulfato de sodio para eliminar la humedad residual. Se hizo una concentración final de este extracto, haciendo pasar una corriente suave de gas nitrógeno. El extracto concentrado final se inyectó en un CG/EM y los cromatograma iónicos totales y los espectros de masas obtenidos (Figuras 12, 13 y 14) se analizaron mediante el tiempo de retención (índice de Kovats) y las bases de datos de espectros: NIST, WILEY, FLORA, OPENSOURCE, REPLIB, LIBAK, AROMA y FLAVORLIB.



Figura 10. Equipo utilizado para la extracción de la fracción volátil de la pulpa de ciruela *Chi abal*, *Ek abal* y *Campech abal* por el método Likens y Nickerson.

5.7. Microextracción en fase sólida en el modo espacio de cabeza (HS-SPME)

5.7.1. Etapa de extracción

La extracción de la fracción volátil por HS-SPME, se llevó a cabo empleando una fibra DVB/CAR/PDMS (50/30 μ m de espesor), se utilizaron 6 g de material vegetal fresco (pulpa), colocados en un vial de vidrio de 15 mL provisto de un Septum de Silicón. Posteriormente el vial fue introducido en un baño de agua termostático con agitación para su equilibrio, el tiempo de equilibrio fue de 30 min y de exposición de la fibra fue de 30 min a una temperatura de 30 °C. Una vez equilibrada la muestra, la fibra se expuso el espacio de cabeza generado entre la muestra. El equipo utilizado para HS-SPME, se observa en la Figura 11.

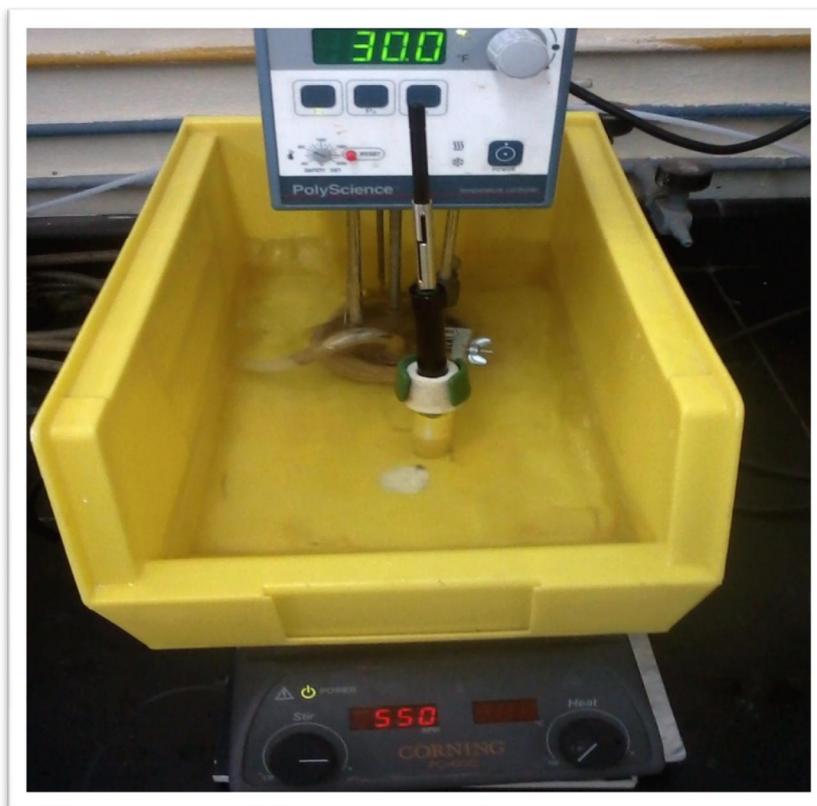


Figura 11. Equipo utilizado para el equilibrio y extracción de los compuestos volátiles de las tres variedades de ciruelas.

5.7.2. Etapa de desorción

La fibra con compuestos volátiles extraídos fue expuesta al inyector del GC/MS a 250 °C durante 10 minutos (modo *splitless*). Estos fueron separados en el GC e identificación mediante la comparación de los espectros de masas obtenidos en el MS con los espectros de las bases de datos: NIST, WILEY, FLORA, OPENSOURCE, REPLIB, LIBRAK, AROMA y FLAVORLIB y el índice de retención (Kovats). Los cromatogramas obtenidos se muestran en las Figuras 16, 17 y 18.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.2. Parámetros Físicoquímicos para la selección de las tres variedades

6.2.1. Sólidos solubles totales (SST) expresado en °Brix de los frutos

El análisis del contenido de grados °Brix produjo valores de 9.413 ± 0.32339 , 13.596 ± 2.04 y 11.38 ± 0.01 para las variedades de ciruela evaluadas *Ek-abal*, *Chi-abal* y *Campech-abal*, respectivamente. Martínez (2001) encontró valores entre 15.3 y 17.3 °Brix en variedades de *Spondias purpurea* cv. *Rojaq* maduras en Veracruz. A su vez, Nava Kuri y Uscanga (1979) determinaron valores hasta de 18 °Brix en variedades de Veracruz. Por otro lado, Ruenes (2010) encontró en la medición de azúcares valores de 15.29 ± 2.04 para *Chia abal*, 12.97 ± 1.2 para *Campech abal* y 13.56 ± 3.74 para *Ek abal*. Estos valores indican que el grado de madurez de estas frutas corresponde a valores promedio comprendidos en el rango de 13 a 15 grados brix.

Tabla 4. Sólidos solubles totales de la pulpa de los frutos maduros de ciruelas (*Spondias purpurea* L.)

Colecta	SST (°Brix)± D.E.
<i>Chi-abal</i>	13.596 ± 2.04^a
<i>Ek-abal</i>	9.413 ± 0.32339^b
<i>Campech-abal</i>	11.38 ± 0.01^{ab}

Promedios dentro de la misma columna con distintos subíndices son significativamente diferentes ($P < 0.05$) según el Test de *Tukey*.

D.E. =desviación estándar

SST= sólidos solubles totales

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.2.2. Color (Luminosidad *L y el tono) del epicarpio de los frutos

El color de la piel fue determinado mediante lecturas realizadas en un espectrofotómetro portátil X-rite Mod. Sp62, se evaluaron tres repeticiones por variedad de ciruela. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 5, obteniendo en cada lectura valores de *L, a y b, para calcular la tonalidad del ángulo de tono ($^{\circ}$ Hue) el cual se calculó con los valores de a y b $H = \arctan(b/a)$ y brillo (*L).

Tabla 5. Valores de Luminocidad *L, *a, *b y tono de la cascara de los tres variedades de ciruelas evaluadas

COLECTA	COLOR			Tono($^{\circ}$ Hue)
	L* \pm D.E.	a* \pm D.E	b* \pm D.E.	arctan
<i>Chi abal</i>	37.55 \pm 0.37 ^a	22.66 \pm 0.67 ^a	15.4 \pm 0.38 ^a	35.98 \pm 7.83
<i>Ek abal</i>	31.66 \pm 0.10 ^{ab}	18.38 \pm 0.29 ^b	9.07 \pm 0.02 ^{ab}	19.47 \pm 3.44
<i>Campech abal</i>	48.08 \pm 7.44 ^b	30.05 \pm 1.17 ^c	26.70 \pm 9.02 ^b	41.62 \pm 9.89

Promedios dentro de la misma columna con distintos subíndices son significativamente diferentes ($P < 0.05$) según el Test de Tukey.

*L = Indica brillantez, del 0 al 100, donde 0 es negro y 100 es blanco

*a = Intensidad del rojo, donde el rojo es expresado como + a y el verde como - a

*b = amarillo a azul, donde el amarillo es expresado como + b y el azul como - b

El color de los frutos varió entre colores rojos con valores 22.66 \pm 0.67 18.38 \pm 0.29 y 30.05 \pm 1.17 para ciruela *Chi abal*, *Ek abal* y *Campech abal* respectivamente, y amarillos entre 15.4 \pm 0.38, 9.07 \pm 0.02 y 26.70 \pm 9.02 *Chi abal*, *Ek abal* y *Campech abal* respectivamente (Tabla 5). Los frutos de *Campech abal* fueron los que mostraron mayor pureza y luminosidad del color mientras la variedad *Ek abal* fueron de valores menores en luminosidad con 31.66 \pm 0.10. Las diferencias en los parámetros de color indican que puede ser un carácter que ayude a diferenciar las distintas variedades para su elección y en particular en esta selección se observa que la variedad *Campech abal* es un fruto con mayor estado de madurez y por que presenta un mayor intensidad hacia el color rojo respecto a las dos variedades restantes.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.2.3. Porcentaje de acidez de los frutos

La acidez total titulable se determinó por triplicado con base al método descrito por A.O.A.C. (1984), en matraces de 125 ml. Las muestras de 5 g fueron diluidas en 25 ml de agua destilada, se les adicionó cuatro gotas de fenolftaleína y se homogeneizó. La mezcla resultante se tituló con hidróxido de sodio 0.1 N, hasta alcanzar el cambio de color.

El porcentaje de acidez se expreso como porcentaje de acido cítrico, calculándose con la siguiente fórmula:

$$\text{Porcentaje de Acidez} = [(N)(V)(\text{meq}) / P] 100$$

N: Normalidad

V: Volumen de la solución

P: Peso de la muestra

Meq: Miliequivalente del acido cítrico (0.0064)

Tabla 6. Acidez total titulable (ATT) % de acidez de los frutos maduros

Colecta	Acidez (%)
<i>Chi abal</i>	0.8244
<i>Ek abal</i>	1.1869
<i>Campech abal</i>	0.7099

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En los valores de porcentaje de acidez presente en cada una de las tres variedades se observa que la variedad de ciruela *Ek abal* empleada en las extracciones presento un mayor porcentaje de acidez. Lo que sugiere que esa variedad estaba en un menor estado de madurez en el momento de su selección y posterior extracción de pulpa, respecto a las otras dos variedades; ya que a medida que disminuye el contenido de ácidos se presenta mayor madurez en los frutos.

6.2.4. Índice químico de madurez (SST/AT)

La relación SST/AT que determina la característica de consumo del fruto, fue diferente entre los frutos seleccionados (Tabla 7); sin embargo los frutos de *Chiabal* y *Campech abal* presentaron valores similares respecto la variedad *Ek abal* que tuvo el menor valor, ya que a mayor valor del cociente de la relación SST/AT presenta más aceptabilidad de consumo, esta deducción indica que la variedad *Ek-abal* presento el menor estado de madurez al momento de su selección y posterior extracción de pulpa.

Tabla 7. Índice de madurez IM de las tres variedades de ciruelas evaluadas

Colecta	°brix/Acidez
<i>Chi abal</i>	16.4919
<i>Ek abal</i>	7.9307
<i>Campech abal</i>	16.0304

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

6.3. Identificación cualitativa y cuantitativa de la fracción volátil en los extractos de ciruela (*Ek abal*, *Chi abal* y *Campech abal*) por DES-CG/EM y HS-SPME-CG/EM

Mediante la técnica de extracción por **DES** se identificaron 75 compuestos para la variedad **Campech abal**, de los cuales 23 fueron ésteres, 20 hidrocarburos, 8 alcoholes, 7 aldehidos, 6 terpenos, 6 ácidos y 3 cetonas; para la variedad **Chi abal** se identificaron 99 compuestos volátiles, de los cuales 48 fueron ésteres, 15 alcoholes, 10 aldehidos, 8 éteres, 8 hidrocarburos, 5 cetonas y 5 terpenos; y para la variedad **Ek abal** fueron identificados 67 volátiles los cuales correspondieron a la clasificación siguiente: 22 ésteres, 13 aldehidos, 12 alcoholes, 7 cetonas, 6 terpenos, 4 hidrocarburos, 1 ácido y 1 éter (Tabla 8). Se identificaron en total 177 compuestos volátiles únicos en la pulpa de las tres variedades de ciruelas estudiadas.

Los ésteres fueron los compuestos predominantes en las tres variedades de ciruela (67). Entre los ésteres mayoritarios por su concentración fueron Acetato de etilo (0.156254344 mg/kg) en **Campech abal**, Butirato de etilo (0.9283916 mg/kg) para la variedad **Chi abal** y Acetato de etilo (0.591088386 mg/kg) en **Ek abal** (Tabla 1.1, 1.2 y 1.3 ANEXO). Los compuestos comunes en las tres variedades de ciruela hallados por este método de extracción fueron: E)-2-Hexenal, Acetato de etilo, Propanoato de etilo, Acetato de 4-pentenilo, Hexanoato de metilo, Tiglato de etilo, Hexanoato de etilo, (Z)-3-Hexenil acetato, 2 Metil octanoato de metilo, Octanoato de etilo, Acetato de bencilo, Benzoato de etilo, Z-3-Hexenol, E-2-Hexenol, 1-Hexanol, Dietileter, Estireno, (E)-Cariofileno, P-Cymeno, -terpineno, -Copaeno y Limoneno (Tabla 8) y los compuestos que predominaron, por su mayor concentración en cada una de las tres variedades, fueron 2-Hexano (hidrocarburo) (1.57767501 mg/kg) en la variedad **Campech abal**; E-2-hexenal (aldehído) (1.000858763 mg/kg) en **Ek abal** y Butirato de etilo (éster) (0.9283916 mg/kg) en **Chi abal**.

Por la técnica de extracción **HS-SPME** se identificaron 23 compuestos en la variedad **Campech abal**, de los cuales 13 fueron ésteres, 4 hidrocarburos, 3 alcoholes, 2 terpenos y 1 ácido; en la variedad **Chi abal** se identificaron 37 compuestos en total, de los cuales fueron 28 ésteres, 3 alcoholes, 3 terpenos, 2

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

aldehídos y 1 éteres; y en la variedad **Ek abal** fueron identificados 26 compuestos, de los cuales 13 fueron ésteres, 7 aldehídos, 3 alcoholes, 2 hidrocarburos y 1 cetona (Tabla 8). Se identificaron en total 64 compuestos volátiles únicos en la pulpa de las tres variedades de ciruelas estudiadas.

Igualmente los ésteres fueron los compuestos predominaron en las tres variedades de ciruela (41). Entre los ésteres mayoritarios por su concentración fueron Acetato de etilo (0.1608549 mg/kg) en **Campech abal**, Hexanoato de Etilo (0.44715456 mg/kg) para la variedad **Chi abal** y Acetato de etilo (0.457494682 mg/kg) en **Ek abal** (Tabla 1.1 ANEXO). Los compuestos comunes en las tres variedades de ciruela hallados por el método de extracción HS-SPME, fueron: Acetato de etilo, Hexanoato de metilo, Tigolato de etilo, (Z)-3-Hexenil acetato, Etanol y Z-3-Hexenol (Tabla 8) y los compuestos predominantes en esta técnica de extracción (HS-SPME), por su mayor concentración fueron Acetato de etilo (éster) (0.1608549 mg/kg) en la variedad **Campech abal**; Acetato de etilo (éster) (0.457494682 mg/kg) **Ek abal** y Hexanal (aldehído) (1.26961622 mg/kg) en **Chi abal**.

Los compuestos Acetato de etilo, Propanoato de etilo, Hexanoato de metilo, Tigolato de etilo, (Z)-3-Hexenil acetato, Z-3-Hexenol, 1-Hexanol, (E)-Cariofileno y Limoneno, se destacan por su concentración en todas las variedades de ciruela estudiadas con ambas técnicas, los cuales podrían ser considerados como compuestos característicos del género *Spondias purpurea* L. Otros compuestos tales como Butil benzoato, Mirceno y el 2-Metil butanal han sido reportado por Lemos *et al.*, (2011) de estos compuestos en especial el Z-3-Hexenil acetato, Z-3-Hexenol y 1-Hexanol presentes en las tres variedades de ciruelas analizadas son producidos por biosíntesis a partir ácidos grasos insaturados y son los precursores para la cadena lineal de ésteres (Lemos *et al.*, 2011).

Aunque se aisló un menor número de compuestos con el método de extracción HS-SPME no hubo diferencias respecto a las clases químicas halladas. Muchos de estos grupos químicos (ésteres, alcoholes, hidrocarburos, cetonas, ácidos y aldehídos) han sido reportados por investigadores que han empleado la

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

técnica de extracción SPME con fibras DVB/CAR/PDMS para el análisis de volátiles de frutas, tal es el caso del trabajo sobre la composición volátil de *S. purpurea* de Lemos *et al.* (2011), quienes sugieren que el aroma de las *S. purpureas* se deriva principalmente de la compleja interacción de los diversos compuestos aromáticos presentes y no de un compuesto en específico.

Las diferencias en la cantidad de compuestos extraídos se deben principalmente a las características propias de cada método de extracción, la técnica HS-SPME requiere una fibra de un tamaño pequeño y geometría cilíndrica adaptada a una jeringa, debido a este diseño es fácilmente transportable y de fácil uso, normalmente esta técnica de extracción no conduce a la formación de artefactos, sin embargo tiene una limitada capacidad (la cantidad de recubrimiento es muy pequeña) y en ocasiones se obtienen unos límites de detección bajos. Sin embargo, esta técnica no precisa del uso de solventes orgánicos para llevar a cabo la preconcentración de los analitos, a diferencia del método DES, el cual opera con solventes tanto de mayor, como de menor densidad que el agua tal como diclorometano o éter etílico. Una de las ventajas del método por DES consiste en que el extracto no requiere una concentración posterior; otra ventaja es que con este método se extraen mayor número de componentes utilizando pequeñas cantidades de solvente. En general, se observa que ambas técnicas extraen diferentes cantidades de compuestos aunque de similar grupo químico. Por la técnica HS-SPME se extraen preferentemente compuestos volátiles del espacio de cabeza y por la técnica DES se extraen compuestos volátiles y otros compuestos más pesados poco volátiles presentes en la pulpa de las frutas, lo cual genera la diferencia en la cantidad observada de compuestos extraídos e identificados en ambas técnicas de extracción empleadas en este estudio.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

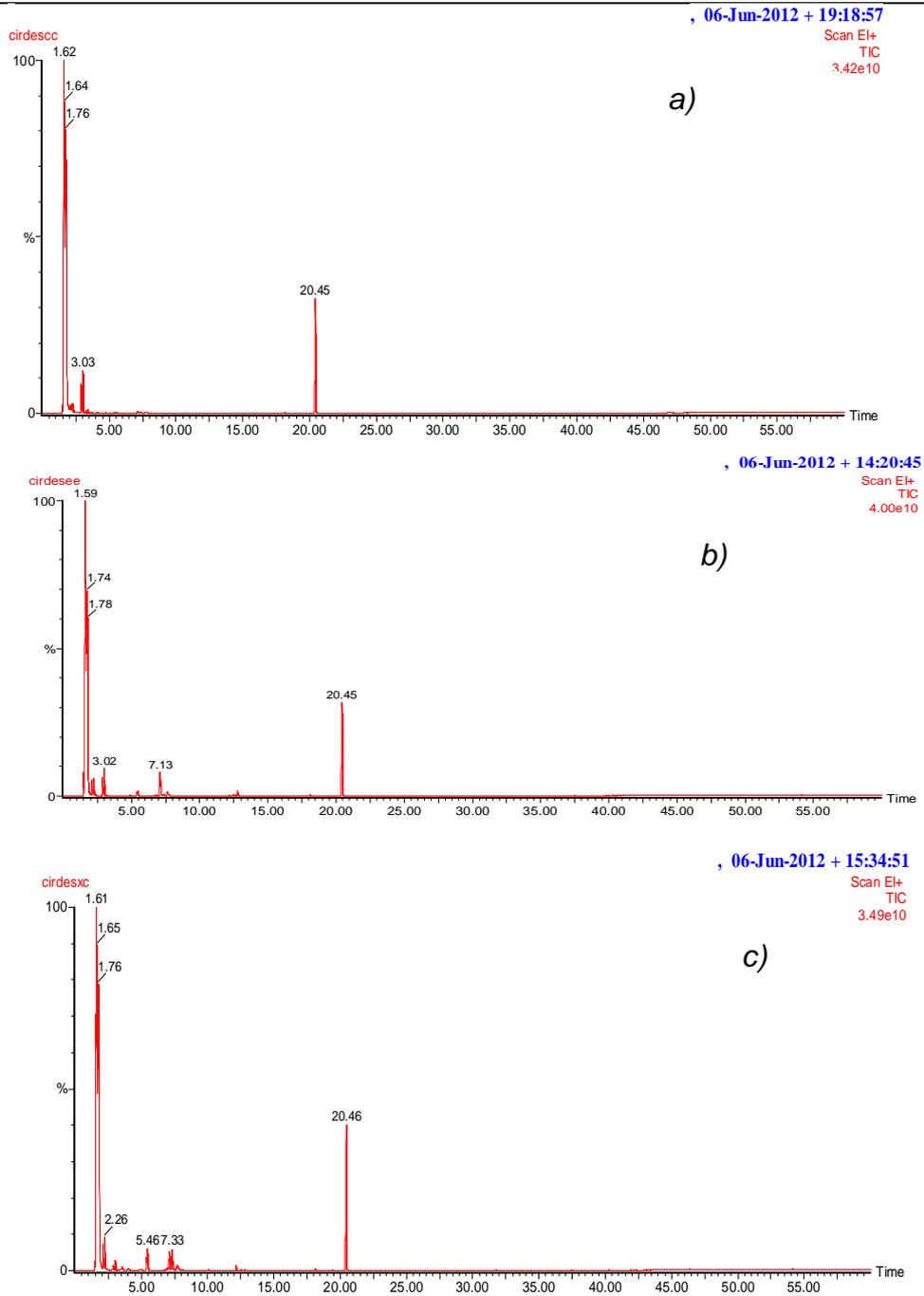


Figura 12. Cromatogramas obtenidos por DES-CG/EM DE: a) *Campech abal*, b) *Ek abal*, c) *Chi abal*

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

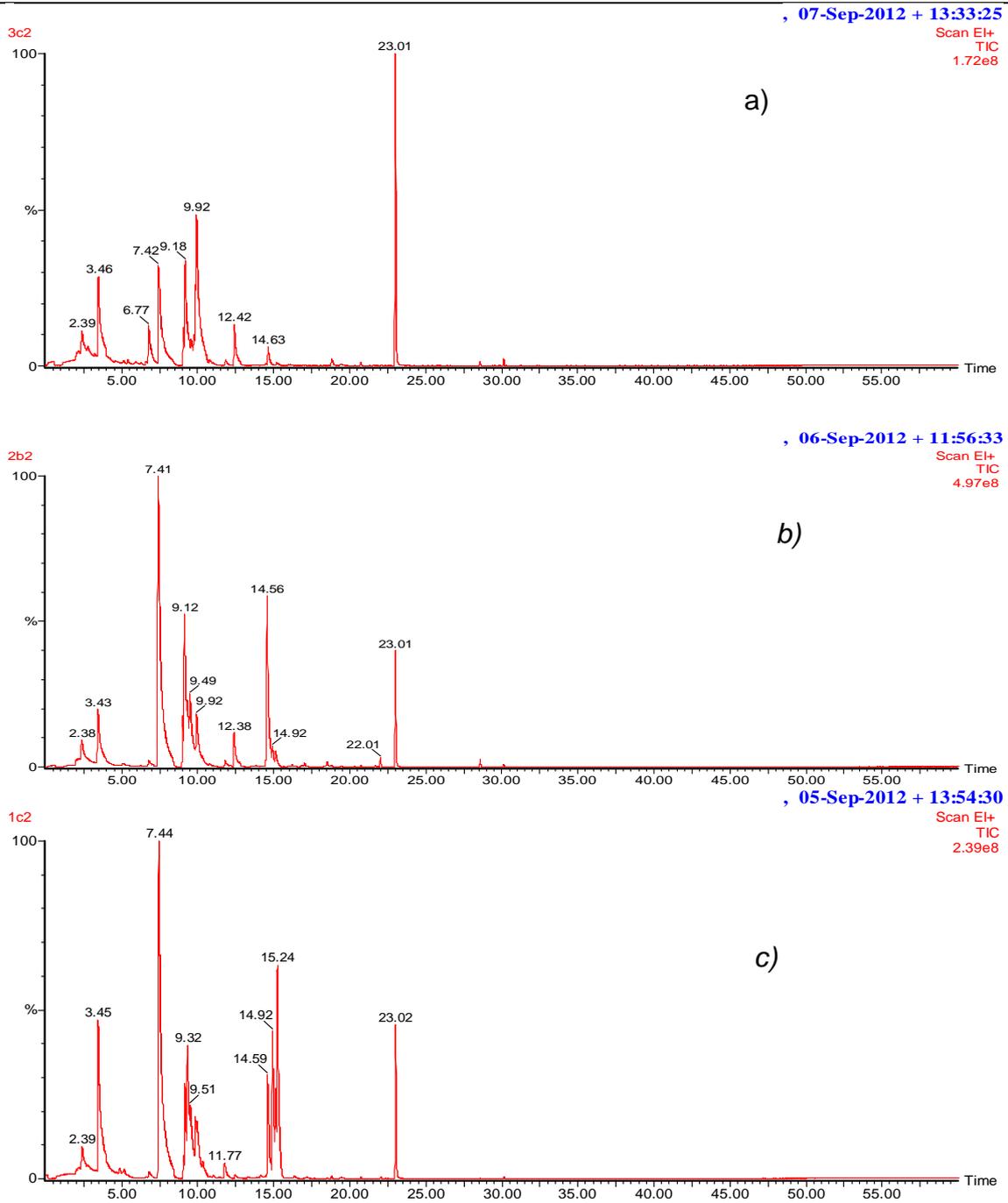


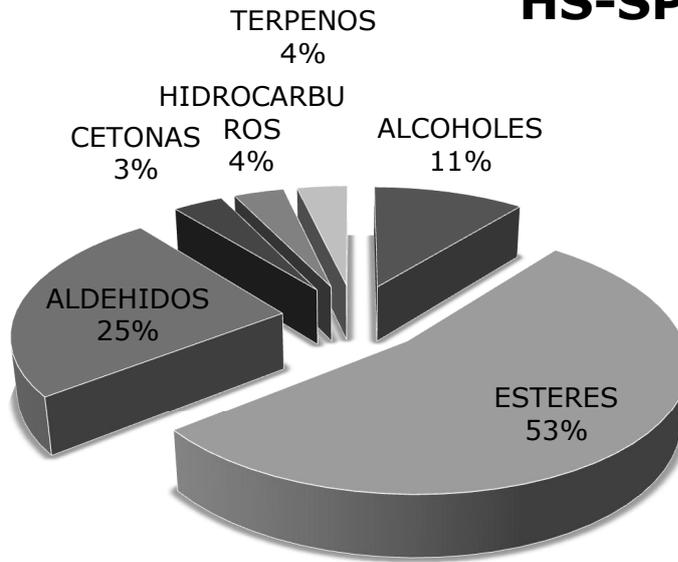
Figura 13. Cromatogramas obtenidos por HS-SPME-CG/EM DE: a) *Campechabal*, b) *Ekabal*, c) *Chiabal*

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Las tres variedades de ciruelas analizadas presentaron perfiles similares en sus cromatogramas (Figuras 12 y 13). Mediante la técnica de extracción DES se pudo determinar 22 compuestos comunes en las tres frutas analizadas y 6 compuestos comunes por la técnica HS-SPME. A través de la técnica de extracción DES fue posible hallar un mayor número de compuestos en las tres variedades estudiadas.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

HS-SPME *Ek abal*



DES *Ek-abal*

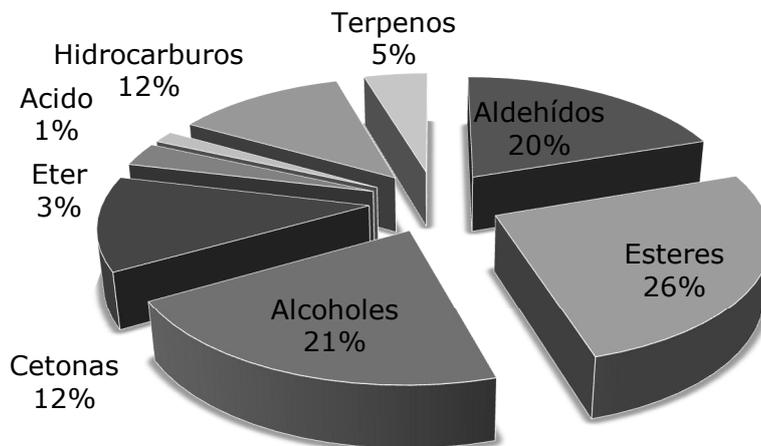
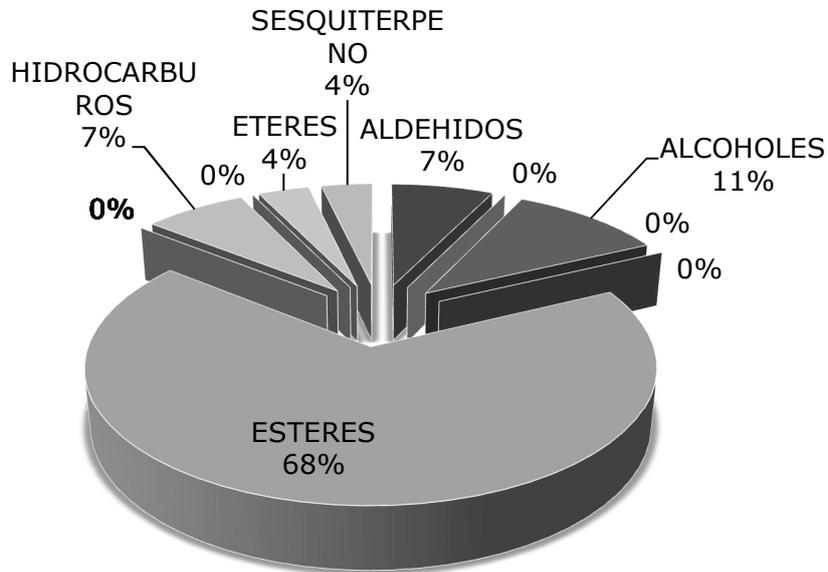


Figura 14. Porcentajes de los grupos químicos en la variedad *Ek abal* comparando los dos métodos de extracción HS-SPME Y DES.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

HS-SPME *Chi abal*



DES *Chi abal*

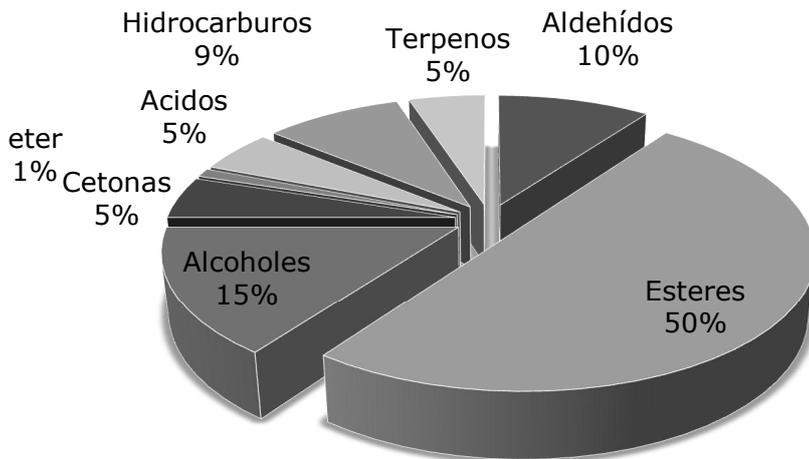


Figura 15. Porcentajes de los grupos químicos en la variedad *Chi abal* comparando los dos métodos de extracción HS-SPME Y DES.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

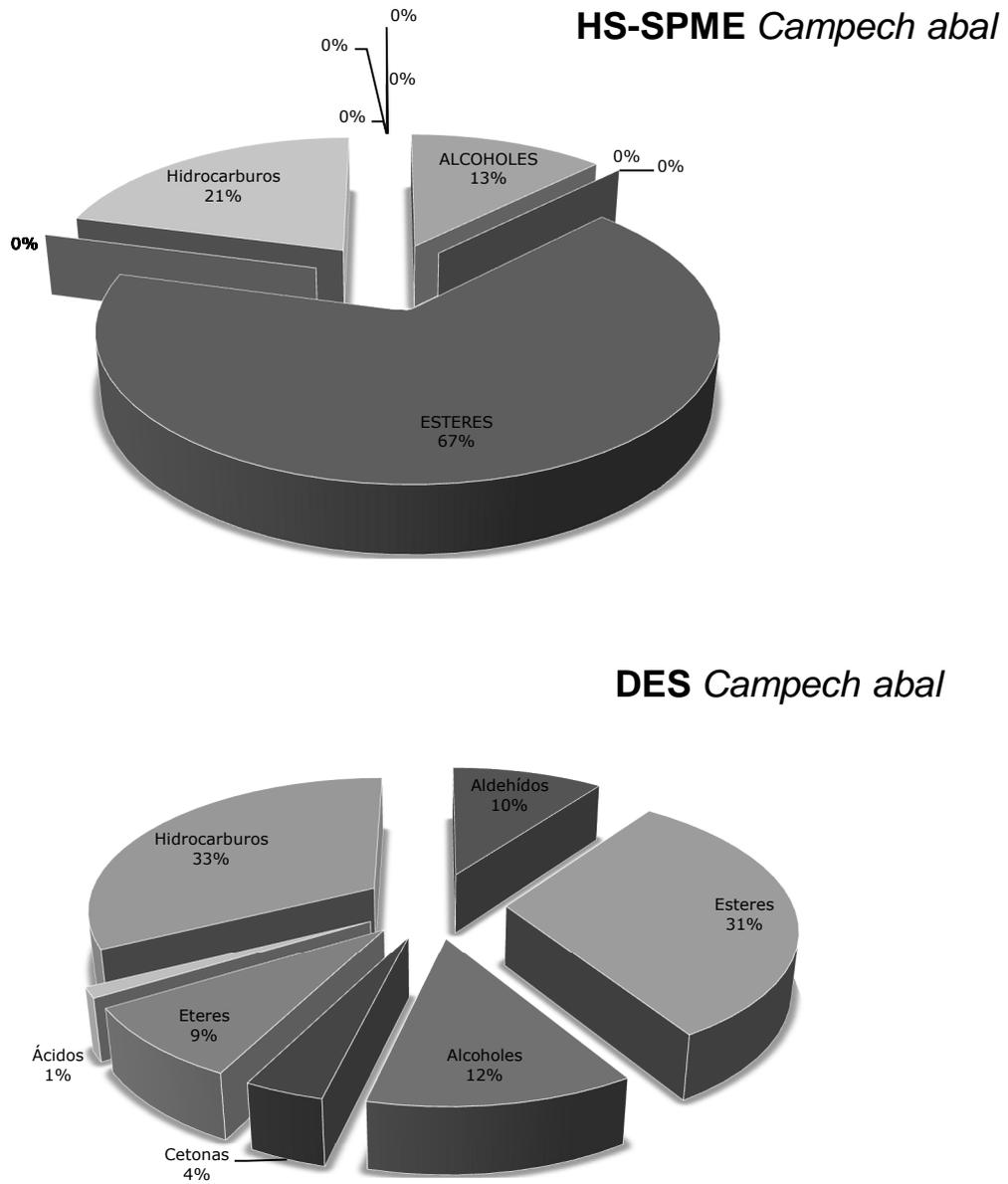


Figura 16. Porcentajes de los grupos químicos en la variedad *Campech abal* comparando los dos métodos de extracción HS-SPME Y DES.

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En las Figura 15, 16 y 17 se observan las diferencias en porcentajes de los grupos químicos de los compuestos identificados en cada variedad analizada por ambas técnicas de extracción. En todas las variedades estudiadas de ciruela se observó que por la técnica de extracción **HS-SPME** se obtiene un mayor porcentaje de ésteres y menor porcentaje de alcoholes que por la técnica **DES**, lo cual indica una mayor afinidad de la fibra hacia los compuestos intermedios. Es importante observar que la variedad *Chi abal*, los ésteres fueron los compuestos predominantes ya que con ambas técnicas se obtuvo porcentajes altos de los mismos.

Las diferencias encontradas en el presente trabajo puede ser debido al tipo de suelo de la península y/o factores climáticos de las diferentes regiones geográficas del país, así como a la posible diversidad del germoplasma vegetal tal como se reporta en el trabajo de análisis de los compuestos volátiles en *Spondias* de Ceva-Antunes, (2003).

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 8. Compuestos volátiles identificados en ciruela *Campech abal*, *Ek abal*, *Chi abal* comparados mediante los dos métodos de extracción DES/CG/EM Y HS-SPME/CG-EM.

COMPUESTO Y GRUPO QUÍMICO	DES			HS-SPME		
	<i>Campech Abal</i>	<i>Chi abal</i>	<i>Ek abal</i>	<i>Campech abal</i>	<i>Chi abal</i>	<i>Ek abal</i>
ALDEHÍDOS (22)						
2-propenal	❖	-	-	-	-	-
3 Metil butanal	❖	-	-	-	-	-
2-Metil butanal	❖	-	-	-	-	-
2-Etil Furan	❖	-	-	-	-	-
(E)-2-Hexenal	❖	❖	❖	-	❖	❖
Benzaldehido	❖	-	❖	-	-	-
3-Furaldehido	❖	-	-	-	-	-
Decanal	❖	-	❖	-	-	-
Butanal, 3-metil	-	-	❖	-	-	-
Acetoína	-	-	❖	-	-	-
3 metil 2-Butenal	-	-	❖	-	-	-
Acetato de butilo	-	-	❖	-	-	-
(E)-2-Octenal	-	-	❖	-	-	-
Nonanal	-	❖	❖	-	-	❖
(E)-2-Nonenal	-	❖	❖	-	-	-
Safranal	-	-	❖	-	-	-
Furfural	-	-	❖	-	-	-
(E) 2- Heptenal	-	-	❖	-	-	❖
Pentanal	-	-	-	-	-	❖
Hexanal	-	❖	-	-	❖	❖
Heptanal	-	-	-	-	-	❖
(Z)-2-octenal	-	-	-	-	-	❖
Etanal	-	❖	-	-	-	-
(E)-2-Pentenal	-	❖	-	-	-	-
2 Furfural	-	❖	-	-	-	-
Benzenoacetaldehido	-	❖	-	-	-	-
Dodecanal	-	❖	-	-	-	-
Hexilcinnamaldehido	-	❖	-	-	-	-
ESTERES (81)						
3 Etil Metil butirato	-	-	❖	-	-	❖
3 Metil butanoato	-	-	❖	-	-	❖

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 8 (Continuación)

Acetato de bencilo	-	-	❖	-	-	-
Gamma Hexalactone	-	-	❖	-	-	-
E-2-Hexenilo	-	-	❖	-	-	❖
E 2 metil hexanoato	-	-	❖	-	-	-
Isovalerato de Etilo	-	-	❖	-	-	❖
Hexanal	-	-	❖	-	-	-
Butanoato de etilo	❖	-	-	❖	-	-
Etil 2-metilbutanoato	❖	-	-	-	-	-
2 Metil benzofuran	❖	-	-	-	-	-
metil cinamato	❖	-	-	-	-	-
Fitalato de etilo	❖	-	-	-	-	-
2-etilhexil benzoato	❖	-	-	-	-	-
Butil fatalato	❖	-	-	-	-	-
Isopropil Palmitato	❖	-	-	-	-	-
Homosalato	❖	-	-	-	-	-
Butanoato metilo	-	-	-	❖	-	-
2 metilbutirato de etilo	-	-	-	❖	-	-
Tiglato de metilo	-	-	-	❖	-	-
Acetato de etilo	❖	❖	❖	❖	❖	❖
Propanoato de etilo	❖	❖	❖	❖	❖	-
Acetato de propilo	-	❖	❖	-	❖	❖
Metil butanoato	-	❖	-	-	❖	-
Etil isobutirato	-	❖	-	❖	❖	-
Isovalerato de metilo	❖	❖	-	❖	-	-
Etil butirato	-	❖	-	-	-	-
Acetato de n- butilo	-	❖	-	-	-	-
2-Metilbutanoato de etilo	-	❖	-	-	❖	-
Isovalerato de etilo	❖	❖	-	❖	❖	-
Acetato de 4-pentenilo	❖	❖	❖	-	-	❖
Butanoato de propilo	-	❖	-	-	❖	-
Acetato de pentenil	-	❖	-	-	-	-
Hexanoato de metilo	❖	❖	❖	❖	❖	❖
Tiglato de etilo	❖	❖	❖	❖	❖	❖
Isobutil isovalerato	-	❖	-	-	-	-
(E)-2-Heptenal	-	❖	-	-	-	-
2 Furoato de metilo	-	❖	-	-	-	-
Butanoato de butilo	-	❖	-	-	-	-
Hexanoato de etilo	❖	❖	❖	-	❖	❖

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 8 (Continuación)

(E) 3-hexanoato etílico	-	❖	-	-	-	-
(Z)-3-Hexenil acetato	❖	❖	❖	❖	❖	❖
3-Metilbutil butirato	-	❖	-	-	❖	-
Sorbato de etilo	-	❖	-	-	-	-
Benzoato de metilo	❖	❖	-	❖	❖	-
Octanoato de metilo	-	❖	-	-	-	-
3-Hidroxi hexanoato de etilo	-	❖	-	-	-	-
2-Metil octanoato de metilo	❖	❖	❖	-	❖	-
Salicilato de metilo	❖	❖	-	-	-	-
Acetato de octilo	-	❖	-	-	-	-
Hexil 3-metilbutanoato salicilato de etilo	-	❖	-	-	-	-
Etil nonanoato	-	❖	-	-	-	-
Decanoato de etilo	-	❖	-	-	-	-
Laurato de etilo	-	❖	-	-	-	-
Tetradecanoato de etilo	-	❖	-	-	-	-
Falato de isobutilo	-	❖	-	-	-	-
Metil hexadecanoato	-	❖	-	-	-	-
Dibutil fitalato	-	❖	-	-	-	-
Palmitoato de etilo	-	❖	-	-	-	-
Hexadecanoato isopropílico	-	❖	-	-	-	-
Linolenato de etilo	-	❖	-	-	-	-
Octadecanoato de etilo	-	❖	-	-	-	-
Octanoato de etilo	❖	❖	❖	-	❖	❖
Acetato de bencilo	❖	❖	❖	-	-	❖
Benzoato de etilo	❖	❖	❖	-	-	-
(E)-3-hexenilo butirato	-	❖	-	-	-	-
Nicotinato de metilo	-	❖	-	-	-	-
3-Hexanoato de metilo	-	-	-	-	❖	-
2-Metilpropil butanoato	-	-	-	-	❖	-
Acetato de Hexilo	-	-	❖	-	❖	❖
Isovalerato de butilo	-	-	-	-	❖	-
Etil heptanoato	-	-	-	-	❖	-
5-Metil hexanoato de etilo	-	-	-	-	❖	-
Prenil Acetato	-	-	❖	-	-	❖
4-Pentenil butirato	-	-	-	-	❖	-
2,4-Hexanoato de etilo	-	-	-	-	❖	-
Benzoato de metilo	-	-	-	-	❖	-

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 8 (Continuación)

2 Metil octanoato de metilo	-	-	-	-	❖	-
(Z) 3-hexenil butanoato	-	-	-	-	❖	-
Butanoato de hexilo	-	-	-	-	❖	-
ALCOHOLES (23)						
Etil alcohol	❖	-	❖	-	-	-
2-metil 3-Buten-2-ol	❖	-	-	-	-	-
1-Pentanol	❖	-	❖	-	-	-
Z-3-Hexenol	❖	❖	❖	❖	❖	❖
E 2-Hexenol	❖	❖	❖	-	-	❖
1-Hexanol	❖	❖	❖	❖	❖	-
3-Ciclohexenol	❖	-	-	-	-	-
oxido de linalol	❖	-	-	-	-	-
1-Tetradecanol	-	❖	-	-	-	-
Etanol	-	❖	❖	❖	❖	❖
2-Metilpropanol	-	❖	-	-	-	-
1-penten-3-ol	-	❖	-	-	-	-
3-metil-3-butenol	-	❖	-	-	-	-
2-Metilbutanol	-	❖	-	-	-	-
(Z)-2-Pentenol	-	❖	❖	-	-	-
3 Metil 2-Butenol	-	❖	-	-	-	-
4 Nonanol	-	❖	❖	-	-	-
11-Tridecinol	-	❖	-	-	-	-
Isofitol	-	❖	-	-	-	-
Dodecanol	-	❖	❖	-	-	-
N-Buanal	-	-	❖	-	-	-
3-metil-4-Heptanol	-	-	❖	-	-	-
2-3 Dimetil-3-octanol	-	-	❖	-	-	-
CETONAS						
2-Ciclohexenone	❖	-	❖	-	-	-
2,3-dehidro-alpha-ionone	❖	-	-	-	-	-
trans-Geranilacetone	❖	-	-	-	-	-
3-Pentanona	-	❖	❖	-	-	-
4-Metil 3-Penten-2-ona	-	❖	-	-	-	-
3-Octanona	-	❖	❖	-	-	❖
beta-Ionona	-	❖	-	-	-	-
Benzofenona	-	❖	-	-	-	-
3-Heptanona	-	-	❖	-	-	-
3-Heptanone, 5-metil	-	-	❖	-	-	-

Tabla 8 (Continuación)

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

2,2,6-Trimetilciclohexanona	-	-	❖	-	-	-
5-Nonanona	-	-	❖	-	-	-
ETERES (8)						
Dietileter	❖	❖	❖	-	-	-
2-metil Furan	❖	-	-	-	-	-
2,5-Dimetil Furan	❖	-	-	-	-	-
2,3,5 trimetilfurano	❖	-	-	-	-	-
Furfural-5-metil	❖	-	-	-	-	-
Benzofuran	❖	-	-	-	-	-
Eucalipto	❖	❖	-	-	❖	-
Hidrofurano	-	-	❖	-	-	-
ÁCIDOS (6)						
Acido nonanoico	-	❖	-	❖	-	-
Acido hexanoico	-	❖	-	-	-	-
Acido decanoico	-	❖	-	-	-	-
Ácido octanoico	-	❖	❖	-	-	-
Ácido dodecanoico	-	❖	-	-	-	-
Acido etílico	-	❖	-	-	-	-
HIDROCARBUROS (26)						
2-Hexano	❖	-	-	-	-	-
Ciclohexeno	❖	-	-	-	-	-
Tolueno	❖	-	❖	❖	-	❖
p-Xileno	❖	-	-	-	-	-
Estireno	❖	❖	❖	❖	-	-
1,2,3-trimetilbenzeno	❖	-	-	-	-	-
E- butenilbenzeno	❖	-	-	-	-	-
verdoracine	❖	-	-	-	-	-
Bi-2-ciclohexenil	❖	-	-	-	-	-
1,1,6-trimetil 1,2, dihidro Naphtaleno	❖	-	-	-	-	-
(E)-Cariofileno	❖	❖	❖	❖	-	❖
(E)-alpha-Bergamoteno	❖	-	-	❖	-	-
Humuleno	❖	-	-	-	-	-
2-phenil dodecano	❖	-	-	-	-	-
Isobutil phtalato	❖	-	-	-	-	-
N-Octadecano	❖	-	-	-	-	-
Nonadecano	❖	-	-	-	-	-
Eicosano	❖	-	-	-	-	-

VI. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 8 (Continuación)

Docosano	❖	-	-	-	-	-
TDN	-	❖	-	-	-	-
Metil cinnamato	-	❖	-	-	-	-
- Muuroleno	-	❖	-	-	-	-
-cadineno	-	❖	-	-	-	-
Cadineno	❖	-	-	-	-	-
Tetracosano	-	❖	-	-	-	-
Ciclohexeno	-	❖	❖	-	-	-
TERPENOS (9)						
-Copaeno	❖	❖	❖	❖	-	-
Limoneno	❖	❖	❖	❖	❖	-
Carvone	-	❖	-	-	-	-
-Terpineno	❖	❖	❖	-	-	-
-cubebeno	❖	-	-	-	❖	-
dl-Limoneno	❖	-	-	-	❖	-
P-Cimeno	❖	❖	❖	-	-	-
Trans-beta-Damascenone	-	-	❖	-	-	-
-selinene	-	-	❖	-	-	-

VII. CONCLUSIONES

Los frutos analizados de *Spondias purpurea* L. seleccionados como frutas maduras, fueron correlacionadas con los parámetros fisicoquímicos para determinar el estadio de maduración de cada una de las variedades analizadas. De acuerdo a los valores obtenidos se concluye que en el momento de su colecta las variedades se encontraban en los estadio de maduración siguientes: *Ek abal* semimadura (SST/AT: 7.9307); *Campech abal* madura (SST/AT: 16.0304); *Chi abal* madura (SST/AT: 16.4919).

Los compuestos más importantantes hallado para las variedades estudiadas por la técnica de extracción DES fueron para ***Campech abal*** 2-Hexano (hidrocarburo), en ***Chi abal*** Butirato de etilo (éster) y en la variedad ***Ek abal*** E-2-Hexenal (aldehído). En total fueron identificados 177 compuestos con esta técnica de extracción de los cuales 22 se encontraron presentes en las tres variedades analizadas. El compuesto Butirato de etilo fue característico únicamente para la variedad ***Chi abal*** ya que no fue identificado en las otras variedades estudiadas.

Los compuestos más importantantes hallado para las variedades estudiadas por la técnica de extracción HS-SPME fueron para la variedad ***Campech abal*** 1 Hexanol (alcohol), en ***Chi abal*** Hexanal (aldehído) y en ***Ek abal*** Hexanal (aldehído). En total fueron identificados 64 compuestos por esta tecnica de extracción y 6 compuestos se encontraron presentes en las tres variedades.

El compuesto Acetato de etilo fue identificado en las tres variedades analizadas. Es un éster característico de las variedades *Ek abal* y *Campech abal* ya que se encontró como compuesto predominante por su concentración a diferencia de la variedad *Chia bal* en la cual el éster mayoritario fue Hexanoato de etilo.

Por la tecnica de extracción DES se identifico para la variedad *Campech abal* 75 compuestos, *Chi abal* 99 y en *Ek abal* 67 y por HS-SPME se identificaron en total 23 compuestos en la variedad *Campech abal*, 37 en *Chi abal* y 26 en *Ek abal*. La composición química de los componentes y sus porcentajes de distribución

VII. CONCLUSIONES

en los grupos químicos identificados fue muy similar por las dos técnicas de extracción.

VIII. RECOMENDACIONES

VIII. RECOMENDACIONES

Se recomienda hacer un estudio de la influencia de variables de cultivo (luz, fertilizante, pH del suelo, riego, etc) sobre la composición de la fracción volátil de las variedades estudiadas en el presente Proyecto, ya que estos parámetros pueden influir en la presencia de los diferentes grupos químicos de los compuestos extraídos, incluso en frutos de la misma especie cultivadas en la misma región pueden presentar variaciones.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

IX. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

1. - AOAC. 1992. Official Methods of Analysis of the Association of Official Analytical Chemistry. 11. ed. Washington, AOAC. 1115p.
- 2.-Anónimo. (2006). Anuario Estadístico de la Producción Agrícola de los Estados Unidos Mexicanos. SIAP-SAGARPA. Perennes. Tomo III. pp. 68-69.
- 3.- Arellano, R, J. A; Flores, G., J. S., Garrido, T., J. y Cruz, B., M., M., (2003). Nomenclatura, forma de vida, usos, manejo y distribución de las especies vegetales de la Península de Yucatán. Editorial Universidad Autónoma de Yucatán. pp. 27- 28
- 2.- Adams, Robert, (1995). Identification of Essential Oils Components by Gas Chromatography/Mass Spectroscopy, Ed. Allured Publishing Corporation, Carol Stream, pp. 469.
- 3.- Avitia, G., Castillo, G., Pimiento, B., (2003). Ciruelas mexicana y otras especies del género *Spondias* L. Universidad Autónoma de Chapingo. pp. 5-17, 19-33.
- 4.- Airy-Shaw, H, K., (1973). Willis a dictionary of the flowering plants and ferns, 8th ed. Cambridge University Press, Cambridge. (rev) pp.1243.
- 5.- Bolívar, F. N. de J., Valencia, G., M., y Sauri, D., E. (2009). Recursos filogenéticos de origen tropical su contenido de micronutrientes. Editorial Arpromex;. pp. 69-70.
- 6.- Baraona, M., Rivera, G., (1995). Desarrollo del Jocote (*Spondias Purpurea* L.) y del cas (*Psidium friedrichsthalianum* (Berg.) Niedz) en el Bosque Húmedo Remontano de Costa Rica. Agronomía Mesoamericana. pp. 23-31.
- 7.- Balasubramanian, S., Suranjan P., (2011). Solid- Phase Microextracción (SPEME) Techniques for Quality Characterization of Food Products: A Review. pp 4:1-26
- 8.- Bottia, S. E., Díaz. F. O., Mendivelso D., Martínez, J. R., (2007). Comparación de la Comparación de la Composición Química de los Metabolitos Secundarios Volátiles de Cuatro Plantas de la Familia Piperraceae Obtenidos por Destilación

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

Extracción Simultánea. Scientia Et Technica. Universidad Tecnológica de Pereira. pp. 193-195.

9.- Cunha, F, H., Elesbao, A., (2001). Calidad de Frutas Nativas de Latinoamérica para Industria: jobo (*Spondias mombin* L.). *Proc. Interamer. Soc. Trop. Hort.* 43 pp.72-76.

10.- Ceva-Antunes, P. M. N., Bizzo, H. R., Alves, S. M., & Antunes, O. A. C. (2003). Analysis of volatile compounds of Taperebá (*Spondias mombin* L.) and Cajá (*Spondias mombin* L.) by simultaneous distillation and extraction (SDE) and solid phase microextraction (SPME). *Journal of Agricultural and Food Chemistry*, 51, 1387-1392.

11.- Cunningham, A.J.; Barry, P., (1986). Intraocular-pressure-physiology implication for anesthetic management. *Can. Anesth. Soc. J.* 33 Pp195-208.

12.- Colunga-García M. P.; May F. (1992) El sistema milpero y sus recursos fitogenéticos. Zizumbo D, Rasmussen CH, Arias L, Terán S. Editorial *La Modernización de la Milpa en Yucatán: Utopía o Realidad*. CICY-DANIDA. México. pp. 47-159.

13.- De Man, John. 1999. Principles of Food Chemistry. Aspen Publisher, Gaithersburg, Maryland. pp. 214-215.

14.- Desrosier. N. W. (1997) Conservación de alimentos. Editorial.Compañía Editorial Continental, S. A. de C. V. vigésima séptima edición. pp. 319- 327.

15.- Dodson C. H.; Gentry A. H. (1978) *Flora of the Rio Palenque Science Center*. Selbyana pp. 1-628.

16.- De Souza A. C. C., De Lemos C. P. C. y Guerra M. (2007) Karyotype differentiation among *Spondias* species and the putative hybrid Umbu-cajá (Anacardiaceae). *Botanical Journal Of the Linnean Society*. 155: pp. 541. 547.

17.- Gómez R., A.; (2008). Guía de Métodos de Análisis por Cromatografía líquida de alta eficiencia. Caracas

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 18.- Gonzales, G., J. L. (2009) Tesis Doctoral. Departamento de Química Facultad de Ciencias. Técnicas de Separación para el Estudio de Biosistemas metabólitos de origen vegetal y contaminantes en tejidos dentales.
- 19.- IAL. 1985. Normas analíticas, métodos químicos y físicos para análisis de alimentos. São Paulo, IAL 533p.
- 20.- Jennings, W.; Shibamoto, T.(1980). Qualitative Analysis of Flavor and Fragrance Volatiles by Glass Capillary Gas Chromatography, Ed. Academic Press, London, pp. 472.
- 21.- Konig, W. A.; Joulain, D. (1998). The Atlas of Spectral Data of Sesquiterpene 91 Hydrocarbons, Ed. Verlag, Hamburg, pp. 658.
- 22.- Kane, A. M.; Lyon B. G. (2003). Comparison of Two Sensory and Two Instrumental Methods to Evaluate Cookie Color. Journal of Food Science. Vol. 71, pp. 433-437.
- 23.- Morales, M. T.; Aparicio R.; Gutierrez F. (1992). Tecnicas de aislamiento de volátiles de aceites vegetales. Vol. 43 Fasc. 3.
- 24.- Morton, J. F. (1987). Las frutas de climas cálidos. pp. 242-245.
- 25.- Martínez, M. M.; Cevallos, F.S. (2005). Arquitectura Foliar de Anacardiaceae. pp. 137-190.
- 25.- Mestres, M. (2000). Aplicación de la microextracción en fase sólida al análisis de aroma en vinos. Técnicas de laboratorio 251 pp. 289-295.
- 26.- R. Guerrero.; M. Manzanilla.; C. Hernández.; J. Chacín y C. Clamens. (2011). Caracterización fisicoquímica de frutos de Ciruelo de huesito (*Spondias purpurea* L.) en el municipio Mara. Rev. Fac. Agron. (LUZ), pp 670-676.
- 27.- Song, J.; Horney, C.F. (2008). Flavour volatile production and regulation in fruit. Can. J. Plant Sci. 88 pp. 537-50.
- 28.- Wyllie, S. C.; Leach, D. N.; Wang, Y.M.; Shewfelt, R.L. (1995). Key aroma compounds in melon: Their development and cultivar dependence. In Rouseff, R.
- 29.- Leahy, M. M. (eds.) Fruit Flavors: Biogenesis, Characterization and Authentication. Washington, D.C.: American Chemical Society, pp. 248-257.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 30.- Lemos, B. J., Molina, G., Dionísio, P. A. (2011). Volatile Constituents of Exotic Fruits From Brazil. *Food Research International*. pp. 1843-1855.
- 31.- Kostermans A. J. G. H. (1991). *Kedondong, Ambarella, and Amra: The Spondiadeae (Anacardiaceae) in Asia and the Pacific Area*. Herbarium Bogoriense. Bogor, Indonesia. pp.100.
- 32.- Kramer, A. (1976). Use of color measurement in quality control of foods. *Food Technology*. pp. 62.
- 33.- Koziol, M. J., M J Macía. (1998). Chemical Composition, Nutritional Evaluation and Economic Prospects of *Spondias purpurea* (Anacardiaceae). *Econ. Bot.* 52:373-380.
- 34.- Pennignton T. D., Sarukhán J. (1998). *Árboles Tropicales de México*. FCE. México. pp. 498.
- 35.- Pérez L. A., Saucedo V. C. (2004). Efecto del grado de madurez en la calidad y vida postcosecha de ciruelas mexicana (*Spondias purpurea* L.). *Rev. Fitotecnia Mexicana* Vol 27. pp. 133-139.
- 36.- Pino, J. (1995). Principios y métodos para el análisis del aroma de los alimentos. La Habana, Cuba: Instituto de Investigaciones para la Industria Alimenticia.
- 37.- Pérez, A, G.A., Alia, T. I. (2008). Características Físicas y Químicas de ciruelas Mexicanas (*Spondias purpurea*) en Guerrero. *Rev. Investigación Agropecuaria*. Vol. 5 (2) pp. 141-149.
- 38.- Pimienta E. y Ramírez Hernández B. C. 2004. Ecofisiología de la ciruela mexicana (*Spondias purpurea* L., Anacardiaceae). *Scientia CUCBA*. 6: 1-2. pp. 65.
- 39.- Pérez, S.J. y Pérez J. P. (2011) Microextracción en fase sólida. Sevi # 3347.
- 40.- Riu, A. M. (2005). Caracterización de compuestos volátiles en bebidas derivadas de fruta. Tesis, Universidad de Barcelona, Barcelona, España, Pp. 1
- 41.- Rzedowski J, Rzedowski G. C. (1999) *Familia Anacardiaceae*. Flora del Bajío y Regiones Adyacentes. Fascículo 78. Instituto de Ecología. México. Pp. 52.
- 42.- Stashenko, E., y Bernal, J., (1991). Resonancia magnética nuclear (^1H , ^{13}C), y acoplamiento; cromatografía de gases. Espectrometría de masas, Bucaramanga, UIS, Departamento de Química.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS

- 43.- Souza, N. N., (1949) Los ciruelos de Yucatán. *Bol. Soc .Bot. Méx* 9: 5-12.
- 44.- Sousa, G. M., Narain, N. Madruga, S. M., (2010). Volatiles Compounds in Umbu (*Spondias tuberosa* Arruda Camara) Fruits during Maturation. Pp. 509-516
- 45.- Quijano, C. (2004). Una visión acerca del aroma. *Química en Uniandes* (1), Pp. 8-21

PÁGINAS DE INTERNET CONSULTADAS

- 1.- <http://www.nobel.se/chemistry/laureates/1952/synge-lecture.html>.
- 2.- <http://www.mexconnect.com/es/articles/2133-exotic-summer-refreshment-a-guide-to-mexico-s-tropical-fruit>

ANEXO

Tabla 1.1 Lista de compuestos de la variedad *Campech abal* por el método HS/SPME y GC/MS

GRUPO QUIMICO	NOMBRE	TR	BD	IR	CCmg/kg
Alcohol	Etanol	2.382	wi	427.4	0.059722011
Ester	Acetato de etilo	3.453	hp	605	0.160854859
Ester	Propanoato de etilo	5.103	wi	709	0.002531866
Ester	Butanoato metilo	5.37	op	724	0.003451244
Ester	Etil isobutirato	6.27	wi	760	0.001195971
H.A	Tolueno	6.574	R	753	0.001935751
Ester	Isovalerato de metilo	6.778	R	793	0.047840582
Ester	Butanoato de etilo	7.421	wi	798	0.156988593
Ester	2 Metilbutirato de etilo	9.054	wi	845	0.015808531
Ester	Isovalerato de etilo	9.168	wi	856	0.098029387
Alcohol	(Z)-3-Hexenol	9.581	M	861	0.005094751
Ester	Metil tiglató	9.753	R	868	0.005843293
Alcohol	1-Hexanol	9.924	fl	870	0.194455591
H	Stireno	10.786	wi	895.2	0.002255048
Ester	Hexanoato de metilo	11.85	wi	934	0.004777318
Ester	Etil tiglató	12.412	R	949	0.042519565
Ester	Hexanoato de etilo	14.634	wi	997	0.013798907
Ester	(Z) acetato -3-hexenilo	14.93	wi	1002	0.033283068
Ester	Acetato de hexilo	15.196	wi	1007	0.002729338
H	Limoneno	15.956	op	1028	0.000660523
Ester	Benzoato de metilo	18.81	wi	1093	0.005389523
Ester	2Metiloctanoato de metilo	29.715	wi	1118	0.001869253
H	Alpha-Copaeno	28.58	wi	1375	0.001769089
H	(E)-Cariofileno	30.142	wi	1422	0.002532372

TR = Tiempo de retención; IR = índices de retención obtenidos utilizando una serie de n-alcanos (C7-C26) en un AT5-ms, (5% fenil y 95% metilpolidimetilsiloxano) columna (30 m '0,25 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor de la fase estacionaria); GQ = grupo químico, BD= base de datos y CC.= concentración de compuesto.

Tabla 1.2 Lista de compuestos de la variedad *Chi abal* por el método HS-SPME y GC/MS

GQ	NOMBRE	TR	BD	IR	CC mg/kg
Alcohol	Etanol	2.374	wi	427	0.143966084
Ester	Acetato de etilo	3.42	R	605	0.210804158
Ester	Propanoato de etilo	5.055	wi	704	0.007857206
Ester	Acetato de propilo	5.134	wi	712	0.002407637
Ester	Butanoato de metilo	5.371	op	724	0.002103961
Ester	Isobutirato de etilo	6.228	fl	751	0.002648408
Ester	Isovalerato de etilo	6.77	wi	793	0.019672255
Aldehído	Hexanal	7.41	wi	802	1.269616217
Ester	2 Metil butanoato de etilo	9.007	M	845	0.064263474
Ester	Isovalerato de etilo	9.124	wi	856	0.382545007
Aldehido	(E)-2 hexanal	9.305	R	857	0.177905838
Alcohol	(Z)-3-Hexanol	9.486	M	861	0.314683063
Alcohol	1-Hexanol	9.913	fl	870	0.253393611
Ester	Butanoato de propilo	10.762	R	900	0.009079163
Ester	Metil hexanoato	11.793	wi	934	0.01968082
Ester	3-Hexanoato de metilo	12.115	op	936	0.003030888
Ester	Etil tiglato	12.376	wi	948	0.110507889
Ester	2-Metilpropil	12.945	wi	958	0.001402905
Ester	Butanoato	12.945	wi	958	0.001402905
Ester	Etil hexanoato	14.541	wi	997	0.447154561
Ester	Acetato Z-3 Exenilo	14.903	op	1004	0.050295919
Ester	Acetato de hexilo	15.118	wi	1007	0.041589955
H.	Limoneno	15.962	li	1028	0.000963562
Eter	Eucalipto	16.198	wi	1030	0.005613852
Ester	Isovalerato de butilo	16.442	wi	1047	0.001213979
Ester	3-metilbutanoato de butilo	16.823	wi	1059	0.001744994
Ester	Etil heptanoato	16.994	fl	1083	0.001664127
Ester	5-Metilhexanoato de etilo	17.015	M	1097	0.007718159
Ester	4-Pentenil butirato	17.222	M	1073	0.001011176

Tabla 1.2 (continuación)

Ester	2,4 Hexanoato de etilo	18.397	wi	1089	0.009677383
Ester	Benzoato de metilo	18.796	wi	1093	0.002370394
Ester	2 Metilooctanoato de metilo	20.71	wi	1118	0.00258904
Ester	(Z) 3-hexenil butanoato	21.67	wi	1183	0.001562259
Ester	Butanoato de hexilo	21.836	wi	1193	0.000715972
Ester	Octanoato de etilo	22.009	WI	1209	0.011918343
Sesquiterpeno	-cubebeno	28.57	ad	1331	0.008594062
H.	(E) cariofileno	30.122	op	1422	0.002297239

TR = Tiempo de retención; IR = índices de retención obtenidos utilizando una serie de n-alcanos (C7-C26) en un AT5-ms, (5% fenil y 95% metilpolidimetilsiloxano) columna (30 m '0,25 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor de la fase estacionaria); GQ = grupo químico, BD= base de datos y CC.= concentración de compuesto.

Tabla 1.3. Lista de compuestos de la variedad *Ek abal* por el método HS-SPME y GC/MS

GQ	NOMBRE	TR	BD	IR	C. C. mg/kg
Alcohol	Etanol	2.397	wi	427	0.078064822
Ester	Acetato de etilo	3.448	hp	605	0.457494628
Aldehido	Pentanal	4.835	tn	700	0.013456106
Ester	Acetato de propilo	5.153	wi	712	0.013400715
H	Tolueno	6.59	wi	753	0.001670744
Ester	3 Metil butanoato	6.787	fl	793	0.01458416
Aldehido	Hexanal	7.438	F	802	0.944136894
Ester	2 Etil Metilbutirato	9.054	wi	845	0.01820364
Ester	Isovalerato de etilo	9.158	ar	856	0.120813617
Aldehido	(E)-2 hexenal	9.317	R	857	0.246549481
Alcohol	(Z)-3 hexenol	9.511	M	861	0.201830696
Alcohol	(E)-2 hexenol	9.851	R	861	0.23193691
Aldehido	Heptanal	11.014	wi	890	0.003541151
Ester	Acetato 4-pantenil	11.405	R	901	0.001885493
Ester	Prenil acetato	11.744	wi	902	0.00188549
Ester	Hexanoato de metilo	11.829	wi	934	0.032880702
Ester	Tiglato de etilo	12.443	wi	953	0.007120819
Aldehido	(E)-2 Heptanal	13.267	wi	978	0.002674809
Cetona	3-Octanona	14.126	wi	985	0.00294906
Ester	Etil hexanoato	14.597	wi	997	0.159565666
Ester	(Z)-3 Hexenilo	14.916	fl	1004	0.171718537
Ester	Acetato de hexilo	15.121	fl	1007	0.038819806
Ester	(E) Acetato 2-hexenilo	15.22	M	1014	0.254448579
Ester	2,2,6-Trimetil ciclohexanona	16.355	wi	1036	0.004027022
Aldehido	(Z)-2-octenal	17.154	tn	1063	0.002320149
Aldehido	Nonanal	18.788	wi	1102	0.002768405
Ester	Octanoato de etilo	22.025	wi	1191	0.001732869
Sesquiterpeno	Cariofileno	30.137	op	1422	0.001024864

TR = Tiempo de retención; IR = índices de retención obtenidos utilizando una serie de n-alcanos (C7-C26) en un AT5-ms, (5% fenil y 95% metilpolidimetilsiloxano) columna (30 m '0,25 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor de la fase estacionaria); GQ = grupo químico, BD= base de datos y CC.= concentración de compuesto.

Tabla 1.4. Lista de compuestos de la variedad *Campech abal* por el método DES y GC/MS

GQ	NOMBRE	TR	BD	IR	C. C. mg/kg
Alcohol	Etil alcohol	1.383	fl	427.4	0.00086639
Aldehido	2-propenal	1.465	op	480	0.00416815
Eter	Dietileter	1.517	ar	495	0.47517411
Eter	2-metil Furan	2.02	R	600	0.1660126
Ester	Acetato de etilo	2.12	wi	612	0.15625434
Alcohol	2-metil 3-Buten-2-ol	2.292	wi	620	0.22896081
Ester	Propanoato de metilo	2.46	WI	621	0.0054135
Aldehido	3 Metil butanal	2.604	wi	638	0.00291551
Aldehido	2-Metil butanal	2.744	fl	662	0.00988882
H	2-Hexano	2.89	M	678	1.57767501
H	Ciclohexeno	3.029	M	679	1.29521311
Aldehido	2-Etil Furan	3.19	hp	728	0.00725071
Eter	2,5-Dimetil Furan	3.284	R	732	0.12605117
Alcohol	1-Pentanol	4.157	Wi	760	0.04601466
H.a	Tolueno	4.601	wi	762	0.01242591
Ester	Isovalerato de metilo	4.855	fl	793	0.00946355
Ester	etil butanoato	5.208	Wi	804	0.06118092
Eter	2,3,5 trimetilfurano	5.809	wi	821	0.00411934
Dgf	3-Furaldehido	6.772	hp	831	0.02154663
Ester	2-metilbutanoato de etilo	6.943	m	845	0.01152314
Ester	Isovalerato de Etilo	7.022	fl	867	0.01192505
Aldehido	E-2-Hexenal	7.172	fl	854	0.22593024
Alcohol	Z-3-Hexenol	7.401	fl	861	0.04564357
H.a	p-Xileno	7.579	wi	864	0.006276
Alcohol	E 2-Hexenol	7.66	R	867	0.12743971
Alcohol	1-Hexanol	7.801	hp	870	0.07662264
Ester	acetato de 4-pentenilo	8.134	wi	874	0.00197129
H.a	Stireno	8.393	wi	890	0.00557983
Alcohol	3-Ciclohexenol	8.608	op	891	0.00971962
Ester	Hexanoato de metilo	9.532	wi	934	0.00511795
Ester	Tiglato de etilo	10.078	wi	953	0.01404209
Cetona	2-Ciclohexeno	10.185	wi	914	0.00802025
Eter	Furfural 5-metil	10.794	hp	946	0.04424749

Tabla 1.4 (continuación)

Aldehido	Benzaldehido	11.229	op	954	0.01401238
H.a	1,2,3-Trimetil-benzeno	12.082	wi	996	0.0014722
Ester	Hexanoato de etilo	12.218	wi	997	0.0078600
Eter	Benzofuran	12.384	tn	1006	0.00161646
Ester	Z-3-Hexenil acetato	12.545	M	1009	0.00440881
H.a	p-Cimeno	13.212	fl	1020	0.00585667
H	dl-Limoneno	13.358	wi	1028	0.00693797
Eter	Eucalipto	13.629	M	1030	0.00571211
Eter	2,2'-Bifuran	13.967	wi	1047	0.00126604
H.a	Terpinene	14.441	wi	1083	0.00749833
Alcohol	oxido de linalol	15.174	wi	1088	0.00445716
Ester	Benzoato de metilo	16.155	fl	1093	0.02795723
Ester	Benzofuran 2 Metil	16.603	wi	1094	0.001883
H.a	E-Benzeno butenil	17.052	wi	1100	0.00431121
Ester	Metil 2-metiloctanoato	18.126	M	1118	0.07893415
Ester	Acetato de bencilo	18.608	fl	1164	0.0039601
Ester	Benzoato de etilo	18.858	R	1170	0.00346895
Aldehido	2-Furfurilo-5-metil	19.008	M	1184	0.01438799
Ester	Octanoato de etilo	19.456	wi	1209	0.00247213
Aldehido	Decanal	19.871	wi	1206	0.00059758
H.a	Bi-2-ciclohexenil	21.645	wi	1305	0.01451452
H.a	1,1,6-trimetil 1,2, dihidro Naphtaleno	25.166	R	1397	0.0056175
H.a	alpha-Copaeno	25.746	wi	1375	0.00823366
Ester	alpha metil cinamato	26.333	wi	1394	0.00188267
H.A	trans-Cariophileno	27.248	wi	1422	0.01603625
H.a	(E)-alpha-Bergamotene	27.481	M	1436	0.00190093
Cetona	2,3-dehidro-alpha-ionone	27.601	wi	1440	0.00350897
Cetona	Geranilacetona	27.967	wi	1444	0.0023735
H.a	Humuleno	28.386	wi	1450	0.00266609
H.a	alpha-Curcumene	28.951	R	1479	0.0095891
H.a	Cadinene	29.801	wi	1500	0.00435919
Alcohol	9,12-Tetradecadien-1-ol, (Z,E)-	31.037	M	1672	0.00056273
Ester	Fitalato de etilo	32.07	M	1639	0.00133127
Ester	2-etilhexil benzoato	35.578	M	1692	0.00234984

Tabla 1.4 (continuación)

H.a	2-phenil dodecano	37.89	M	1832	0.00233013
H.a	Isobutil fatalato	39.57	wi	1908	0.00180134
H.a	N-Octadecano	39.95	es	1810	0.01807527
H.a	Homosalato	40.28	M	2098	0.00491151
Ester	Butil phthalate	41.92	wi	2037	0.01025658
H.a	Nonadecano	42.32	R	1910	0.03114171
Ester	Isopropil Palmitato	42.985	M	2013	0.0017802
H.A	Eicosane	44.59	R	2009	0.00335061
H.a	Docosane	50.86	wi	2113	0.04040702

TR = Tiempo de retención; IR = índices de retención obtenidos utilizando una serie de n-alcanos (C7-C26) en un AT5-ms, (5% fenil y 95% metilpolidimetilsiloxano) columna (30 m '0,25 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor de la fase estacionaria); GQ = grupo químico, BD= base de datos y CC.= concentración de compuesto.

Tabla 1.5. Lista de compuestos de la variedad *Ek abal* por el método DES y GC/MS

G Q	NOMBRE	TR	BD	IR	C. C. mg/kg
Alcohol	Etil alcohol	1.384	fl	427	0.007873407
Eter	Etil eter	1.486	hp	495	0.775257686
Ester	acetato de etilo	2.106	wi	613	0.591088386
Eter	Hidrofurano	2.486	R	623	0.002278744
Aldehido	3 metil Butanal	2.73	tn	654	0.005329418
Alcohol	n-butanol	2.791	fi	669	0.00113798
Hidrocarburo	Ciclohexeno	2.876	M	676	0.942954332
Cetona	1-Penten-3-one	3.148	fl	680	0.026838462
Ester	propionato de etilo	3.408	wi	705	0.001289768
Ester	acetato de propilo	3.462	wi	713	0.003926616
Aldehido	acetoína	3.513	ar	714	0.011668257
Alcohol	3 metil -3-butenol	4.064	R	720	0.019340443
Alcohol	trans 2-pentenal	4.441	fl	754	0.005633793
Hidrocarburo	tolueno	4.7	wi	762	0.003124083
Alcohol	1-pentanol	4.79	wi	766	0.027465647
Alcohol	Z-2-Pentan-1-ol	4.856	wi	767	0.033327477
Alcohol	3-metil 2-Buten-1-ol	5.078	M	770	0.009121036
Aldehido	3 metil 2-Butenal	5.22	M	781	0.005119571
Ester	hexanal	5.268	wi	804	0.214223983
Aldehido	acetato de butilo	5.971	R	811	0.001074241
Dgf	furfural	6.513	R	830	0.048565776
Aldehido	trans-2-Hexenal	6.89	fl	853	0.079690305
Ester	Isovalerato de etilo	6.98	fl	856	0.002511648
Aldehido	E2- hexenal	7.065	R	853	1.000858763
Alcohol	Z-3-Hexenol	7.283	fl	854	0.04900186
Alcohol	E 2-Hexenol	7.594	fl	867	0.52387752
Alcohol	1-Hexanol	7.687	fl	869	0.114276002
Cetona	3-Heptanona	8.12	wi	884	0.025613694
Hidrocarburo	estireno	8.376	wi	892	0.003371347
Ester	Prenil acetato	9.1	wi	902	0.004154172
Ester	hexanoato de metilo	9.47	wi	934	0.02448968
Cetona	2-Cyclohexen-1-one	10.17	WI	914	0.004163507
Alcohol	4-Heptanol, 3-metil-	10.70	R	915	0.009949983
Aldehido	E-2- heptenal	10.85	hp	954	0.015839526
Ester	E-2-metil hexenoato	11.06	wi	966	0.008329877
Aldehido	Benzaldehido	11.22	wi	968	0.004920441

Caracterización de la fracción volátil por Likens Nickerson-CG/EM y HS-SPME-CG/EM de tres variedades de ciruelas (*Spondias purpurea* L.) cultivadas en Yucatán+

ANEXO

Tabla 1.5 (continuación)

Cetona	1-3 octenona	11.54	wi	977	0.001953623
Cetona	3-Heptanone, 5-metil	11.77	wi	954	0.005929802
Ester	Hexanoato de etilo	12.16	wi	997	0.060497807
Ester	Z-3-hexenil acetato	12.46	wi	1005	0.106223013
Ester	Hexil acetato	12.67	wi	1007	0.058896696
Ester	E-2-Hexenil-acetato	12.76	fl	1014	0.310452025
H. A	p-Cymene	13.19	fl	1023	0.006359317
H	limoneno	13.34	wi	1030	0.013082065
Cetona	2,2,6-Trimetilciclohexanona	13.73	wi	1036	0.00289753
Alcohol	2,3-Dimetil-3-octanol	13.88	M	1043	0.000918891
Hidrocarburo	gamma-Terpinene	14.43	fl	1058	0.013334265
Aldehido	(E)-2-Octenal	14.59	wi	1063	0.004005285
Ester	gamma-Hexalactone	14.77	fl	1059	0.00142862
Cetona	5-Nonanona	14.97	wi	1073	0.001327078
Alcohol	4-Nonanol	16.02	wi	1078	0.009877967
Aldehido	Nonanal	16.187	fl	1102	0.018115349
D.g	3-Acetil-2,5-dimetilfurano	16.46	wi	1103	0.007953554
Ester	Metil 2-metiloctanoato	18.12	M	1118	0.074702408
Aldehido	E-2-Nonenal	18.33	M	1164	0.00185974
Ester	acetato de bencilo	18.59	hp	1165	0.003412232
Ester	benzoato de etilo	18.87	wi	1170	0.002054461
Ester	octanoato de Etilo	19.45	wi	1193	0.002943368
Acido	acido octanoico	19.55	wi	1197	0.00297101
Aldehido	Decanal	19.85	wi	1199	0.010007557
Aldehido	Safranal	19.98	fl	1202	0.001567491
Sesquiterpeno	alpha-Copaeneo	25.748	wi	1375	0.000940218
Terpeno	trans-beta-Damascenone	26.041	wi	1381	0.002054461
Terpeno	trans-Cariofileno	27.247	wi	1418	0.000624918
Alcohol	Dodecanol	28.787	fl	1472	0.001065837
Terpeno	alpha-selinene	29.63	wi	1488	0.009047888

TR = Tiempo de retención; IR = índices de retención obtenidos utilizando una serie de n-alcanos (C7-C26) en un AT5-ms, (5% fenil y 95% metilpolidimetilsiloxano) columna (30 m '0,25 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor de la fase estacionaria); GQ = grupo químico, BD= base de datos y CC.= concentración de compuesto.

Tabla 1.6 Lista de compuestos de la variedad *Chi abal* por el método DES y GC/MS

GQ	NOMBRE	TR	BD	IR	C Cmg/kg
Aldehido	Etanal	1.15	fl	408	0.00067904
Ester	Etanol	1.383	wi	427	0.00089164
Ester	Éter dietílico	1.526	ar	504	26.8912699
Ester	Acetato de etilo	2.099	hp	613	0.76127469
Ester	Acido etílico	2.253	wi	610	0.73618037
Alcohol	2-Metilpropanol	2.465	wi	622	0.00345692
Alchol	1-Butanol	2.748	M	669	0.00917131
Hidrocarburo	Ciclohexeno	3.032	M	676	0.21228373
Alcohol	1-penten-3-ol	3.14	wi	673	0.01989559
Cetona	3-Pentanona	3.303	wi	700	0.00636465
Ester	Propanoato de etilo	3.384	R	704	0.10418933
Ester	Acetato de propilo	3.577	tn	716	0.14246044
Ester	Metil butanoato	3.735	R	724	0.00593252
Alcohol	3-metil-3-butenol	3.89	M	720	0.05267998
Alcohol	2-Metilbutanol	4.194	fl	730	0.01491278
Cetona	4-Metil 3-Penten-2-ona	4.303	Wi	739	0.00746994
Ester	isobutirato de etilo	4.487	R	751	0.00848073
Aldehido	(E)-2-Pental	4.542	fi	754	0.00455637
Aromatico	Tolueno	4.707	wi	762	0.00124006
Alcohol	(Z)-2-Pentenol	4.778	wi	767	0.02656679
Ester	Isovalerato de metilo	4.92	wi	770	0.04223914
Alcohol	3 Metil 2-Butenol	5.041	R	778	0.03454712
Ester	(E) -2-pental	5.202	M	800	0.003555
Ester	Butirato de etilo	5.43	wi	804	0.92839163
Ester	Acetato de n- butilo	5.938	wi	810	0.00850673
Aldehido	2 Furfural	6.737	R	828	0.01565373
Ester	2-Metilbutanoato de etilo	6.897	R	845	0.04812394
Ester	Isovalerato de etilo	6.968	fl	856	0.05031808
Aldehido	(E) 2-Hexenal	7.067	R	857	0.33618674
Alcohol	(Z)-3-Hexenol	7.33	hp	861	0.62215175

Tabla 1.6 (continuación)

%Caracterización de la fracción volátil por Likens Nickerson-CG/EM y HS-SPME-CG/EM de tres variedades de ciruelas (*Spondias purpurea* L.) cultivadas en Yucatán+

ANEXO

Alcohol	(E)-2-Hexenol	7.612	R	862	0.30085215
Alcohol	1-Hexanol	7.754	fl	870	0.19734749
Ester	Acetato de 4-pentenilo	8.13	fl	874	0.03552895
H.a	Stireno	8.477	op	890	0.00340527
Ester	Butanoato de propilo	8.559	wi	896	0.01244316
Ester	Acetato de pentenil	9.464	fl	918	0.03307121
Ester	Hexanoato de metilo	9.5	wi	927	0.00286422
Ester	Etil tiglató	10.037	hp	948	0.07553149
Ester	Isobutil isovalerato	10.398	wi	955	0.00842499
Ester	(E)-2-Heptenal	10.834	fl	978	0.00763111
Ester	2 Furoato de metilo	11.684	wi	980	0.00145983
Cetona	3-Octanona	11.78	wi	986	0.00428618
Ester	Butanoato de butilo	12.065	ar	994	0.00077089
Ester	Hexanoato de etilo	12.14	wi	1000	0.19641689
Ester	(E) 3-hexanoato etílico	12.427	li	1004	0.00171244
Ester	(Z)-3-Hexenil acetato	12.493	fl	1008	0.03279495
Acido	Acido hexanioco	12.808	wi	1017	0.04348284
H.a	o-Cimeno	13.201	R	1018	0.00844062
Terpeno	Limoneno	13.367	fl	1028	0.01306652
Eter	Eucalipto	13.607	wi	1030	0.00749004
Aldehido	Benzenoacetaldehido	14.261	M	1040	0.00162616
Ester	3-Metilbutil butirato	14.321	ar	1059	0.00483569
Terpenos	gamma-Terpinene	14.439	fl	1062	0.01503304
Alcohol	4 Nonanol	15.744	M	1078	0.00370541
Ester	Sorbato de etilo	15.865	M	1089	0.00103983
Ester	Benzoato de metilo	16.161	op	1095	0.00746331
Aldehido	Nonanal	16.202	fl	1102	0.02101295
Ester	Octanoato de metilo	16.88	wi	1114	0.00225531
Ester	3 Hidroxi hexanoato de etilo	17.247	li	1133	0.00570167
Ester metilico	Nicotinato de metilo	17.992	M	1145	0.0105574
Ester	2 Metil octanoato de metilo	18.119	M	1158	0.07858238
Aldehido	(E)2-nonenal	18.323	hp	1162	0.00445474
Ester A	Acetato de bencilo	18.608	li	1163	0.00168008
Ester A	Benzoato de etilo	18.857	wi	1170	0.00410337

Tabla 1.6 (continuación)

Ester A	(E)-3-hexenilo butirato	19.095	fl	1185	0.00252061
Ester	Octanoato de etilo	19.427	fl	1193	0.02474652
Acido	Ácido octanoico	19.594	fl	1197	0.01186394
Ester	Salicilato de metilo	19.819	wi	1281	0.01233952
Ester	Acetato de octilo	19.977	li	1210	0.00187305
Ester	Hexil 3-metilbutanoato	21.005	R	1240	0.0025175
Terpeno	Carvone	21.573	wi	1254	0.00548512
Ester	salicilato de etilo	22.416	M	1270	0.00167479
Acido	Nonanoico	22.748	li	1277	0.00837389
Ester	Etil nonanoato	22.871	wi	1296	0.00369744
H.	TDN	25.169	ar	1354	0.00329265
Sesquiterpeno	-Copaeno	25.752	wi	1371	0.00694505
Acido	Acido decanoico	25.847	op	1386	0.00455457
Ester	Decanoato de etilo	26.1	R	1391	0.0169803
H.	Metil cinnamato	26.336	wi	1394	0.00313259
Aldehido	Dodecanal	26.649	R	1411	0.00155759
H aromático	(E)-Cariofileno	27.256	wi	1418	0.00769255
Carotenoide	Dehidro- α -ionona	27.601	li	1440	0.00250561
Alcohol graso	1-Dodecanol	28.779	wi	1472	0.02005276
Cetona	beta-Ionona	29.17	M	1486	0.00648511
Hidrocarburo	-Muurolene	29.631	wi	1489	0.00173801
Fenol	Butilhidroxitolueno	29.727	M	1518	0.00273672
Hidrocarburo	cadineno	30.203	wi	1524	0.00066264
Alcohol	11-Tridecinol	31.03	M	1574	0.01109763
Ácido	Ácido dodecanoico	31.757	fl	1580	0.02461782
Ester	Laurato de etilo	32.077	R	1597	0.01088081
Cetona	Benzofenona	33.88	wi	1603	0.00156749
Alcohol	1-Tetradecanol	34.61	wi	1648	0.0055596
Aldehido	Hexilcinnamaldehido	36.747	wi	1762	0.00473169
Ester	Tetradecanoato de etilo	37.462	tn	1794	0.00864619
Ester	Falato de isobutilo	39.581	wi	1908	0.00204506
Ester	Metil hexadecanoato	40.77	wi	1927	0.00287979
Alcohol	Isofitol	41.241	es	1938	0.0023932
Ester	Dibutil fitalato	41.91	R	1967	0.01327785

Tabla 1.6 (continuación)

Ester	Palmitoato de etilo	42.348	wi	2000	0.0224904
Ester	Hexadecanoato isopropílico	42.98	hp	2011	0.01005822
Ester	Linolenato de etilo	46.17	fl	2151	0.01972627
Ester	Octadecanoato de etilo	46.817	wi	2196	0.01576783
Hidrocarburo	Tetracosane	50.86	wi	2407	0.02120203

TR = Tiempo de retención; IR = índices de retención obtenidos utilizando una serie de n-alcanos (C7-C26) en un AT5-ms, (5% fenil y 95% metilpolidimetilsiloxano) columna (30 m '0,25 mm de diámetro interno y 0.25 µm de espesor de la fase estacionaria); GQ = grupo químico, BD= base de datos y CC.= concentración de compuesto.

Tabla 1.7. Comparación de compuestos identificados en la variedad **Campech abal** mediante SDE-CG/EM Y HS-SPME CG/ CG

NOMBRE DEL COMPUESTO Y GRUPO FUNCIONAL		CONCENTRACIÓN DEL COMPUESTO	
		mg/kg	
		DES	HS-SPME
ALD	2-propenal	0.004168153	
ALD	3 Metil butanal	0.002915508	
ALD	2-Metil butanal	0.009888819	
ALD	2-Etil Furan	0.007250714	
ALD	E-2-Hexenal	0.225930243	
ALD	Benzaldehido	0.014012381	
ALD	3-Furaldehido	0.021546631	
ALD	Decanal	0.000597584	
ES	Acetato de etilo	0.156254344	0.160854859
ES	Propanoato de etilo	0.005413498	0.002531866
ES	Isovalerato de metilo	0.009463551	0.047840582
ES	Butanoato de etilo	0.061180916	0.156988593
ES	Etil 2-metilbutanoato	0.011523142	
ES	Isovalerato de Etilo	0.011925053	0.098029387
ES	acetato de 4-pentenilo	0.001971291	
ES	Hexanoato de metilo	0.005117949	0.004777318
ES	Tiglato de etilo	0.014042087	0.042519565
ES	Hexanoato de etilo	0.007860053	
ES	Z-3-Hexenil acetato	0.00440881	0.033283068
ES	Benzoato de metilo	0.027957228	0.005389523
ES	2 Metil benzofuran	0.001883003	
ES	Metil 2-metiloctanoate	0.078934152	
ES	Acetato de bencilo	0.003960097	
ES	Etil benzoato	0.003468954	
ES	Octanoato de etilo	0.002472133	
ES	metil cinamato	0.001882674	

Tabla 1.7 (continuación)

ES	Fitalato de etilo	0.001331274	
ES	2-etilhexil benzoato	0.002349837	
ES	Butil fatalato	0.010256581	
ES	Isopropil Palmitato	0.001780202	
ES	Homosalato	0.004911513	
ES	Butanoato metilo		0.003451244
ES	Etil isobutirato		0.001195971
ES	2 metilbutirato de etilo		0.015808531
ES	Tiglato de metilo		0.005843293
ES	Hexanoato de etilo	0.013798907	
ES	Salicilato de metilo	0.007331397	
ES	Acetato de hexilo		0.0027293
AL	Etil alcohol	0.000866385	
AL	2-metil 3-Buten-2-ol	0.228960808	
AL	1-Pentanol	0.046014661	
AL	Z-3-Hexenol	0.045643566	0.005094751
AL	E 2-Hexenol	0.127439713	
AL	1-Hexanol	0.076622643	0.194455591
AL	3-Ciclohexenol	0.009719618	
AL	oxido de linalol	0.004457157	
AL	9,12-(Z,E)-Tetradecadieno	0.000562728	
AL	Etanol		0.059722011
CE	2-Cclohexen-1-one	0.008020252	
CE	2,3-dehydro-alpha-ionone	0.003508968	
CE	trans-Geranylacetone	0.002373497	
ET	Dietileter	0.475174107	
ET	2-metil Furan	0.166012596	
ET	2,5-Dimetil Furan	0.126051166	
ET	2,3,5 trimetilfurano	0.004119345	
ET	Furfural-5-metll	0.044247494	
ET	Benzofuran	0.001616464	
ET	Eucalipto	0.005712115	
AC	Acido nonanoico		0.001869253
HI	2-Hexino	1.577675009	
HI	Ciclohexeno	1.295213109	

Tabla 1.7 (continuación)

HI	dl-Limoneno	0.006937968	
HI	Tolueno	0.01242591	0.001935751
HI	p-Xileno	0.006276001	
HI	Stireno	0.005579827	0.002255048
HI	Benzene, 1,2,3-trimetil	0.001472196	
HI	p-Cimeno	0.005856675	
HI	Terpineno	0.007498328	
HI	E-Benzeno butenil	0.004311212	
HI	verdoracine	0.001613049	
HI	Bi-2-ciclohexenil	0.014514517	
HI	1,1,6-trimetil 1,2, dihidro Naphtaleno	0.005617496	
HI	-Copaeno	0.008233659	0.001769089
HI	(E)-Cariofileno	0.016036246	0.002532372
HI	(E)-alpha-Bergamotene	0.001900927	
HI	Humulene	0.002666089	
HI	-Curcumeno	0.009589099	
HI	Cadineno	0.004359192	
HI	2-phenil dodecano	0.002330127	
HI	Isobutil phtalato	0.001801344	
HI	N-Octadecano	0.018075274	
HI	Nonadecano	0.031141714	
HI	Eicosano	0.003350611	
HI	Docosano	0.040407023	
HI	Limoneno		0.000660523

ALD = aldehídos; ES= esterés; AL = alcoholes, CE = cetonas; ET = éteres; AC = ácidos y HI =hidrocarburos.

Caracterización de la fracción volátil por Likens Nickerson-CG/EM y HS-SPME-CG/EM de tres variedades de ciruelas (*Spondias purpurea* L.) cultivadas en Yucatán+

ANEXO

Tabla 1.8 Comparación de compuestos identificados *Spondias purpurea* L. mediante dos métodos de aislamiento (SDE-CG/EM Y HS-SPME/CG) para la variedad **Chi abal**.

NOMBRE DEL COMPUESTO Y GRUPO QUÍMICO		CONCENTRACIÓN DEL COMPUESTO	
		mg/kg	
		DES	HS-SPME
AL	Etanal	0.00067904	
AL	(E)-2-Pental	0.00455637	
AL	(E)-2-Pental	0.003555	
AL	2 Furfural	0.01565373	
AL	(E) 2-Hexenal	0.33618674	0.17790583
AL	Benzenoacetaldehido	0.00162616	
AL	(E)2-nonenal	0.00445474	
AL	Dodecanal	0.00155759	
AL	Hexilcinnamaldehido	0.00473169	
AL	Nonanal	0.02101295	
AL	Hexanal		1.269616217
ES	Acetato de etilo	0.76127469	0.210804158
ES	Acido etílico	0.73618037	
ES	Propanoato de etilo	0.10418933	0.007857206
ES	Acetato de propilo	0.14246044	0.002407637
ES	Metil butanoato	0.00593252	0.002103961
ES	isobutirato de etilo	0.00848073	0.002648408
ES	Isovalerato de metilo	0.04223914	
ES	Butirato de etilo	0.92839163	
ES	Acetato de n- butilo	0.00850673	
ES	2-Metilbutanoato de etilo	0.04812394	0.064263474
ES	Isovalerato de etilo	0.05031808	0.019672255
ES	Acetato de 4-pentenilo	0.03552895	
ES	Butanoato de propilo	0.01244316	0.009079163
ES	Acetato de pentenil	0.03307121	
ES	Hexanoato de metilo	0.00286422	0.01968082
ES	Tiglato de etilo	0.07553149	0.110507889
ES	Isobutil isovalerato	0.00842499	
ES	(E)-2-Heptenal	0.00763111	
ES	2 Furoato de metilo	0.00145983	
ES	Butanoato de butilo	0.00077089	
ES	Hexanoato de etilo	0.19641689	0.447154561
ES	(E) 3-hexanoato etílico	0.00171244	
ES	(Z)-3-Hexenil acetato	0.03279495	0.050295919
ES	3-Metilbutil butirato	0.00483569	0.001744994
ES	Sorbato de etilo	0.00103983	
ES	Benzoato de metilo	0.00746331	0.002370394
ES	Octanoato de metilo	0.00225531	
ES	3 Hodroxi hexanoato de etilo	0.00570167	
ES	2 Metil octanoato de metilo	0.07858238	0.00258904
ES	Salicilato de metilo	0.01233952	
ES	Acetato de octilo	0.00187305	
ES	Hexil 3-metilbutanoato	0.0025175	
ES	salicilato de etilo	0.00167479	
ES	Etil nonanoato	0.00369744	
ES	Decanoato de etilo	0.0169803	
ES	Laurato de etilo	0.01088081	

Tabla 1.8 (Continuación)

ES	Tetradecanoato de etilo	0.00864619	
ES	Falato de isobutilo	0.00204506	
ES	Metil hexadecanoato	0.00287979	
ES	Dibutil fitalato	0.01327785	
ES	Palmitoato de etilo	0.0224904	
ES	Hexadecanoato isopropílico	0.01005822	
ES	Linolenato de etilo	0.01972627	
ES	Octadecanoato de etilo	0.01576783	
ES	Octanoato de etilo	0.02474652	0.011918343
ES	Acetato de bencilo	0.00168008	
ES	Benzoato de etilo	0.00410337	
ES	(E)-3-hexenilo butirato	0.00252061	
ES	Nicotinato de metilo	0.0105574	
ES	3-Hexanoato de metilo		0.003030888
ES	2-Metilpropil butanoato		0.001402905
ES	Acetato de Hexilo		0.041589955
ES	Isovalerato de butilo		0.001213979
ES	Etil heptanoato		0.001664127
ES	5-Metil hexanoato de etilo		0.007718159
ES	4-Pentenil butirato		0.00101176
ES	2,4 Hexanoato de etilo		0.009677383
ES	(Z) 3-hexenil butanoato		0.001562259
ES	Butanoato de hexilo		0.000715972
AL	Etanol	0.00089164	0.143966084
AL	2-Metilpropanol	0.00345692	
AL	1-penten-3-ol	0.01989559	
AL	3-metil-3-butenol	0.05267998	
AL	2-Metilbutanol	0.01491278	
AL	(Z)-2-Pentenol	0.02656679	
AL	3 Metil 2-Butenol	0.03454712	
AL	(Z)-3-Hexenol	0.62215175	0.314683063
AL	(E)-2-Hexenol	0.30085215	
AL	1-Hexanol	0.19734749	0.253393611
AL	4 Nonanol	0.00370541	
AL	11-Tridecinol	0.01109763	
AL	1-Tetradecanol	0.0055596	
AL	Isofitol	0.0023932	
AL	1-Dodecanol	0.02005276	
CE	3-Pentanona	0.00636465	
CE	4-Metil 3-Penten-2-ona	0.00746994	
CE	3-Octanona	0.00428618	
CE	beta-Ionona	0.00648511	
CE	Benzofenona	0.00156749	
ET	Eucalipto	0.00749004	0.005613852
ET	Éter dietílico	26.8912699	
AC	Acido hexanoico	0.04348284	
AC	Acido decanoico	0.00455457	
AC	Ácido octanoico	0.01186394	
AC	Nonanoico	0.00837389	
AC	Ácido dodecanoico	0.02461782	
AC	Acido etílico	0.73618037	
HI	(E)-Cariofileno	0.00769255	0.002297239

Tabla 1.8 (Continuación)

HI	stireno	0.00340527	
HI	o-Cimeno	0.00844062	
HI	TDN	0.00329265	
HI	Metil cinnamato	0.00313259	
HI	--Muuroleno	0.00173801	
HI	DELTA cadineno	0.00066264	
HI	Tetracosane	0.02120203	
HI	Ciclohexeno	0.21228373	
TE	-Copaeno	0.00694505	
TE	Limoneno	0.01306652	0.000963562
TE	Carvone	0.00548512	
TE	gamma-Terpinene	0.01503304	
TE	-cubebene		0.008594062

ALD = aldehídos; ES= esterés; AL = alcoholes, CE = cetonas; ET = éteres; AC = ácidos y HI =hidrocarburos.

Tabla 1.9. Comparación de compuestos identificados *Spondias purpurea* L. mediante dos métodos de aislamiento (SDE-CG/EM Y HS-SPME/CG) para la variedad *Ek abal*.

NOMBRE DEL COMPUESTO Y GRUPO QUÍMICO		CONCENTRACIÓN DEL COMPUESTO	
		mg/kg	
		DES	HS-SPME
ALD	Butanal, 3-metil	0.005329418	
ALD	Acetoína	0.011668257	
ALD	3 metil 2-Butenal	0.005119571	
ALD	Acetato de butilo	0.001074241	
ALD	(E)-2-Hexenal	1.000858763	0.246549481
ALD	Benzaldehido	0.004920441	
ALD	(E)-2-Octenal	0.004005285	
ALD	Nonanal	0.018115349	0.002768405
ALD	(E)-2-Nonenal	0.00185974	
ALD	Decanal	0.010007557	
ALD	Safranal	0.001567491	
ALD	Furfural	0.048565776	
ALD	(E)2- Heptenal	0.015839526	0.002674809
ALD	Pentanal		0.013456106
ALD	Hexanal		0.944136894
ALD	Heptanal		0.003541151
ALD	(Z)-2-octenal		0.002320149
ALD	(E) 2-pentenal	0.005633793	
ES	Acetato de etilo	0.591088386	0.457494628
ES	Propionato de etilo	0.001289768	
ES	Acetato de propilo	0.003926616	0.013400715
ES	Hexanal	0.214223983	
ES	Isovalerato de etilo	0.002511648	0.120813617
ES	Prenil acetato	0.004154172	0.00188549
ES	Hexanoato de metilo	0.02448968	0.032880702
ES	(E)2metil hexanoato	0.008329877	
ES	Hexanoato de etilo	0.060497807	0.159565666
ES	(Z)-3-hexenil acetato	0.106223013	0.171718537
ES	Acetato de hexilo	0.058896696	0.038819806
ES	(E)-2-Hexenilo	0.310452025	0.2544448579
ES	Gamma-Hexalactona	0.00142862	
ES	Metil 2-metiloctanoato	0.074702408	
ES	Acetato de bencilo	0.003412232	
ES	Benzoato de etilo	0.002054461	
ES	Octanoato de etilo	0.002943368	0.001732869
ES	3 Metil butanoato		0.01458416
ES	2 Etil Metilbutirato		0.01820364
ES	Acetato 4-pentenil		0.001885493
ES	Tiglato de etilo		0.007120819
ES	2,2,6-Trimetil ciclohexanona		0.004027022
AL	Alcohol etiloco	0.007873407	
AL	N-butanol	0.00113798	
AL	3 metil -3-butenol	0.019340443	
AL	1-pentanol	0.027465647	

Tabla 1.9 (Continuación)

AL	Z-2-Pentanol	0.033327477	
AL	3-Metil 2-Butenol	0.009121036	
AL	Z-3-hexenol	0.04900186	0.201830696
AL	E 2-hexenol	0.52387752	0.23193691
AL	1-hexanol	0.114276002	
AL	3-metil-4-Heptanol,	0.009949983	
AL	2,3-Dimetil-3-octanol	0.000918891	
AL	4-nonanol	0.009877967	
AL	Dodecanol	0.001065837	
AL	Etanol		0.078064822
CE	1-Penten-3-one	0.026838462	
CE	3-Heptanona	0.025613694	
CE	2-Ciclohexenone	0.004163507	
CE	1-3 octenona	0.001953623	
CE	3-Heptanone, 5-metil	0.005929802	
CE	2,2,6-Trimetilciclohexanona	0.00289753	
CE	5-Nonanona	0.001327078	
CE	3-Octanona		0.00294906
ET	Eter etílico	0.775257686	
ET	Hidrofurano	0.002278744	
AC	Acido octanoico	0.00297101	
HI	P-Cimene	0.006359317	
HI	Ciclohexeno	0.942954332	
HI	Tolueno	0.003124083	0.001670744
HI	Estireno	0.003371347	
HI	--Copaeneo	0.000940218	
HI	Trans-beta-Damascenone	0.002054461	
HI	Trans-Cariofileno	0.000624918	
HI	--selinene	0.009047888	
TE	Cariofileno		0.001024864
TE	Limoneno	0.013082065	
TE	Gamma-Terpinene	0.013334265	

ALD = aldehídos; ES= ésteres; AL = alcoholes, CE = cetonas; ET = éteres; AC = ácidos y HI =hidrocarburos.