



**UNIVERSIDAD MICHOACANA
DE SAN NICOLÁS DE HIDALGO
FACULTAD TECNOLOGÍA
DE LA MADERA
DIVISIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO**



Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera

TESIS

**“Estudio químico de la madera del tocón, fuste y ramas de
Persea americana, de la región de Uruapan, Michoacán”**

**QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS Y TECNOLOGÍA DE LA MADERA**

**PRESENTA:
ING. RENÉ BERNABÉ SANTIAGO**

**Director de tesis
Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones**

**Codirectores:
Dr. Pablo López Albarrán
Dr. Rafael Herrera Bucio**

Morelia, Michoacán, Abril de 2011

**Vo.Bo. Director de tesis
Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones**

Capítulo I. Introducción

I.1 Introducción	1
I.2 Antecedentes	3
I.3 Justificación	7
I.4 Generalidades de la especie	10
I.4.1 Taxonomía <i>Persea americana</i>	10
I.4.2 Descripción de la especie	10
I.4.3 Descripción de la madera	10
I.5 Objetivos	11
I.5.1 Objetivos generales	11
I.5.2 Objetivos específicos	11

Capítulo II. Materiales y Métodos

II.1 Habilitación del material	12
II.2 Análisis químico	15
II.2.1 Determinación de los valores del pH	16
II.2.2 Determinación del contenido de cenizas	17
II.2.3 Análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas	18
II.2.4 Solubilidad a la Sosa (NaOH) al 1%	20
II.2.5 Obtención de los extraíbles	20
II.2.6 Determinación de la Lignina	21
II.2.7 Obtención de Holocelulosa	22
II.3 Escrutinio de los extraíbles	23

Capítulo III. Resultados

III.1 Medición del pH en la madera	28
III.2 Porcentaje del contenido de cenizas	28
III.2.1 Trazas de elementos presentes en las cenizas	29
III.3 Grado de solubilidad de la madera en Hidróxido de sodio al 1%	31

III.4 Rendimiento de los Extraíbles obtenidos	32
III.5 Contenido de Holocelulosa	33
III.6 Porcentaje de Lignina	33
III.7 Escrutinio e identificación de algunos extraíbles	34
III.7.1 Resonancia Magnética Nuclear	34
III.7.2 Espectrometría de Masas	38

Capítulo IV. Análisis y Discusión de Resultados

IV.1 Variabilidad del pH	42
IV.2 Cantidad de cenizas presentes en la madera	42
IV.2.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas	43
IV.3 Efectos de la solubilidad a la sosa en la madera	45
IV.4 Rendimientos de los Extraíbles obtenidos	46
IV.5 Importancia del porcentaje de Holocelulosa	47
IV.6 Variabilidad del contenido de Lignina	48
IV.7 Escrutinio e identificación de los extractos de la madera	49
IV.8 Posibilidades de aprovechamiento en la industria de la pulpa y papel	50

Capítulo V. Conclusiones	52
---------------------------------	-----------

Capítulo VI. Perspectivas	54
----------------------------------	-----------

Capítulo VII. Referencias	55
----------------------------------	-----------

Índice de figuras

	Pág.
Figura 1 Árbol de aguacate	10
Figura 2 Madera de aguacate	10
Figura 3 Ubicación del terreno de la extracción del árbol de aguacate.	12
Figura 4 Preparación del material	13
Figura 5 Proceso para la obtención de la harina	14
Figura 6 Diagrama general para el análisis químico.	14
Figura 7 Secuencia para obtener el Contenido de Humedad de la especie	16
Figura 8 Determinación de pH	17
Figura 9 Determinación del contenido de cenizas	17
Figura 10 Análisis cualitativo de las cenizas	18
Figura 11 Proceso de la solubilidad a la sosa	10
Figura 12 Obtención de los extractos	21
Figura 13 Obtención de Lignina	22
Figura 14 Secuencia para la obtención de Holocelulosa	23
Figura 15 Diagrama general para el escrutinio de los extractos	23
Figura 16 Proceso para el escrutinio de los extractos	24
Figura 17 Equipo de Resonancia Magnética Nuclear, marca VARIAN	25
Figura 18 Cristales de algunos elementos presentes	30
Figura 19 Patrones de mapeo	30
Figura 20 Espectro de los elementos presentes las cenizas de la especie	31
Figura 21 Gráfica de los porcentajes de extraíbles para cada sección del árbol	33
Figura 22 Espectro de RMN1H del extracto ciloheánico del fuste de <i>P. americana</i> .	35

Figura 23	Espectro de RMN ¹ H de la fracción del extracto acetónico del tocón <i>P. americana</i> .	36
Figura 24	Espectro del aceite de la <i>Jatropha</i>	37
Figura 25	Cromatograma G/C (superior), espectro de Masas (inferior), del extracto metanólico de las ramas de <i>P. americana</i> .	38
Figura 26	Espectro G/C (superior), espectro de Masas (inferior), del extracto ciclohexánico del fuste de <i>P. americana</i> .	39
Figura 27	Espectro G/C (superior), espectro de Masas (inferior), del extracto acetónico del tocón de <i>P. americana</i> .	40

Índice de cuadros

	Pagina
Cuadro 1 Valores de la variabilidad del pH	28
Cuadro 2 Mediciones de pH/tiempo	28
Cuadro 3 Valores del porcentaje de cenizas.	28
Cuadro 4 Valores de las trazas de los elementos presentes.	29
Cuadro 5 Valores para el porcentaje de extractivos.	32
Cuadro 6 Porcentaje de extraíbles en los disolventes y suma de extractos.	32
Cuadro 7 Porcentajes de los componentes estructurales presentes en la madera de aguacate	34
Cuadro 8 Índices de calidad de pulpa para <i>Persea americana</i> .	48
Cuadro 9 Resumen de los valores derivados del presente estudio	48

Capítulo I. INTRODUCCIÓN

I.1 INTRODUCCIÓN

El árbol de *Persea americana* (aguacate) pertenece a la familia *Lauraceae* o familia del laurel, esta familia abarca un grupo de plantas florecientes incluido en la orden Laurales. La familia contiene cerca de 55 géneros por todo el mundo, sobre todo de regiones calientes o tropicales, especialmente Asia Sur-Oriental y Brasil. La mayoría son aromáticos, de hoja perenne, árboles o arbustos, siendo el Sassafras de hojas caducas. Las hojas de algunas especies presentan flores protóginas, frecuentemente con complejos sistemas de floración para evitar la autogamia. Los frutos son una fuente importante de alimento para las aves, usualmente especializadas y altamente dependientes de este alimento. La familia se distribuye por áreas tropicales, a excepción de pocas especies que habitan áreas templadas de ambos hemisferios. Los principales centros de diversidad se encuentran en la región Indomalaya, en América Central y Meridional, siendo África relativamente pobre en especies. Habitan las selvas, montañas tropicales, llegando algunas especies a desarrollarse a los 4000 m, pero son aún más frecuentes en selvas húmedas de baja altitud. Algunas especies se han adaptado a condiciones más extremas: climas semiáridos, bosques de inundación periódica o arenas casi sin nutrientes. Hay tres aplicaciones económicas principales para esta familia. Un alto contenido de aceites etéreos se encuentra en muchas *Lauraceae*. Los aceites etéreos son fuentes importantes para las especias y los perfumes. Los aguacates son frutos ricos en aceites importantes, que ahora se plantan en climas calientes a través del mundo. La madera de varias especies es una fuente para su comercialización alrededor del mundo (avocadosource.com/Journals)

El aguacate es una especie nativa de América y puede alcanzar hasta 20 m de altura. Su fruto es apreciado por el potencial como complemento alimenticio, el aceite que se obtiene del fruto se emplea en la industria de jabones y cosméticos,

mientras que a la infusión de las hojas y corteza se atribuyen propiedades medicinales (Niembro 1990).

Su madera se utiliza en aserrío, construcciones rurales, así como para fabricar artículos torneados, chapa, lambrín, parquet, muebles, tableros y en la construcción de piraguas y canoas. Esta especie reviste singular importancia en México, pues es el principal país productor de aguacate en el mundo; Michoacán es el Estado con mayor número de hectáreas cultivadas en aproximadamente 21 Municipios (Niembro 1990).

Según información de propietarios, los árboles tienen una vida productiva de aproximadamente 20 años, por lo que después será necesario, dentro de las actividades de aclareo, extraer esos árboles, lo que genera gran cantidad de biomasa. Esto ha motivado a realizar algunas investigaciones sobre las propiedades técnicas de la madera de esta especie, (Guridi 2000), pero no se han encontrado trabajos realizados en los tocones de estos árboles.

En la presente propuesta, se plantea determinar las propiedades químicas de esta especie, lo que será de importancia como indicador de su comportamiento tecnológico. También, se busca obtener información de materiales alternos que pudiera motivar el interés por emplearlos, en sintonía a sus propiedades y exigencias de los posibles productos a elaborar.

I.2 ANTECEDENTES

El Árbol de *Persea* americana es perennifolio y alcanza alturas de 15 a 20 metros (Niembro 1990). El aguacate es nativo de América, originario de México, Centro América hasta Colombia, Venezuela, Ecuador y Perú. Después del descubrimiento de América y de la conquista de México, Centro América, Colombia y Perú, esta especie se diseminó a otros lugares del mundo. El fruto de aguacate es muy apreciado como complemento alimenticio; ayuda a eliminar el colesterol dañino a la salud humana (lipoproteínas de baja densidad) y reducir el riesgo de desarrollar aterosclerosis (APROAM).

También se ha observado un efecto benéfico del consumo de aguacate en pacientes con asma y con artritis reumatoide. El fruto, las hojas y el hueso son utilizados en la medicina natural para eliminar microbios y parásitos, contra la disentería y algunos trastornos digestivos. Sus hojas también se emplean como expectorantes. Se dice que la energía proteínica del fruto y la combinación con las vitaminas y sales minerales le dan propiedades afrodisíacas (APROAM).

Por otra parte, la industria de los cosméticos o artículos de belleza utiliza al aguacate en la elaboración de aceites, lociones, jabones, cremas y shampoos para el cabello (APEMAC).

La importancia socioeconómica del aguacate se deriva del beneficio que derrama entre productores, comercializadores, industrializadores y consumidores.

Los huertos generan empleo al demandar mano de obra para las podas, los riegos, el cuidado nutritivo y fitosanitario, la cosecha, el acarreo, la selección, el empaque, el traslado, el mercadeo y ventas al mayoreo y menudeo. México es el primer país productor de aguacate en el mundo. Los principales Estados productores son Michoacán, Nayarit, México, Puebla y Morelos, en los que se concentra la mayor superficie plantada y cosechada y por ende la mayor producción (APROAM).

Los principales municipios productores de aguacate en el Estado de Michoacán son: Uruapan, Tancítaro, Peribán, Tacámbaro, Ario de Rosales, Salvador Escalante, San Juan Nuevo, Tingüindin, Los Reyes, Tingambato y Zitácuaro. La franja Aguacatera del Estado de Michoacán está localizada en la sub-provincia fisiográfica Tarasca; ocupa 7,752 kilómetros cuadrados y representa el 12.9% de la superficie estatal. El clima relevante es templado, húmedo y sub-húmedo, con temperatura media de 8 a 21 °C y una precipitación anual de 1200 a 1600 mm. Es una región volcánica reciente. Los bosques de pinos ocupan el 40 % de la superficie; el encino el 9 %. La superficie agrícola representa el 26 %. También tiene una zona de transición (sub tropical) entre trópico-seco y zona templada (INIFAP).

El cultivo de aguacate es de gran importancia en México y particularmente en el Estado de Michoacán. Entre 2000 y 2008 la superficie cultivada de aguacate en el país aumentó de 94,104 a 112,479 ha y la producción de 907,439 a 1,162,429 toneladas. En este periodo la participación del Estado de Michoacán aumentó del 83.3 al 85.0% de la superficie cultivada y del 87.6 al 88.1% de la producción nacional. Con el 34% de la producción mundial, el Sistema Producto Aguacate contribuye de manera importante al crecimiento económico del sector agrícola del país (INIFAP).

De acuerdo con el Servicio de Información Agroalimentaria y Pesquera (SIAP 2009), en la presente década el valor de la producción se ha triplicado, pasando de 4,216 a 12,459 millones de pesos y el de las exportaciones ha aumentado en más de un 1,000% al pasar de de 73.7 a 812.2 millones de dólares estadounidenses. Estas estimaciones no incluyen la derrama económica que se crea a través de la generación de empleos y servicios en cada eslabón de la cadena.

Michoacán destaca por el cultivo de aguacate de la variedad Hass, tanto por su extensión de 96,764 ha como por su producción anual de 1,003,450 toneladas (SIAP-SAGARPA, 2006), representa el 29% del total de la superficie plantada a

nivel nacional y el 36.5% de la producción mundial, ubicándolo como el principal productor en el mundo; tiene además el mayor consumo *per cápita* anual con cerca de 10 kg por habitante, además de ser el principal exportador con el 22 % del total mundial. Esto constituye un fuerte incentivo económico y social para el crecimiento de la superficie plantada con aguacate en Michoacán; se estima que durante el ciclo 2005 se generó un ingreso bruto por \$5,529 millones y se crearon empleos a razón de 1.5 personas por cada 10 ha, generando 11,707 empleos directos, 70 mil estacionales, y 187 mil empleos indirectos permanentes según el Consejo Nacional de Productores de Aguacate (CONAPA, 2005). Para 2008 se estimó un rendimiento de 11.28 t/ha, por lo que la producción anual fue de 1,091,498/t, y que con un precio medio rural de \$8,357/t, origina una derrama de \$94,267/ha, que en comparación con la producción de madera de 10 a 15 m³/ha/año a un precio de \$1,200.00 por m³/rollo, existe una gran diferencia, ocasionando así una fuerte presión que motiva el cambio de uso del suelo con bosque para huertas de aguacate.

La madera de aguacate se utiliza localmente en construcciones rurales, de piraguas y canoas, en el aserrío y para fabricar artículos torneados, chapa, parquet, lambrín, muebles y tableros (Niembro 1990).

En la literatura se reportan algunos trabajos en relación a las características anatómicas de la madera (Rogel 1982; Silva *et al.* 1999), índices de calidad de pulpa para papel (Tamarit 1996), trabajabilidad (Martínez-Pinillos, Martínez 1996), comportamiento higroscópico (Fuentes *et al.* 1998), propiedades de pulpa kraft y pulpa a la sosa (Vargas *et al.* 2002).

Sobre el posible aprovechamiento de la madera de plantaciones en la industria de la celulosa (Vargas *et al.* 2003) y como materia prima para papel corrugado.

Aguilar en el 2006 en su estudio sobre caracterización química básica de cinco especies del Estado de Michoacán, incluye un análisis hecho a la madera de *Persea americana*, Anzaldo *et al.* 2004 reportan un análisis químico básico en el

estudio de la madera de aguacate como materia prima para la fabricación de papel corrugado.

No se dispuso de estudios llevados a cabo en la madera de tocón del árbol de aguacate, lo que motiva la realización de la presente propuesta, para contribuir al conocimiento de los recursos forestales no tradicionales, que pudieran tener algún uso o aplicación, acorde con sus propiedades.

Aunado a esto el aprovechamiento del tocón es casi nulo, esto por lo difícil que se hace su extracción del suelo y que muchas de las ocasiones se deja a la intemperie cuando se hacen podas, aclareos o sustituciones de arbolado en las huertas. La extracción de dicho material solo se lleva a cabo cuando el terreno es destinado a la creación de fraccionamientos o casas habitaciones, y es desechado como parte del escombros o desperdicios que se generan al acondicionar el terreno.

Uno de los alicientes de este estudio es la gran cantidad de biomásas que se genera por parte de los tocones y en general del árbol de *Persea americana*, y más aún si se tiene en cuenta que la Ciudad de Uruapan está rodeada de huertas de aguacate que en su mayoría cuentan con más de 25 años y que hoy en día estas se están destinando a la creación de fraccionamientos, plazas comerciales o lugares de recreo, entonces la generación de biomasa actualmente es de grandes proporciones.

I.3 JUSTIFICACIÓN

Como se pudo constatar en los anteriores capítulos, la producción, comercialización, industrialización, investigación y generación de empleo, del fruto, de la planta y de la madera de aguacate (*Persea americana*), es uno de los motores principales que mueve a la economía tanto del país como en la mayoría de los municipios del Estado de Michoacán.

Además de la instalación de nuevos huertos aguacateros en sustitución de miles de hectáreas de uso agrícola y forestal, el cultivo del aguacate ha generado una serie de problemáticas en las regiones donde se siembra y que interactúan con el medio ambiente y las personas.

Una de las dificultades que se tiene y que se mencionó con anterioridad, es la competencia de recursos que existe entre los bosques nativos, como el de pino-encino y los bosques de nueva creación como los del aguacate, que a su vez afectan a los seres vivos que interactúan con ellos, siendo la disposición de agua un problema alarmante.

Según el estudio realizado por el (INIFAP 2009) las diferencias en el consumo de agua de aguacate y de coníferas pueden llegar a ser de hasta un 36%; en árboles adultos. El aguacate puede requerir de hasta 1,100 litros de agua por árbol por mes, mientras que las coníferas normalmente no requieren aplicación de agua, ya que son autosuficientes por su extraordinario sistema radical. La contaminación de agua es más frecuente en el aguacate debido al mal manejo del cultivo principalmente con agroquímicos; en bosque este efecto es nulo.

Alrededor de 1,790,179 ha, que representan 29.9% del total forestal del Estado, con vocación forestal son dedicadas a otros usos o se encuentran en proceso de degradación por incendios, plagas y otros factores, entre los que se incluye a los terrenos con riesgo evidente de erosión (COFOM, 2001). Durante el periodo de 1993 a 2000, se registró una pérdida de 102,538 ha, es decir, 14,648 ha anuales en los bosques de Michoacán, principalmente por cambio de uso de suelo.

En la región de la Meseta Purhépecha que comprende los municipios de Charapán, Cherán, Los Reyes, Nahuátzen, Nuevo Parangaricutiro, Paracho, Peribán, Tancítaro, Tingambato, Uruapan y Ziracuaretiro, se reporta la superficie con cambio de uso de suelo de 15,543 ha en bosques de coníferas, y de 6,234 ha en bosques de coníferas con latifoliadas, durante el periodo de 1976 a 2005. La superficie forestal reportada como ocupada por aguacate es de 22,297.42 ha. (INIFAP).

Así también se tiene que en el cultivo de aguacate se aplican 30 mil toneladas por año de fertilizantes químicos, los cuales contaminan los mantos freáticos; además se aplican 900,450/t por año de pesticidas, muchos de ellos se acumulan en el suelo, mientras que en el sector forestal solo hay evidencias de la aplicación de 205.5 kg de un producto químico insecticida (SEMARNAT Uruapan, 2009).

En la primera etapa del cambio climático en los años 2009-2050, con un aumento moderado de las temperaturas y un enriquecimiento de la atmósfera con CO₂, se esperan impactos que beneficiarán la productividad tanto del aguacate como de los bosques (INIFAP).

En la segunda etapa en el periodo años 2050-2100, el impacto del cambio climático sobre los bosques será bastante moderado, aún sin medidas de mitigación siempre y cuando el incremento de las temperaturas no exceda en promedio los 2 °C. En caso de que el aumento en temperaturas sea mayor, hasta 3.5°, los bosques resentirán impactos que van de moderados a severos (INIFAP).

En el caso del aguacate, los impactos serán más evidentes, repercutiendo en bajas en la producción en las áreas más cálidas en la primera etapa, ya que los efectos favorables de alto CO₂ en la atmósfera, se verán contrarrestados por las altas temperaturas desfavorables. En la segunda etapa, los huertos de áreas muy cálidas tenderán a ser derribados y sustituidos por otros cultivos mejor adaptados, o bien variedades de aguacate de la raza Antillana e híbridos naturales de las razas Antillana y Guatemalteca (INIFAP).

Como se pudo analizar con anterioridad, en el futuro se van a seguir incrementando las superficies aguacateras, lo que nos va a redituarse en la generación de una mayor cantidad de biomasa, esto por las condiciones en que se cultiva el aguacate en el presente y que en el futuro ya no se podrán tener a causa del cambio climático, además del establecimiento de zonas urbanas por el requerimiento de vivienda en los huertos aguacateros cercanos a la periferia de las ciudades.

Debido a lo anterior y al derribo del arbolado de aguacate se crearan grandes cantidades de biomasa, sobretodo la parte del tocón, que es la fracción que por lo regular se deja en las huertas por lo difícil que es la extracción y debido a que no existe técnicas o métodos para trabajar esta parte del árbol y que pudiera resultar de bajo costo, puesto que las constructoras lo que requieren es deshacerse de la mayor parte de los desechos que se crean al acondicionar los predios, previamente destinados a la vivienda. Además del interés que se tiene por esta parte, si se señala que es la fracción que más extraíbles puede contener y que su estudio ha sido nulo.

Esto ayudará a la utilización del tocón para diversos usos y para que el árbol de *P. americana* sea aprovechado en su mayoría con fines industriales o de investigación científica.

Esto motiva la realización del presente estudio, además de que no se encontraron estudios llevados a cabo en la madera del tocón y ramas del aguacate, así también se tiene que con la generación de tal cantidad de biomasa se podrían satisfacer las necesidades y exigencias que se requieren para desarrollar en un futuro el presente estudio y así coadyuvar a mejorar las condiciones del medio ambiente en el que interactuemos.

I.4 GENERALIDADES DE LA ESPECIE

I.4.1 Taxonomía *Persea americana*

Familia: Lauraceae

Genero: *Persea*

Especie: *Persea americana*

(avocadosource)

I.4.2 Descripción de la especie

La corteza externa es extremadamente fisurada, de gris morena a rojiza. La corteza interna es color crema claro que cambia a anaranjado, granulosa. Con un grosor total de la corteza de aproximadamente 30 mm (Guridi, García 2000).



Fig.1. Árbol de aguacate (*Persea americana*)

I.4.3 Descripción de la madera

Color: castaño rosáceo claro

Olor: no se percibe

Sabor: Astringente

Veteado: suave a moderadamente pronunciado

Textura: mediana

Hilo: recto a ondulado

Brillo: alto plateado

Tipo de porosidad: difusa

Visibilidad de los poros: visibles con lupa

Diámetro de los poros: muy pequeños

Abundancia de poros: moderadamente numerosos

Arreglo de poros: solitarios y múltiples radiales (Guridi, García 2000).



Fig.2. Madera de aguacate (*Persea americana*)

I.5 OBJETIVOS

I.5.1 Objetivos generales

Determinar la composición química básica y llevar a cabo un escrutinio de los extractos obtenidos, a partir de la madera y el tocón del árbol de *P. americana*, de la región de Uruapan, Michoacán.

I.5.2 Objetivos específicos

➤ Composición química:

- Determinar la variabilidad del pH en la especie
- Determinar el contenido de sustancias inorgánicas (cenizas)
- Realizar un análisis cualitativo de las cenizas
- Determinar la solubilidad mediante extracción sucesiva en: ciclohexano, acetona, metanol y agua caliente.
- Determinar la solubilidad en NaOH al 1%
- Determinar el contenido de lignina
- Determinar el contenido de holocelulosa

➤ Determinar el escrutinio de los extractos obtenidos.

Capítulo II. MATERIALES Y MÉTODOS

II.1 Habilitación de material

El material de estudio para el presente trabajo se extrajo de la Huerta de Aguacate del Rancho “La Cofradía”, perteneciente a la Comunidad de Caltzontzin, Municipio de Uruapan, Michoacán (Fig.3).

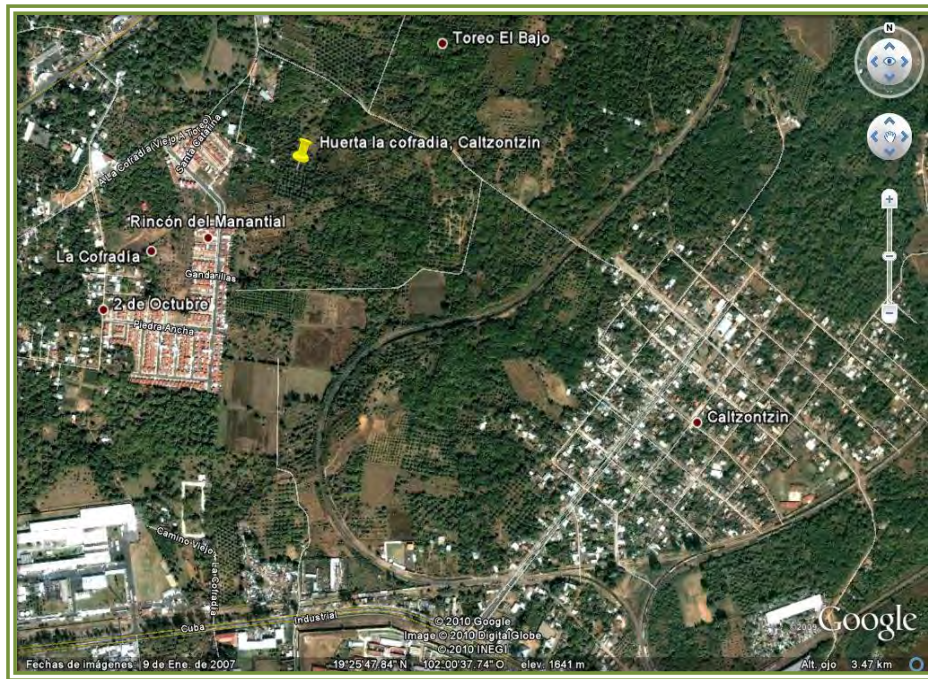


Fig. 3. Ubicación del terreno de la extracción del árbol de aguacate.

Después de la identificación botánica de la especie (Pennington, Sarukhán, 1968), se procedió a su derribo y limpieza para seccionarlo y obtener las distintas partes del árbol a utilizar. Para el tocón se obtuvo una rodaja de aproximadamente 30 cm de espesor y 60 cm de diámetro, enseguida se obtuvo otra rodaja a 1.30 m del tocón, diámetro a la altura del pecho, (DPA), de aproximadamente 20 cm de espesor y 60 cm de diámetro, para finalizar con el corte de las ramas aleatoriamente (Fig. 4).



Fig. 4. Preparación del material. **a)** Selección del árbol, **b-c)** Derribo, **d)** Seccionamiento, **e)** Partes del árbol a utilizar

Una vez que se descortezó la madera, se sometió a un astillado por separado, con la finalidad de obtener astillas de dimensiones adecuadas para la fase de molienda, llevada a cabo en un molino de la marca Micron K-20, de conformidad con la norma T 257 cm-85 de TAPPI (2000), hasta obtener la harina de madera que posteriormente fue clasificada en tres tamaños de partícula utilizando una criba (Fig. 5).

El material que se seleccionó para determinar las propiedades químicas, fue el que paso por malla 40 (420 μm) y que fue retenido en malla 60, almacenándolas en bolsas de plástico para evitar que las muestras se contaminaran, absorbiera o cediera humedad.

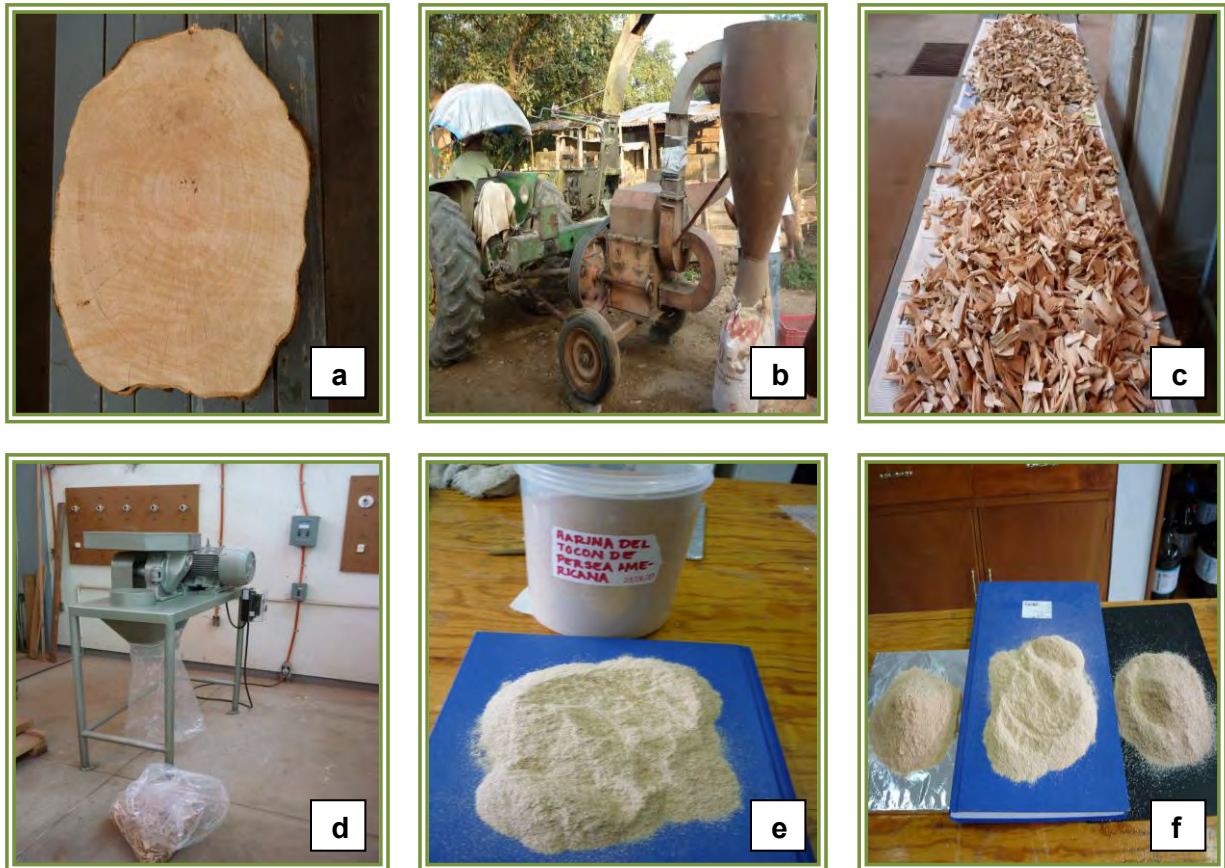


Fig. 5. Proceso para la obtención de la harina. **a)** troza, **b)** astillador, **c)** astilla, **d)** molino, **e)** harina de madera, **f)** Clasificación de la harina.

A continuación se presenta un diagrama general el cual se siguió para llevar a cabo el análisis químico de la presente investigación (Fig. 6), la conformación de tal diagrama se diseñó a partir de las normas y métodos (TAPPI 2000, Método de extracción sucesiva mediante ciclohexano, acetona, metanol y agua, Bernabé 2008) que ya se han aplicado en distintos experimentos para el análisis de varias maderas y que han generado resultados satisfactorios.

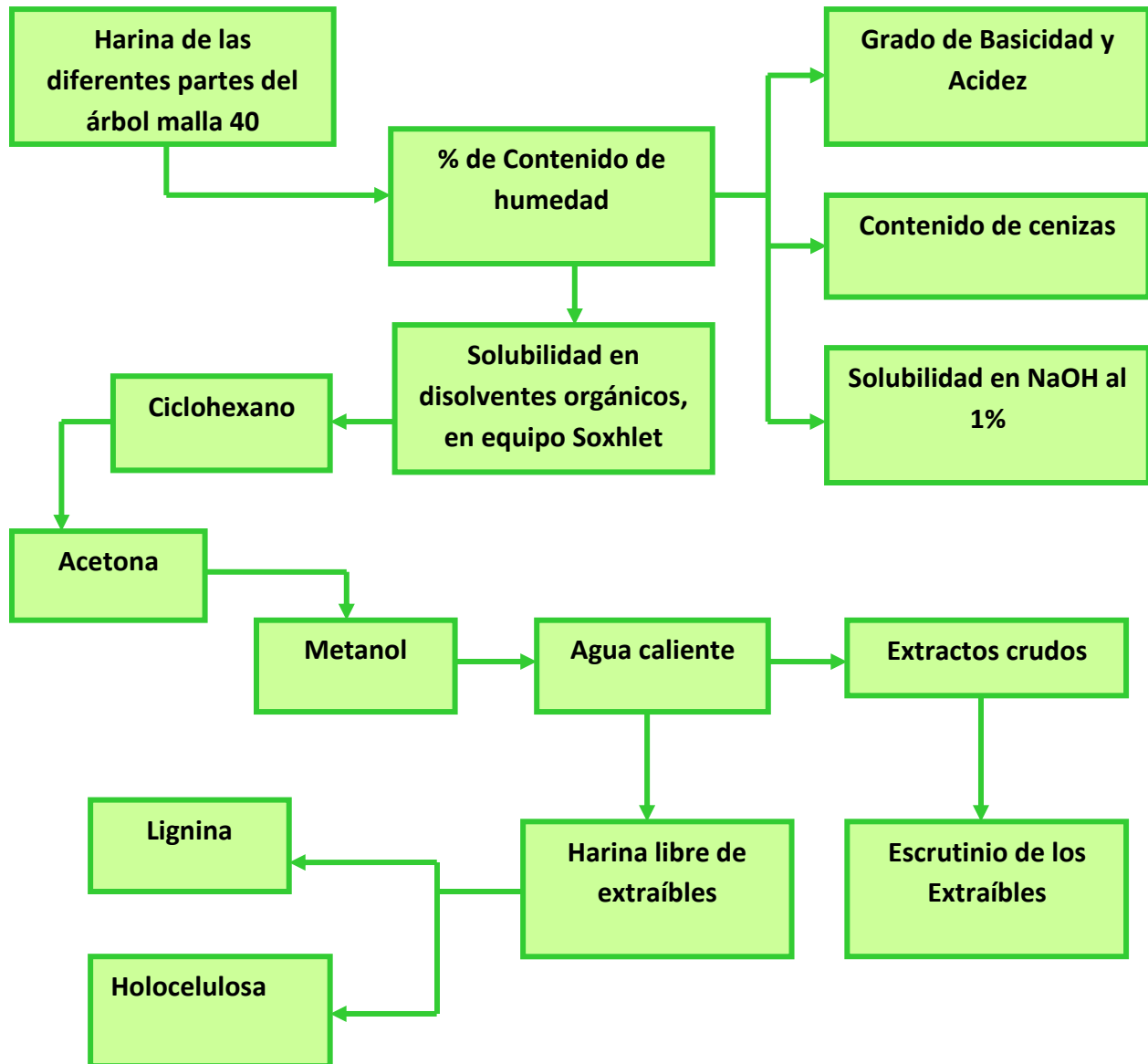


Fig. 6. Diagrama general para el análisis químico, (Bernabé 2008).

II.2 Análisis Químico

A continuación se señala la norma o método que se aplicó para determinar la composición química, así como el escrutinio de los extraíbles de la madera y el tocón del árbol de *P. americana*.

Determinación	Norma/Técnica
Preparación del material	T 264 cm-97 (TAPPI 2000).
pH	Sanderman y Rothkamm (1951)
Cenizas	T 211 om-93 (TAPPI 2000)
Solubilidad en disolventes orgánicos	Extracción sucesiva con disolventes de polaridad creciente
Solubilidad en NaOH al 1%	D 1109 – 84 (ASTM 1995)
Lignina Runkel	Runkel y Wilke (1951)
Holocelulosa	Wise (1946)
Contenido de taninos	Wessmann <i>et al.</i> (1980)
Escrutinio de los extraíbles	Domínguez (1988)

Normas y métodos para el estudio de la especie.

Antes de iniciar el análisis químico se determinó el porcentaje de humedad del material de estudio, siguiendo la técnica de deshidratación a 103 °C. Este material utilizado para determinar la humedad, no fue empleado para determinar los ensayos químicos (Fig. 7). La preparación del material para los ensayos se realizó siguiendo la norma T 264 cm-97 (TAPPI 2000).



Fig. 7. Secuencia para obtener el Contenido de Humedad de la especie. a) harina de madera, b) estufa de secado, c) muestras a peso constante.

II.2.1 Determinación de la variabilidad del pH

La determinación del pH (Moisture pH; MpH) tuvo lugar de acuerdo al método Sanderman y Rothkamm (1959), la muestra fue colocada en un vaso de precipitados, adicionándole 20 ml de agua destilada y se procedió a tomar la

lecturas con un potenciómetro a los 5 minutos, 4, 24 y 48 horas consecutivamente (Fig.8).

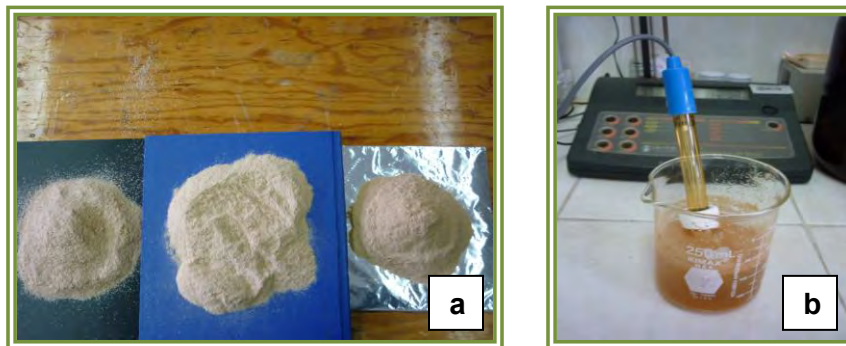


Fig. 8. Determinación de pH. a) harina de madera, b) medición con el potenciómetro.

II.2.2 Determinación del contenido de cenizas

El contenido de cenizas se efectuó de manera gravimétrica después de quemar cuidadosamente las muestras en placas de calentamiento, para posteriormente calcinarlas en una mufla a 525 °C utilizando crisoles de níquel (Fig. 9), esto de acuerdo a la norma T 211 om-93 (TAPPI 2000).

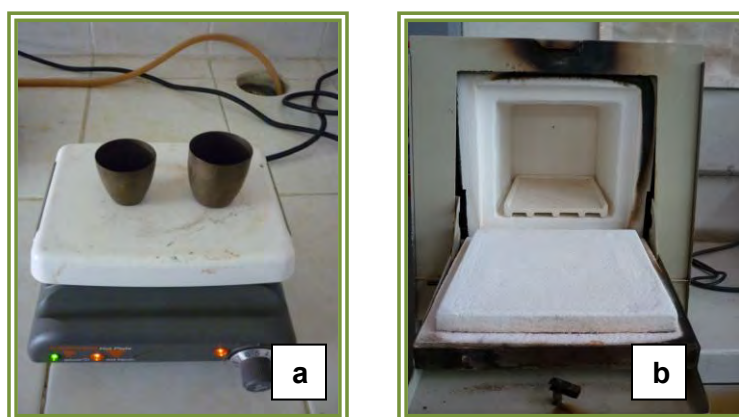


Fig. 9. Determinación del contenido de cenizas, a) carbonización, b) calcinación.

II.2.3 Análisis Cualitativo y cuantitativo de las cenizas

El análisis cualitativo de las cenizas, se determinó en un espectrómetro de dispersión de rayos X, acoplado a un microscopio electrónico de barrido. Las condiciones para los análisis fueron 15 Kv y 8.5 segundos (Fig.10).

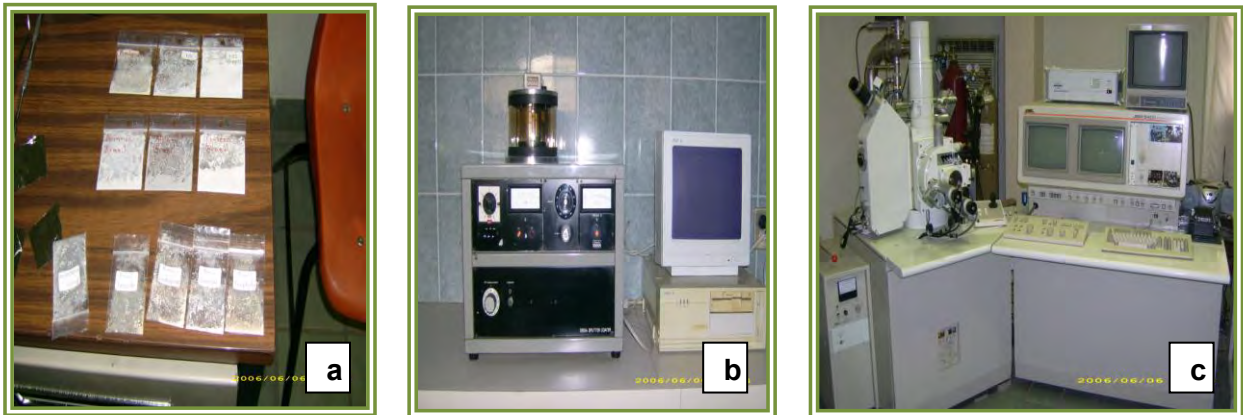


Fig. 10. Análisis cualitativo de las cenizas, **a)** muestras de las cenizas, **b)** metalizado, **c)** microscopio electrónico de barrido.

El microscopio electrónico de barrido consiste en hacer incidir un delgado haz de electrones acelerados, con energías desde unos cientos de eV hasta unas decenas de keV (50 KeV), sobre una muestra gruesa, opaca a los electrones. Este haz se focaliza sobre la superficie de la muestra de forma que realiza un barrido de la misma siguiendo una trayectoria de líneas paralelas. De todas las formas de radiación resultantes de la interacción del haz incidente y la muestra, hay dos realmente fundamentales en el microscopio de barrido: los electrones secundarios y los electrones retrodispersados. Los primeros son electrones de baja energía (decenas de eV) que resultan de la emisión por parte de los átomos constituyentes de la muestra (los más cercanos a la superficie) debido a la colisión con el haz incidente. Los electrones retrodispersados sin embargo, son electrones del haz incidente que han interaccionado (colisionado) con los átomos de la muestra y han sido reflejados. La intensidad de ambas emisiones varía en función del ángulo

que forma el haz incidente con la superficie del material, es decir depende de la topografía de la muestra.

La señal emitida por los electrones y radiación resultantes del impacto se recoge mediante un detector y se amplifica para cada posición de la sonda. Las variaciones en la intensidad de la señal que se producen conforme la sonda barre la superficie de la muestra, se utilizan para variar la intensidad de la señal en un tubo de rayos catódicos que se desplaza en sincronía con la sonda. De esta forma existe una relación directa entre la posición del haz de electrones y la fluorescencia producida en el tubo de rayos catódicos. El resultado es una imagen topográfica muy ampliada de la muestra. El aumento de la imagen producido por el microscopio de barrido resulta de la relación entre las dimensiones de la imagen final y el área de la muestra que ha sido barrida. Así, por ejemplo, si la sonda barre un área de 1 mm^2 de la muestra y la imagen en la pantalla es de 100 mm^2 , ésta ha sido ampliada 100 veces. Este microscopio tiene un rango de aumentos que varía desde $\times 10$ hasta $\times 200.000$ con una distancia focal de 35 mm. El poder de resolución del microscopio es determinado directamente por el área mínima que la sonda es capaz de escanear.

Si la muestra no es buena conductora se acostumbra a recubrirla con una película conductora metálica o de carbono para evitar que ésta se cargue cuando sea irradiada. El espectro de radiación X emitido por un mineral en el proceso puede ser utilizado para hacer un microanálisis químico semicuantitativo mediante espectrometría de dispersión de longitudes de onda. Los electrones incidentes excitan los átomos de la muestra y provocan la emisión de rayos X cuya longitud de onda (λ) es característica de los elementos presentes en la muestra y cuya intensidad para una determinada longitud de onda es proporcional a la concentración relativa del elemento a esa λ . Normalmente se obtiene un análisis cualitativo de los constituyentes mayoritarios y minoritarios de pequeñas áreas (1mm). Sin embargo, en muestras planas y bien pulidas es posible hacer análisis cuantitativos al comparar la intensidad de los rayos X a cualquier λ con la

producida en una muestra estándar (patrón) de composición conocida. La precisión de un análisis cuantitativo normalmente es mayor del $\pm 2\%$ y los límites de detección están alrededor de las 100 ppm en análisis rutinarios, llegando a ser de 10 ppm en circunstancias excepcionales (uned.es/cristamin).

II.2.4 Solubilidad en Sosa (NaOH) al 1%

Para llevar a cabo la solubilidad a la sosa se agregó a 2.0 g de muestra de harina de cada parte del árbol 100 ml de NaOH al 1%, llevándolas inmediatamente a baño María por un tiempo de una hora, agitando el contenido en periodos de 10, 15 y 25 minutos. Después de haber concluido la digestión, las muestras se filtraron y lavaron con agua caliente, posteriormente se les adicionó 50 ml de ácido acético al 10% y se continuó lavando hasta que las muestras se encontraran neutras (Fig. 11).



Fig. 11. Proceso de la solubilidad a la sosa, a) baño maría, b) filtrado c) secado.

II.2.5 Obtención de los extraíbles

La obtención de extractos se realizó utilizando disolventes de polaridad ascendente: ciclohexano, acetona, metanol y agua caliente de manera sucesiva. Para los disolventes orgánicos se emplearon equipos Soxhlet por periodos de 6 horas. Para las extracciones en agua caliente, se emplearon condensadores

durante un periodo de 4 horas, una vez terminados los periodos extracción se obtuvo lo que se conoce como “harina libre de extraíbles” (Fig. 12).

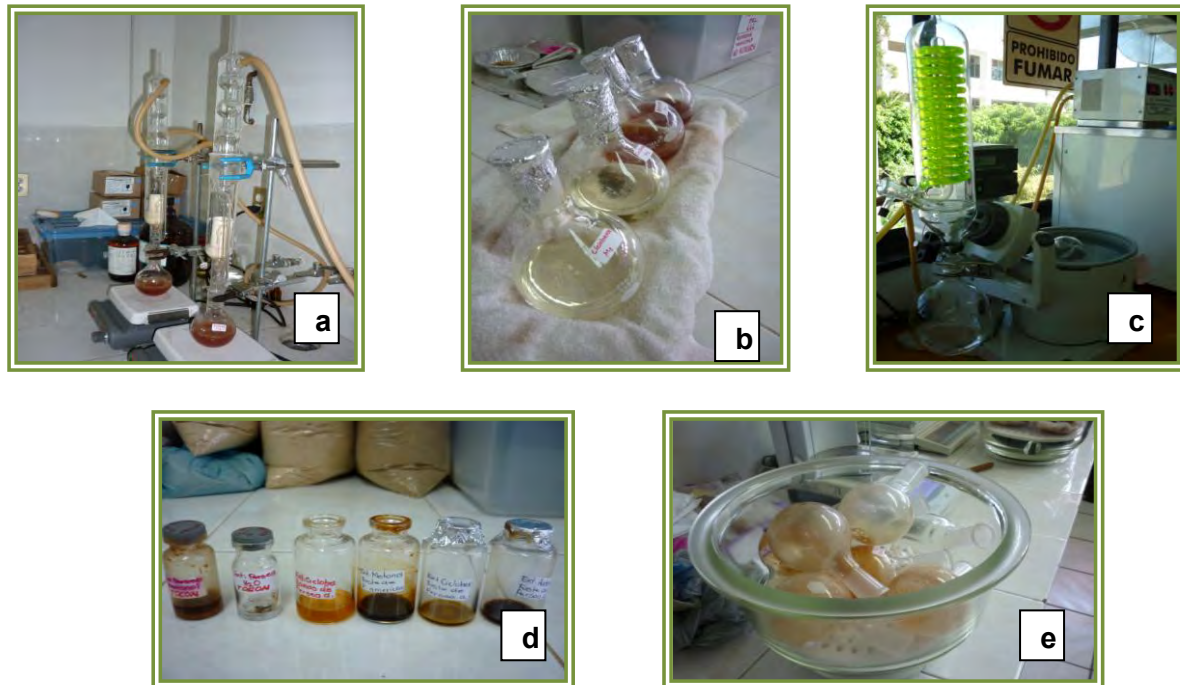


Fig. 12. Obtención de los extractos, **a)** extracción en equipo Soxhlet, **b)** mezcla de extraíbles y disolvente, **c)** Recuperación de solventes, **d)** desecador, **e)** extractos crudos.

II.2.6 Determinación de la Lignina

El contenido de lignina presente en la madera de las distintas partes del árbol de aguacate (*P. americana*), se desarrolló siguiendo la técnica de Runkel y Wilke (1951), en la cual se procedió agregando ácido sulfúrico al 72% y ácido bromhídrico al 40% a las muestras, agitándolas y dejándolas reposar por 2 horas.

Para posteriormente agregar 100 ml de agua destilada, se dejaron hervir por cinco minutos, se filtraron en embudos Buchner y se lavaron en repetidas ocasiones con agua destilada fría y acetona, finalmente se llevaron a peso constante en una estufa a 103 °C (Fig. 13).

René Bernabé Santiago

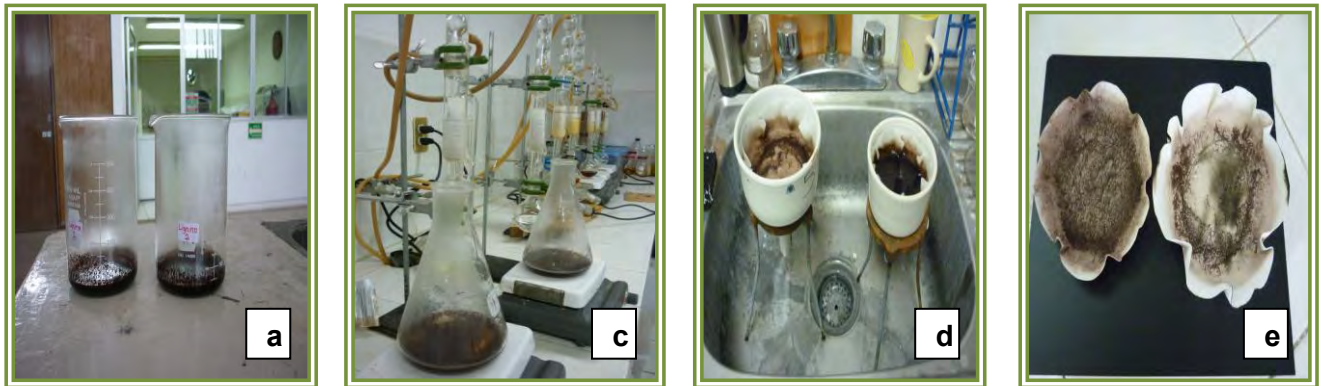


Fig. 13. Obtención de Lignina, **a)** mezcla de ácidos y muestras, **b)** ebullición de la mezcla, **c)** filtrado, **d)** Lignina.

II.2.7 Obtención de Holocelulosa

Mediante el método Wise (1946), se determinó el porcentaje holocelulosa contenida en la madera. Se colocaron las muestras en matraces Erlenmeyer adicionando una solución de clorito de sodio y ácido acético, manteniendo los matraces tapados y en reacción en baño de agua a 75 °C. Añadiendo cada hora clorito de sodio y ácido acético, por un periodo de cuatro horas.

Después se vertieron las muestras en filtros de fondo poroso con vacío para facilitar el filtrado, a continuación se lavaron en repetidas ocasiones con agua destilada fría y acetona, finalmente los especímenes se llevaron a una estufa a 40 °C hasta peso constante (Fig. 14).

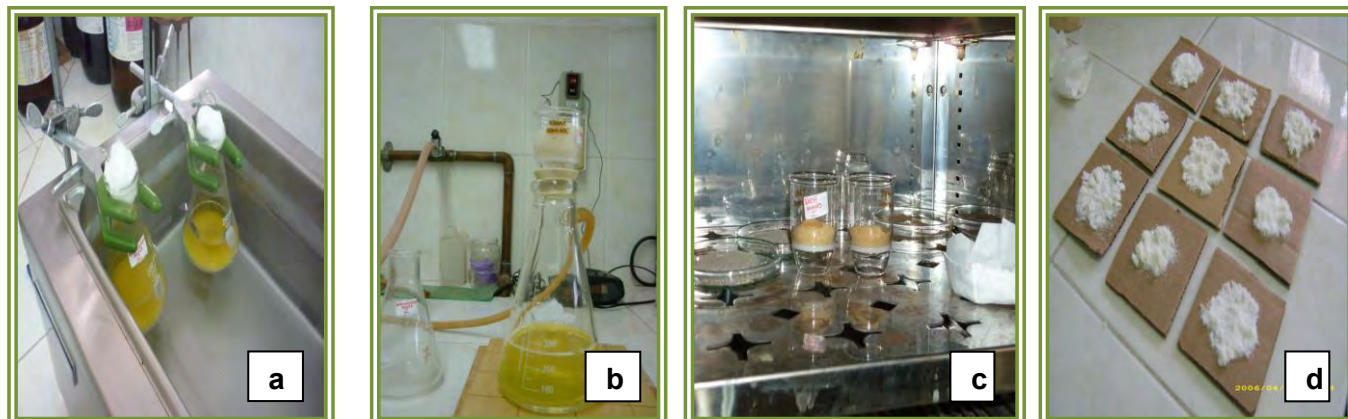


Fig. 14. Secuencia para la obtención de Holocelulosa, **a)** digestión en baño maría, **b)** filtrado con vacío, **c)** muestras a peso constante, **d)** Holocelulosa.

II.3 Escrutinio de los Extraíbles

Una vez que se obtuvieron los extraíbles se procedió al escrutinio de los extractos crudos de mayor rendimiento, como se muestra en el diagrama (Fig. 15)

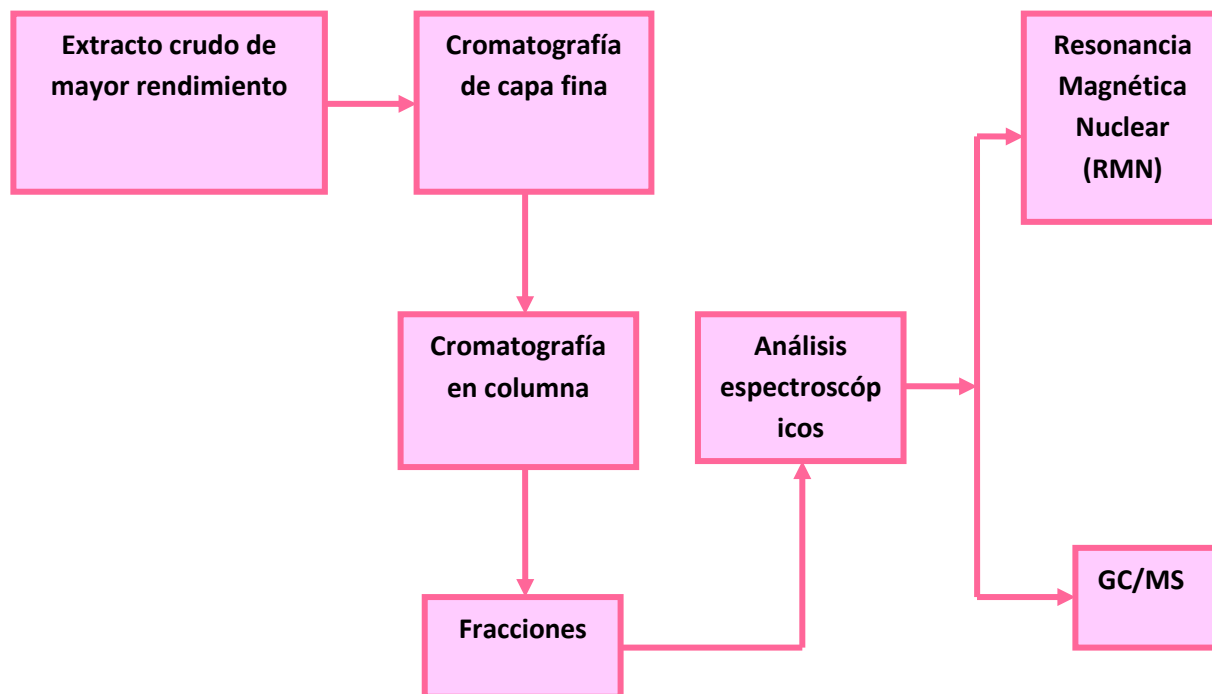


Fig. 15. Diagrama general para el escrutinio de los extractos.

El extracto crudo del tocón se diluyó en con dicloro-metano y una vez que se comprobó que fue soluble, se procedió a tomar una muestra para llevar a cabo cromatografía de capa fina. Para desarrollar la cromatografía de capa fina, se marcó la placa para después depositar un punto del extracto diluido en cada marca, posteriormente se introdujo en una solución de hexano-acetato de etilo (8-2). Después de haberse sumergido la placa se dejó secar y visualizó en rayos UV.

Enseguida se realizó la cromatografía en columna, la cual consistió en empacar silica gel en solución con hexano, para después verter el extracto diluido en la columna. Se fue agregando a la columna soluciones de (9-1, hasta 5-5) de hexano-acetato etilo, para finalizar con una última etapa de diclorometano.

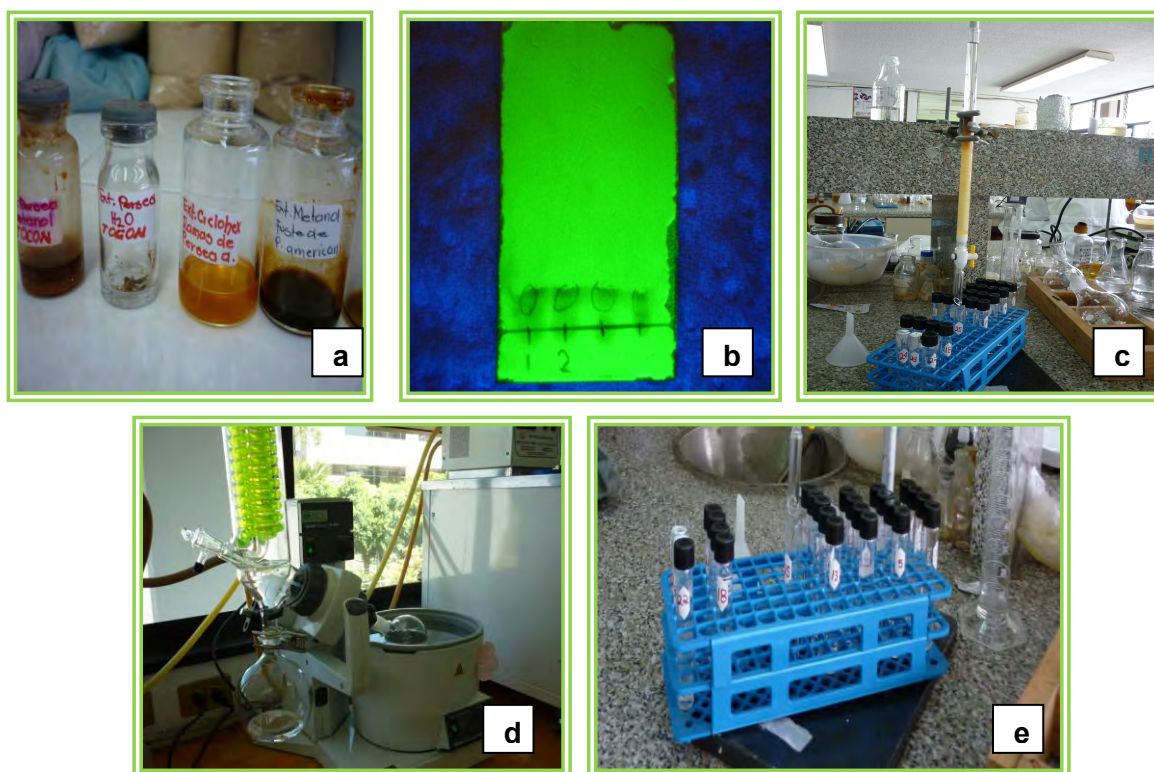


Fig. 16. Proceso para el escrutinio de los extractos, **a)** extraíbles, **b)** placa, **c)** cromatografía de columna, **d)** rotavapor, **e)** fracciones para analizar.

Una vez que se obtuvieron las fracciones en acetona para el tocón se envió la fracción número 7, así como los extractos crudos en metanol para las ramas y en ciclohexano para el fuste, a un análisis mediante Resonancia Magnética Nuclear (RMN), el cual es un fenómeno físico que se basa en las propiedades magnéticas que poseen algunos núcleos atómicos para extraer información estructural de la muestra que se está analizando basándose en la medida de la absorción de la radiación electromagnética en la región de las radiofrecuencias (Skoog 2001).

De esta manera las fracciones fueron analizadas en un equipo de Resonancia Magnética Nuclear de protón (RMN- ^1H) marca Varian, a 200 MHz, a una temperatura de 20 °C, la señal se acumuló de 128 a 256 veces, con un tiempo de 10 minutos, utilizando como disolvente acetona deuterada.



Fig. 17. Equipo de Resonancia Magnética Nuclear, marca Varian.

Después se analizaron en un equipo de Cromatografía de Gases acoplado a masas (CG/MS). La cromatografía de gases es una técnica separativa que tiene la cualidad de conseguir la separación de mezclas muy complejas. Pero una vez separados, detectados, e incluso cuantificados todos los componentes individuales de una muestra problema, el único dato de que disponemos para la identificación de cada uno de ellos es el tiempo de retención de los correspondientes picos cromatográficos. Este dato no es suficiente para una identificación inequívoca, sobre todo cuando analizamos muestras con un número elevado de componentes, como es frecuente en cromatografía de gases capilar. Por otra parte, la espectrometría de masas puede identificar de manera casi inequívoca cualquier sustancia pura, pero normalmente no es capaz de identificar los componentes individuales de una mezcla sin separar previamente sus componentes, debido a la extrema complejidad del espectro obtenido por superposición de los espectros particulares de cada componente. Por lo tanto, la asociación de las dos técnicas, GC (“Gas Chromatography”) y MS (“Mass Spectrometry”) da lugar a una técnica combinada GC-MS que permite la separación e identificación de mezclas complejas. La utilización de la cromatografía de gases acoplada a un espectrómetro de masas requiere sistemas especiales de conexión. En principio, se trata de dos técnicas que trabajan en fase gaseosa y necesitan una muy pequeña cantidad de muestra para su análisis, por lo que son muy compatibles.

Actualmente, el acoplamiento directo resulta fácil cuando se utiliza la cromatografía de gases capilar, que es el caso más habitual. En resumen, una mezcla de compuestos inyectada en el cromatógrafo de gases se separa en la columna cromatográfica obteniendo la elución sucesiva de los componentes individuales aislados que pasan inmediatamente al espectrómetro de masas. Cada uno de estos componentes se registra en forma de pico cromatográfico y se identifica mediante su respectivo espectro de masas. En este proceso, el espectrómetro de masas, además de proporcionar los espectros, actúa como detector cromatográfico al registrar la corriente iónica total generada en la fuente iónica, cuya representación gráfica constituye el cromatograma o “TIC” (total ion

current). En efecto, la corriente iónica generada por todos los iones da proporcional a la concentración del compuesto detectado. En el caso de mezclas complejas, el cromatograma obtenido puede presentar muchos picos, algunos de ellos muy próximos, resultando difícil la identificación rápida y fiable de algún compuesto de interés. Cuando se desea explícitamente localizar la presencia de uno o varios compuestos determinados, de espectro conocido, con la mayor rapidez o con la máxima sensibilidad posible se recurre a la técnica de detección SIR (“selected ion recording”). En esta modalidad de trabajo se detectan solamente algunas masas de interés, en lugar de trabajar con el total de los iones (TIC). De esta forma, se aumenta la selectividad del método, reduciéndose las interferencias (upcommons.upc.edu).

Esto se llevó a cabo en un equipo de Gases HP, mediante el método MSC-MTH, manteniéndose a 200 °C por 5 minutos sucesivamente, con un inyector de 240 °C, una interface de 260, transferencia de flujo de 1 ml por minuto en columna y una temperatura de iones de 200 °C y 70 eV.

Capítulo III. RESULTADOS

Los resultados derivados de la presente investigación se proporcionan de acuerdo al diagrama general para el análisis químico (Figura 6), y el diagrama general para el escrutinio de los extractivos, (Figura 15).

III.1 Medición del pH en la madera

De acuerdo a las mediciones llevadas a cabo para la medición del pH de la especie, los resultados se muestran en el cuadros 1,2, se observa que el intervalo promedio de variabilidad del pH en el tocón fue de 5.43, para el fuste de 5.81 y para las ramas resultado ser 6.28.

<i>P. americana</i>	
Parte del Árbol	pH
Ramas	6.28
Fuste	5.81
Tocón	5.43

Cuadro. 1. Valores de la variabilidad del pH

Mediciones de pH <i>P. americana</i>			
Tiempo	Ramas	Fuste	Tocón
5 minutos	5.8	5.7	5.6
4 horas	5.7	5.5	5.3
24 horas	6.8	6.3	5.6
48 horas	6.5	5.6	5.1

Cuadro. 2. Mediciones de pH/tiempo

III.2 Porcentaje del Contenido de cenizas

En el cuadro 3 y la figura 20, están representados los valores para el porcentaje de cenizas presente en la especie. Se puede observar que el porcentaje de cenizas más bajo resultado del tocón, y el mayor para las ramas.

<i>P. americana</i>	
Parte del Árbol	% de cenizas
Ramas	2.73
Fuste	2.29
Tocón	0.32

Cuadro 3. Valores del porcentaje de cenizas.

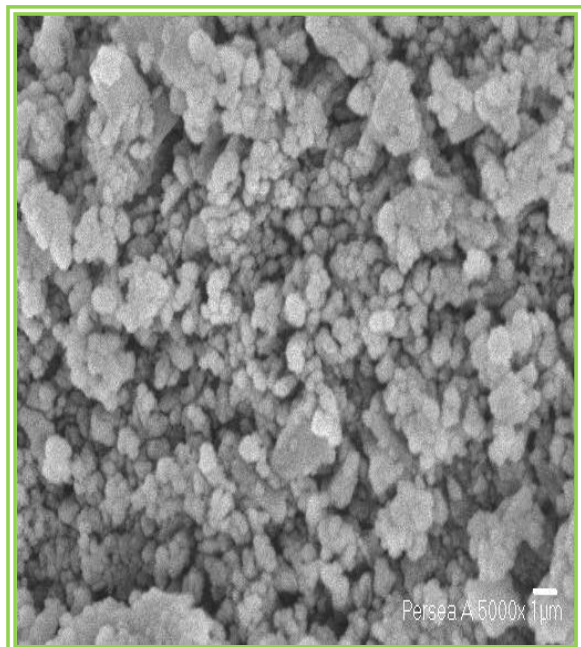
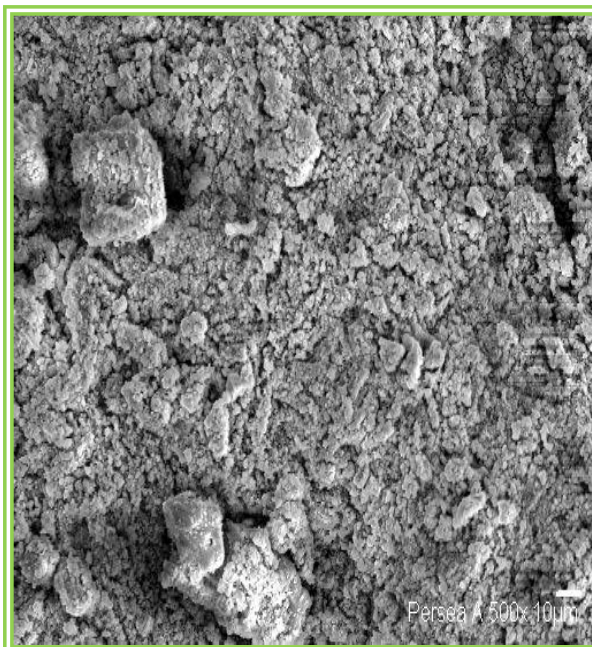
III.2.1 Trazas de elementos presentes en las cenizas

En el cuadro 4, se muestra los resultados obtenidos en el análisis cualitativo y cuantitativo llevado a cabo en espectrómetro de dispersión de rayos X, acoplado a un microscopio electrónico de barrido, se puede apreciar que el elemento con más presencia es el Potasio seguido del Calcio y Fosforo.

% de trazas de los elementos presentes en el Tocón de <i>P. americana</i>						
Fosforo	Potasio	Calcio	Aluminio	Magnesio	Silicio	Azufre
0.056	0.175	0.117	0.00002	0.0014	0.000021	0.000015

Cuadro 4. Valores de las trazas de los elementos presentes en el tocón.

En la figuras 18 y 19 se muestran imágenes del análisis de las cenizas a 500x que muestran una perspectiva general, mientras que en la de 5000x se visualiza más a detalle las conformaciones de los elementos encontrados en esta especie. También se puede observar un mapeo de algunos elementos presentes en las cenizas de la especie de *P. americana*, así como un espectro (Fig. 20).



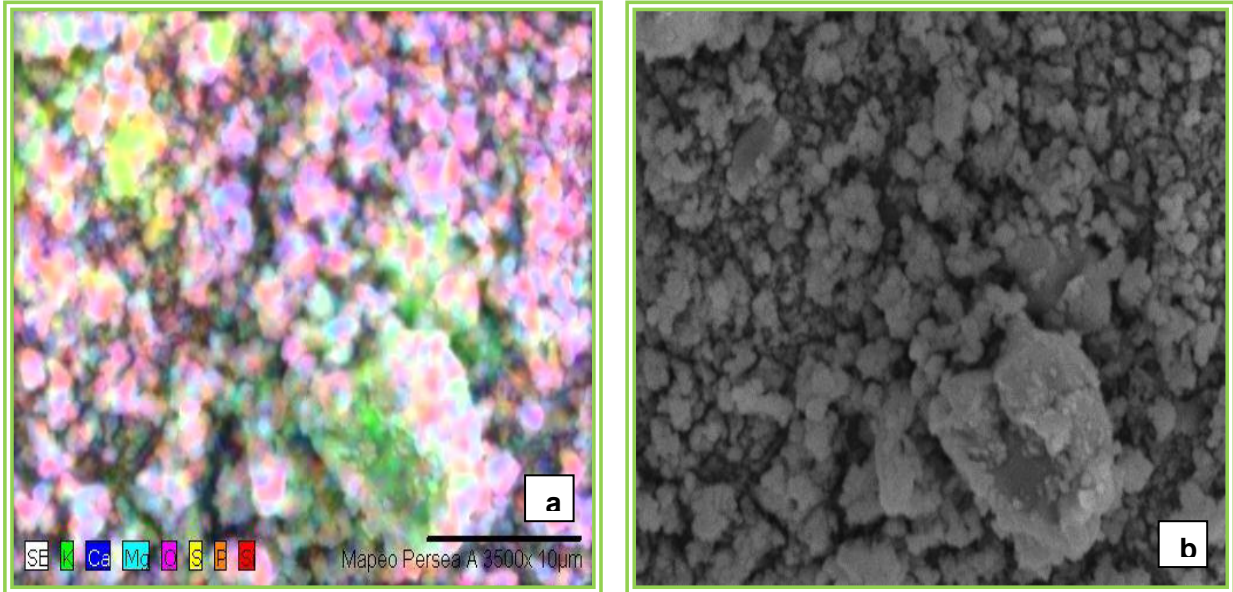


Fig. 18. Cristales de algunos elementos presentes, a) vista 500x, b) vista 5000x.

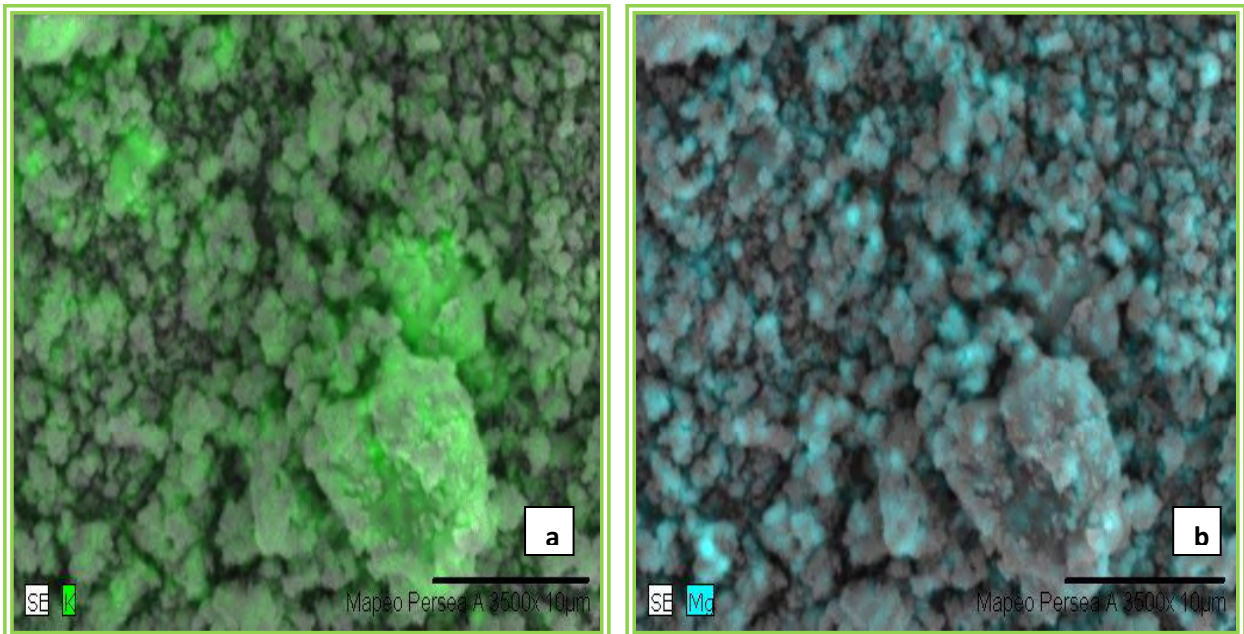


Fig. 19. Patrones de mapeo, a) Potasio [K], b) Magnesio [Mg].

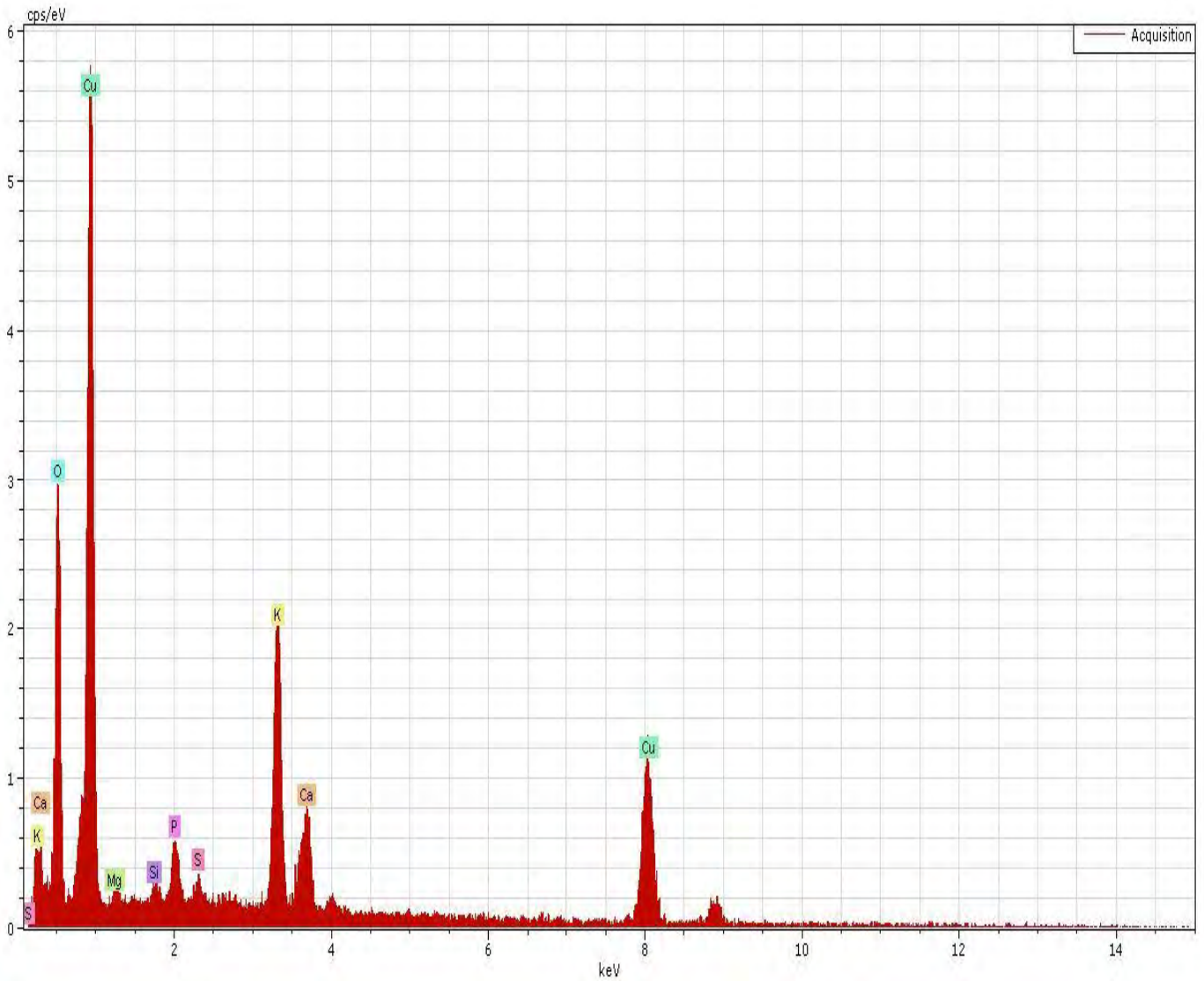


Fig. 20. Espectro de los elementos presentes las cenizas de la especie.

III.3 Grado de solubilidad de la madera en Hidróxido de sodio al 1%

En el siguiente cuadro 5 se puede observar los valores obtenidos para el material soluble en sosa al 1%, siendo el de mayor solubilidad para la parte del tocón con 26.62% y el de menor solubilidad para el fuste con un 17.81%.

<i>Persea americana</i>	
Parte del Árbol	% de Solubilidad en NaOH
Ramas	24.35
Fuste	17.81
Tocón	26.62

Cuadro 5. Valores para el material soluble.

III.4 Rendimientos de los Extraíbles obtenidos

Para el caso de los resultados derivados de las extracciones sucesivas con los diferentes disolventes, se pueden observar en la figura 21 y en el cuadro 6 las sumas totales de sus porcentajes para cada segmento del árbol estudiado.

% de extraíbles en disolventes orgánicos					
Parte del Árbol	Ciclohexano	Acetona	Metanol	Agua caliente	Ext. Total
Ramas	1.32	2.8	3.69	2.96	10.77
Fuste	2.66	1.95	2.34	1.46	8.41
Tocón	1.96	6.95	5.6	2.7	17.21

Cuadro 6. Porcentaje de extraíbles en los disolventes y suma de extractos.

Siendo los de mayor rendimiento los siguientes: el tocón con 6.95% en acetona, seguido del extracto obtenido de las ramas con el 3.69% en metanol y por último los provenientes del fuste con 2.66% en ciclohexano, además de la suma total de los extractos para cada fragmento del árbol como se puede apreciar en la tabla y en la gráfica. Cabe mencionar que los extraíbles de mayor rendimiento obtenidos por cada sección del árbol de aguacate con su respectivo disolvente, fueron los que se utilizaron para desarrollar el escrutinio de los extractos crudos.

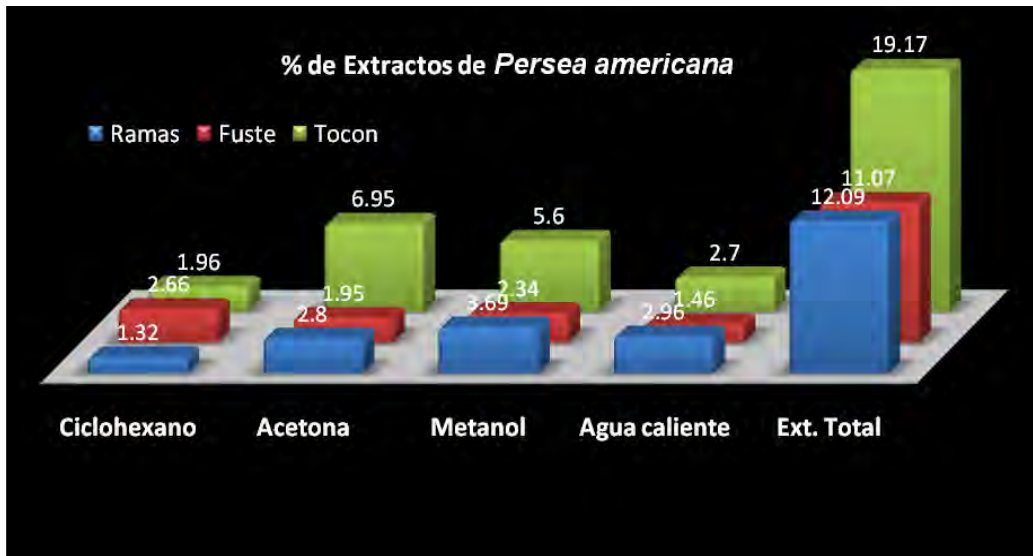


Fig. 21. Gráfica de los porcentajes de extraíbles para cada sección del árbol.

III.5 Contenido de Holocelulosa

En relación al contenido de holocelulosa, los valores se pueden analizar en cuadro 7, se puede apreciar un alto contenido de holocelulosa para la madera en general. Siendo el de mayor rendimiento el del tocón con un 85.76% de holocelulosa y el contenido de menor el que se registró en las ramas con 78.35% de holocelulosa.

III.6 Porcentaje de Lignina

Relativo al contenido de lignina los valores obtenidos de este estudio, se pueden examinar en el cuadro 6, se observa un bajo contenido de lignina de manera general en la madera de esta especie. Se puede examinar que el más bajo contenido de lignina se registró en el tocón con un 11.3% y el más alto contenido se observó en las ramas con un 20.96%.

<i>P. americana</i>		
Parte del Árbol	% Lignina	% de Holocelulosa
Ramas	20.96	78.35
Fuste	15.35	81.12
Tocón	11.3	85.76

Cuadro 7. Porcentajes de los componentes estructurales presentes en la madera de aguacate.

III.7 Escrutinio e identificación de algunos extraíbles

Los resultados originados a partir de la presente investigación para el caso del escrutinio de los extraíbles están plasmados de acuerdo al diagrama de la figura 15, presentada en el capítulo de materiales y métodos. Una vez que se llevó a cabo la cromatografía de columna y que se obtuvieron las fracciones de las tres partes del árbol de aguacate (tocón, fuste y ramas), se enviaron para el análisis de RMN.

III.7.1 Resonancia Magnética Nuclear

Una vez que se llevó a cabo el análisis de las fracciones mediante RMN nos proporcionó un espectro para cada parte del árbol de *P. americana*.

En el espectro de la figura 22, se pueden observar las señales de campo bajo a campo alto (derecha a izquierda) en el cual se observa en primera instancia en la región ($\delta = 0.5-2$) señales con protones simples de hidrocarburos o cadenas largas alifáticas.

Después se tienen otras señales en la región ($\delta = 2-3$) donde se pueden ver carbonos adyacentes unidos a un carbonilo, posteriormente se tienen en la región ($\delta = 4-5.5$) protones del tipo de los alquenos. Enseguida se tiene una serie de señales que corresponden a protones en la región de los aromáticos ($\delta = 7-8$) y por

último se tiene un tricloro metilo (CHCl_3) el cual forma parte de la preparación de la muestra.

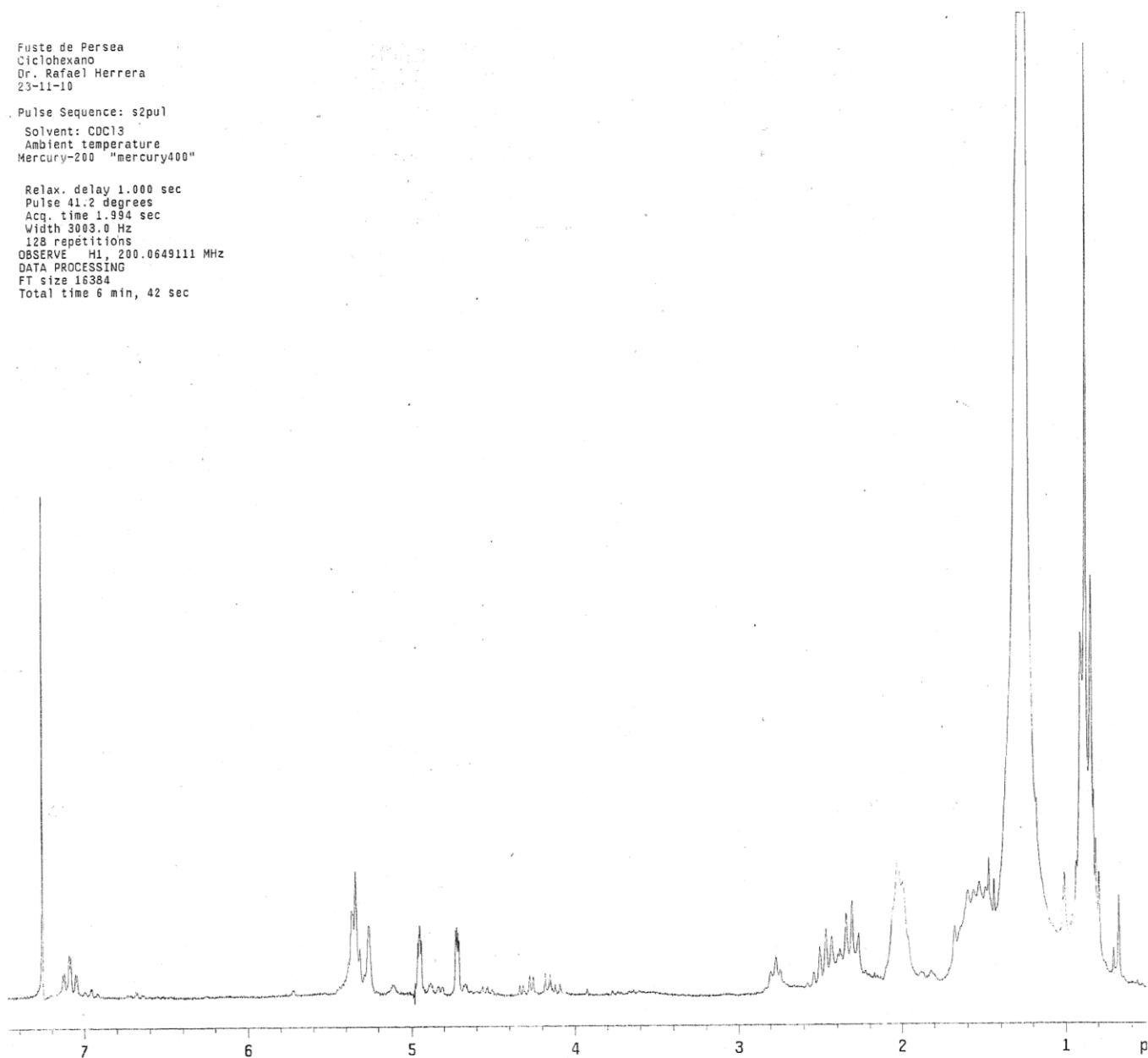


Fig. 22. Espectro de RMN^1H del extracto ciclohexánico del fuste de *P. americana*.

En el espectro de RMN de la figura 23, se tienen las señales de campo bajo a campo alto, en el cual la primera corresponde a hidrocarburos simple o cadenas alifáticas ubicadas en la región ($\delta= 0.5-2$), enseguida se tienen señales con protones bencílicos en la región ($\delta= 2-3$), seguido por una serie de picos que corresponden a protones alquenos en la región ($\delta= 5-6$), y en el campo alto protones aromáticos en la región ($\delta= 7-8$).

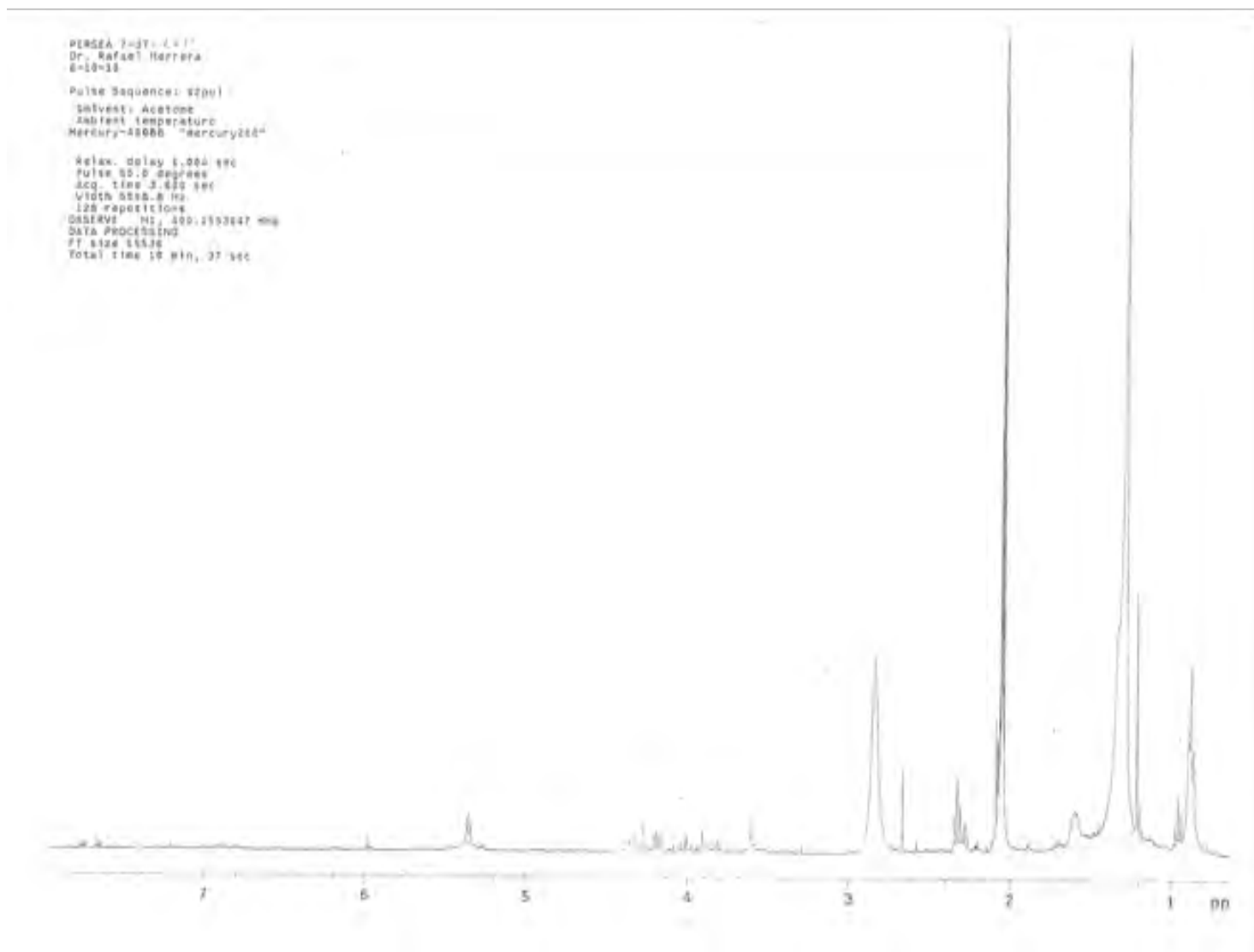


Fig. 23. Espectro de RMN¹H de la fracción del extracto acetónico del tocón *P. americana*.

Haciendo una comparación con el espectro obtenido a partir del aceite de la *Jatropha*, se puede observar que los espectros obtenidos a partir del tocón y del fuste de *P. americana* tienen una señal significativa, que es la de un triglicérido ubicado en la región ($\delta = 4-4.5$) del espectro para la *Jatropha* y de *P. americana* (fig. 24). Además de que los espectros son similares, esto se debe a que constan de una parte alifática de cadenas largas, poseen carbonos unidos a hidrógenos, contienen un triglicérido y tienen dobles enlaces vinílicos.

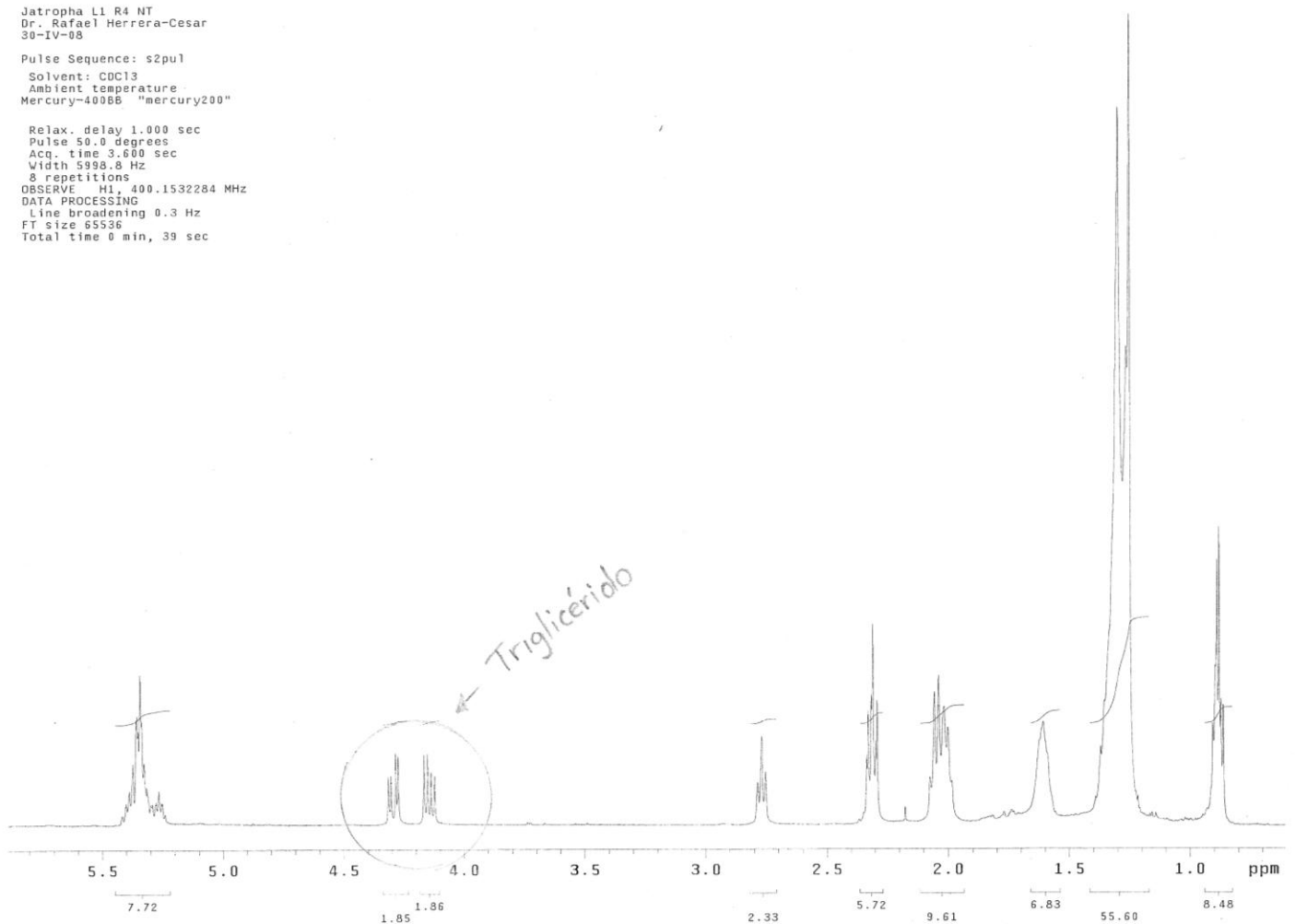


Fig. 24. Espectro del aceite de la *Jatropha*.

III.7.2 Espectrometría de Masas Moleculares

Después de analizar las fracciones obtenidas de los distintos extractos en Cromatografía de Gases acoplado a masas, generaron los siguientes resultados y espectros.

En la figura 25 se observa el cromatograma en el cual se tiene una serie de picos en donde sobresale el de mayor concentración con 18.324 minutos de tiempo de retención, además de otras señales. En el espectro de masas se tiene un pico base de 55 que es el de mayor abundancia y un ion molecular con un peso de 296 aproximadamente.

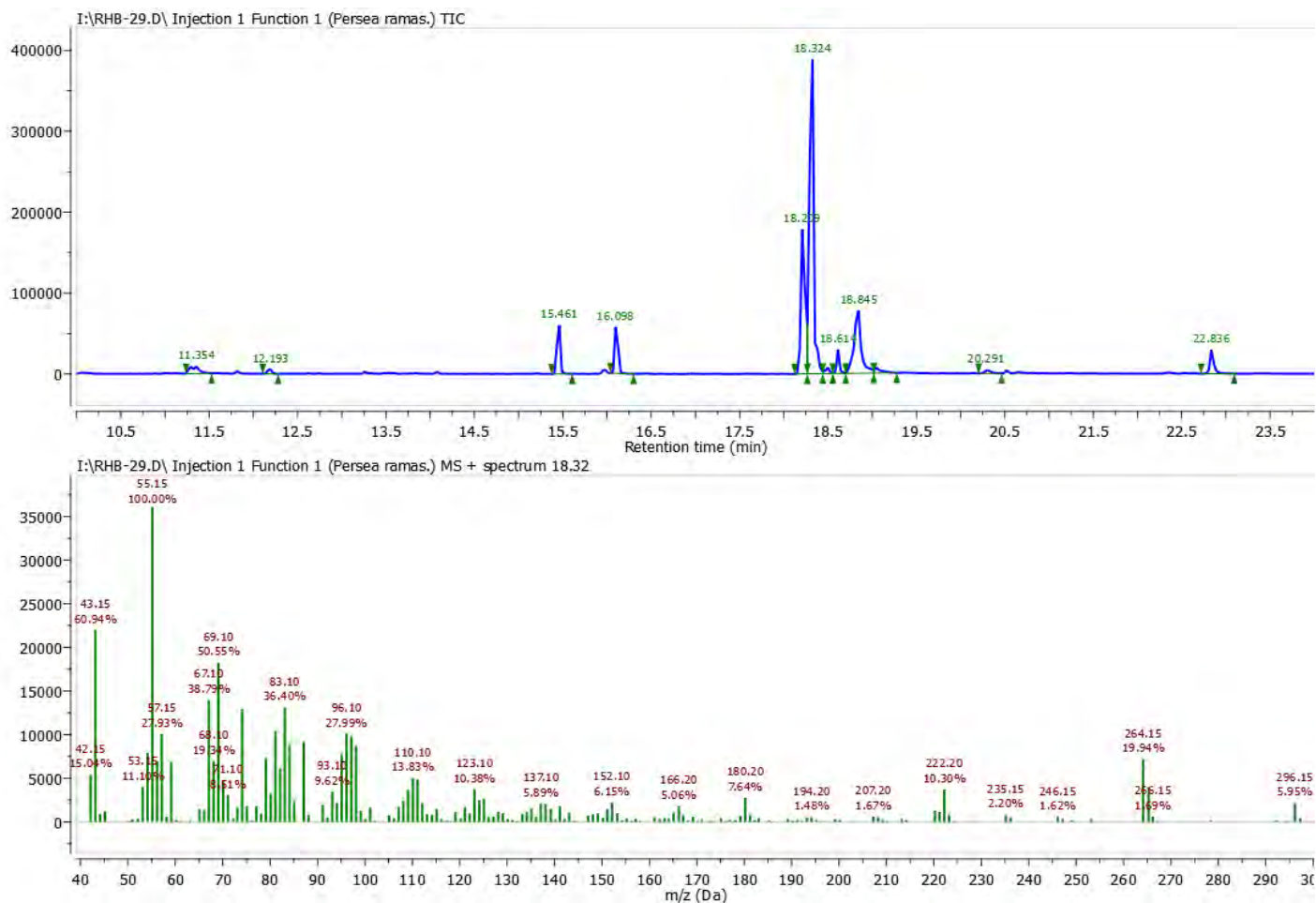


Fig. 25. Cromatograma G/C (superior), espectro de Masas (inferior), del extracto metanólico de las ramas de *P. americana*.

En la figura 26 se observa el cromatograma en el cual se observa que tiene un pico con un tiempo de retención de 22.08 minutos que es el de mayor concentración, además de otras señales. En el espectro de masas se tiene un pico de mayor de abundancia que contiene un ion molecular con peso de 291, mientras que el fragmento designado y tomado como el 100% del espectro de masas, es de 41.

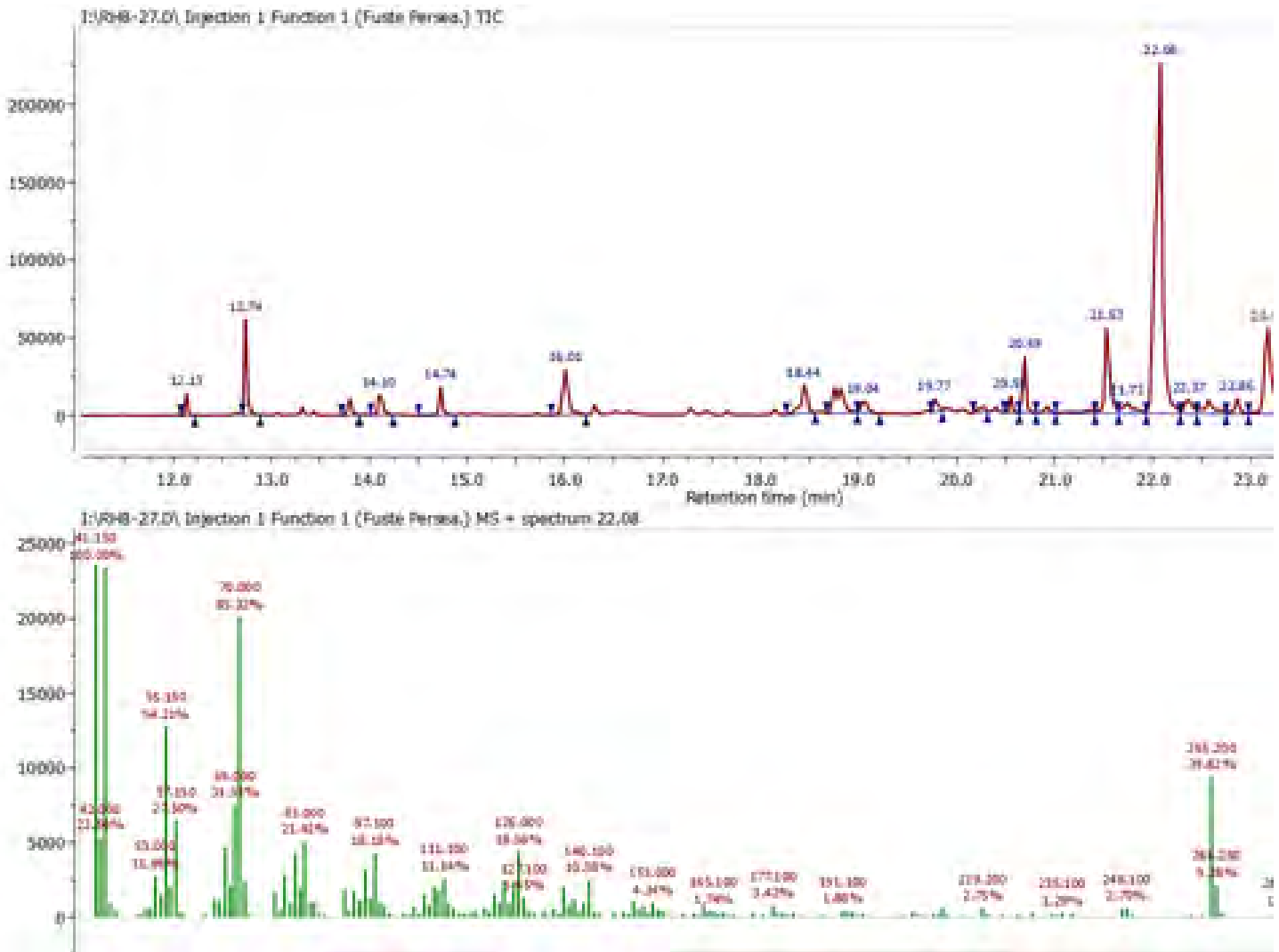


Fig. 26. Espectro G/C (superior), espectro de Masas (inferior), del extracto ciclohexánico del fuste de *P. americana*.

En la figura 27 se observa el cromatograma en el cual se observa un pico con un tiempo de retención de 16.128 que es el de mayor concentración. En el espectro de masas se tiene el pico de mayor de abundancia que contiene un ion molecular con peso de 102, mientras que el fragmento designado y tomado como el 100% del espectro de masas, es de 43.

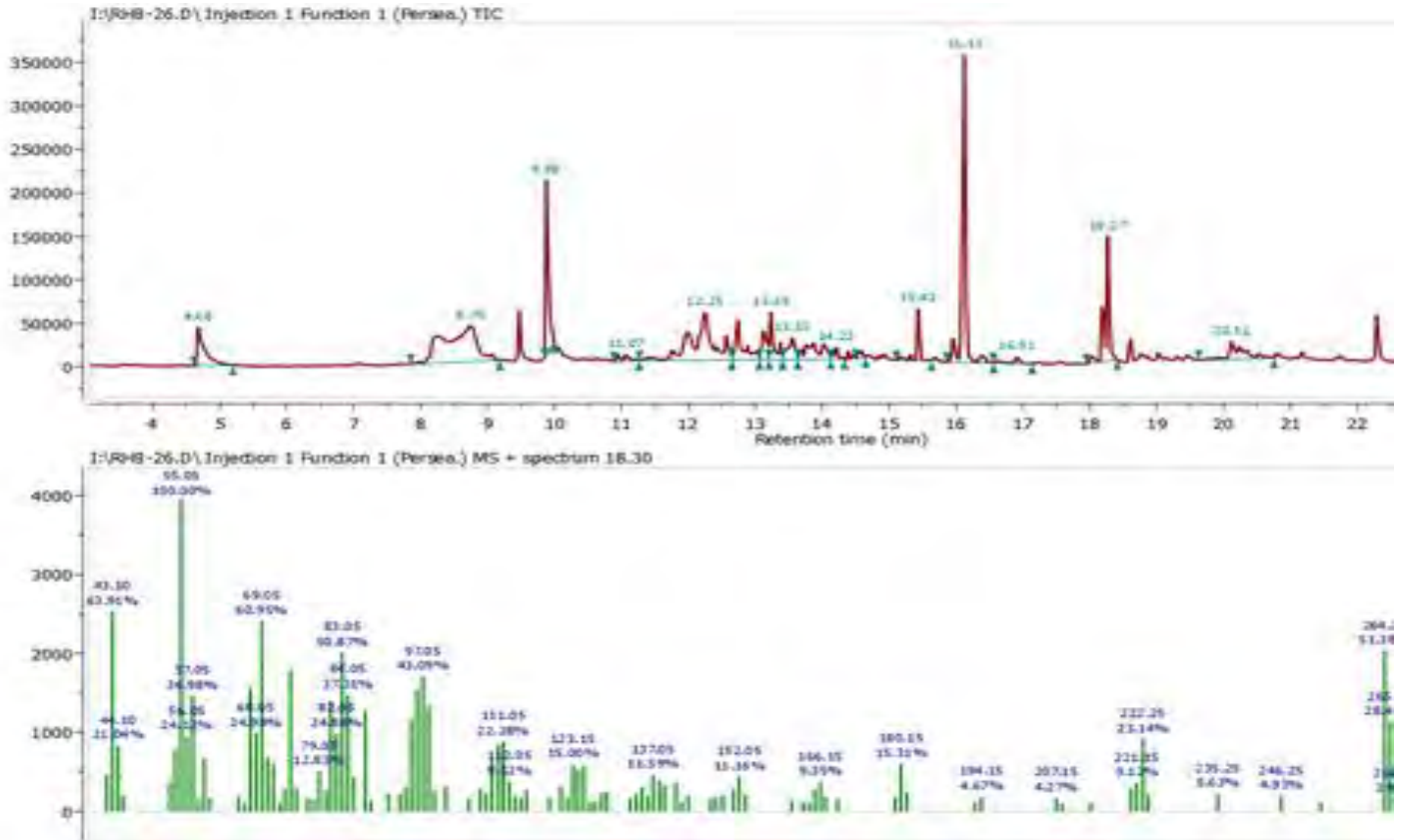


Fig. 27. Espectro G/C (superior), espectro de Masas (inferior), del extracto acetónico del tocón de *P. americana*.

De acuerdo a lo expuesto con anterioridad para los espectros de Resonancia Magnética Nuclear y Cromatografía de gases acoplado a masas, nos proyectaron que los probables compuestos a los cuales se hace referencia, son ácidos grasos.

Confirmándolo la base de datos NIST02.L del equipo de (CG/MS), dando como referencia para el extracto de las ramas de *P. americana*, un tiempo de retención de 18.32 minutos, un peso molecular de 296 aproximadamente, fórmula ($C_{19}H_{36}O_2$) y con más de un 90% certeza y, resultando como posible compuesto el ácido 9 – octadecenoico, metil ester (ácido oleico).

Así también la base de datos dio como referencias para el extracto del fuste de *P. americana* (fig. 22 y 26), un tiempo de retención de 22.08 minutos, peso molecular de 256, fórmula ($C_{16}H_{32}O_2$), con más de un 98% de certeza, resaltando como posible compuesto el ácido hexadecanoico (ácido palmítico).

Al igual que para los extractos anteriores la base de datos proporcionó los siguientes datos para el extracto del tocón de *P. americana*, tiempo de retención de 18.268 minutos, un peso molecular de 296 aproximadamente, fórmula ($C_{19}H_{36}O_2$) y con más de un 99% certeza y, resultando como posible compuesto el ácido oleico.

Capítulo IV. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

IV.1 Variabilidad del pH

De acuerdo a los datos mostrados en el cuadro 1 y 2 del capítulo de resultados se reporta un pH similar en la madera de las distintas fracciones que se analizaron, estos resultados se pueden clasificar como moderadamente ácidos (5.43 – 6.28), aunque se debe tener en cuenta que existe variabilidad en la madera de las distintas partes del árbol de *Persea americana*.

En la bibliografía Aguilar 2006, reporta un pH de 4.58 para la madera del fuste del aguacate, la cual es cercana a la obtenida en este estudio, teniéndose en cuenta que este resultado es más ácido que el obtenido en la presente investigación. En la investigación documental no se encontraron datos para el pH del tocón y las ramas de *P. americana*.

Es conocido que el grado de acidez de la madera está influenciado por la cantidad y tipo de extraíbles, específicamente por la presencia de grupos ácidos y ácidos libres (Fengel y Wegener 1984).

IV.2 Cantidad de cenizas en la madera

Analizando los resultados en el cuadro 3 sobre el contenido de cenizas, se puede observar que el porcentaje más bajo de cenizas se produjo en el tocón, seguido del porcentaje de las ramas y el fuste como se puede ver en el cuadro 3 del capítulo de resultados. Se tiene entonces que sí existe variación en el contenido de cenizas de las distintas partes del árbol que se analizaron.

Para las cenizas de madera del fuste de *P. americana* (Anzaldo *et al.* 2004) reporta valores de 0.6 %, (Aguilar 2006) quien reporta un porcentaje de 0.43 %, pudiéndose observar que estos valores están muy por debajo de los obtenidos en

el presente estudio. (Rowell 1984) reporta para *Persea borbonia* un contenido de cenizas de 0.2 % siendo este dato el más cercano al obtenido en este trabajo que es de 2.29 %. No se encontraron datos en la literatura que reporten valores para el porcentaje de cenizas en el tocón y las ramas de *P. americana*.

Cabe señalar que la cantidad de sustancias inorgánicas y de su composición en la madera dependen de factores como el lugar de crecimiento del individuo, de la época del corte, las condiciones del suelo y la edad del árbol. La albura es normalmente más rica en cenizas que el duramen, pero la cantidad es más elevada para cortezas y ramas (Kollmann 1959), por lo que la comparación entre las especies debe hacerse con ciertas reservas.

IV.2.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas

Las trazas de los elementos encontrados en las cenizas de la especie, se reportan en el cuadro 4, además de muestran imágenes de los elementos que forman los cristales, un mapeo llevado a cabo para identificar la presencia de los elementos y un espectro donde se ubican los valores y concentraciones (Fig. 18, 19, 20).

Las trazas de elementos encontrados en las cenizas del tocón de esta especie y que más abundan son: fósforo, potasio, calcio, aluminio, magnesio, silicio y azufre, ordenados de mayor a menor porcentaje, cabe señalar que en el espectro se aprecia como elemento con mayor porcentaje el cobre (Cu), esto se debe a que en la preparación de la muestra para el análisis se emplea el cobre.

Los principales componentes de las cenizas de la madera según Fengel y Wegener (1984) y Rowell (1984) son: calcio (50 %), potasio y magnesio, además de muchos otros elementos que están presentes en concentraciones menores a 50 ppm. Las sustancias inorgánicas constituyen solamente una parte pequeñísima de la masa anhidra de la madera, alrededor del 0.3 %, la función de estas

sustancia es poco conocida, estas juegan ciertamente una función importante en la vida del árbol.

En la investigación bibliográfica no se encontraron datos reportados sobre el análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas del tocón, fuste y ramas de la madera de *P. americana*.

Cabe señalar que la presencia o carencia de algunos elementos tiene una gran importancia en la fisiología del árbol, aunque el árbol no los asimila tal como elementos, sino que en forma de sales, nitratos o sulfatos, pudiéndose observar que el Potasio (K) fue el elemento que más presencia tuvo en las cenizas, este elemento es muy importante en la vida del árbol, lo es para la floración, fructificación, conforma tallos y raíces fuertes y ayuda a movilizar los nutrientes alrededor de los árboles, además de que aumenta la resistencia a las enfermedades, a la sequía y al frío. La carencia de este elemento se manifiesta en el color amarillento de sus hojas, haciéndolas más viejas y secando los brotes jóvenes (infojardin).

La deficiencia de Calcio (Ca) es menos frecuente que otras, suele ser difícil distinguir los síntomas de deficiencia real de los que provocan otras carencias, frecuentes en suelo ácido, como la deficiencia de Magnesio, de Potasio, de Fósforo, de Molibdeno, y efectos tóxicos por exceso de Manganeso y Aluminio.

Aunque los síntomas varían entre especies, generalmente se observará necrosis de los ápices y de las puntas de hojas jóvenes además de algún tipo de deformación de las hojas, generalmente en gancho hacia abajo cuyos bordes se encorvan hacia la cara inferior o adoptan una apariencia dentada y, a menudo, clorosis en el nuevo crecimiento (infojardin).

La deficiencia de Fósforo (P) suele comenzar en las hojas inferiores, al igual que el Nitrógeno, que son más viejas, hojas con un verde oscuro apagado que adquieren luego un color rojizo o púrpura característicos y llegan a secarse. Además, el número de brotes disminuye, formando tallos finos y cortos con hojas

pequeñas. Menor desarrollo radicular, menor floración y menor cuajado de los frutos no parece causar daños el exceso de este elemento.

Las causas que provocan la deficiencia del fósforo suelen ser, los suelos calizos (pH alto) el fósforo se insolubiliza en parte, no estando a disposición de las plantas. La cal provoca su bloqueo, en los suelos ácidos, los fosfatos también resultan insolubilizados en forma de fosfatos de hierro (infojardin).

Así también la conformación de algunos elementos de manera cristalina, como lo son los cristales de oxalatos de calcio, pueden tener algún efecto en la madera y sus usos, los cristales presentes o depositados en las células de la madera pueden desgastar las máquinas de corte, tiene influencia en la propagación de las ondas del sonido que viajan a través de la madera, proporcionan una mayor densidad y una durabilidad natural.

Además de que los elementos encontrados suelen ser una radiografía de la composición del suelo donde se desarrolló el árbol y por ende de la conformación de la madera, así también los elementos nos pueden dar una síntesis de los nutrientes que requirió.

IV.3 Efectos de la Solubilidad a la sosa en la madera

Los valores en relación al porcentaje de la solubilidad a la sosa, están reportados en cuadro 5 del capítulo de resultados, el porcentaje de mayor solubilidad se registró en el tocón con 26.62%, seguido de las ramas con 24.35% y por último en el fuste con un 17.81%, se hace notable entonces que existe variabilidad en la madera de las distintas partes de un mismo individuo.

La solubilidad en mayor porcentaje afecta a la madera directamente en el grado de descomposición por hongos, la degradación por el calor, la luz o la oxidación, además una alta solubilidad en sosa nos da un parámetro favorable para la realización de métodos de pulpeo de esta madera.

En la literatura (Aguilar 2006) reporta un porcentaje de solubilidad de 25.95% para la madera del fuste de *P. americana*, que es similar a la derivada en el presente estudio. No se encontraron datos para la solubilidad de la madera del tocón y las ramas de esta especie.

IV.4 Rendimiento de los Extraíbles obtenidos

Para un análisis más detallado sobre las extracciones sucesivas con los distintos disolventes, los valores se muestran en el cuadro 6 y en la figura 21, del capítulo de resultados, en donde se aprecia que en el tocón de aguacate el mayor porcentaje de extraíbles se derivó de la extracción con acetona con 6.95%, del fuste resultado de la extracción con metanol con 3.69% y por último de las ramas se obtuvo un 2.66% ciclohexano. Estos valores son los porcentajes más altos obtenidos con los distintos disolventes en las diferentes partes del árbol de *P. americana*.

Se puede verificar entonces que la parte del árbol donde existe un mayor contenido de extraíbles es en el tocón, lo que aprueba la hipótesis propuesta.

El método de extracción sucesiva con disolventes de polaridad ascendente llevado a cabo en el presente estudio, tiene como finalidad una disgregación o separación de las sustancias solubles de la madera (Fengel, Wegener 1984), para un posterior estudio o análisis más específico (escrutinio de extractos) de las sustancias extraíbles que componen la madera.

En los rendimientos respectivos de esos extraíbles se refleja el carácter pertinente de los disolventes utilizados, pero debe señalarse claramente que una separación exacta y fina es difícil de lograr (Tellez 2004; Aguilar 2006).

Datos obtenidos de la bibliografía, (Anzaldo *et al.* 2004) dan a conocer los contenidos de extraíbles en agua caliente y etanol-benceno de 3.6% y 11.2%, respectivamente para *P. americana*, así también Aguilar (2006) reporta en su

estudio sobre madera de aguacate, contenidos de extraíbles para ciclohexano de 1.5%, acetona 3.2%, metanol 3.4 y agua caliente 1.4. Se puede observar que estos porcentajes están muy por debajo de los obtenidos en el presente estudio para la madera del fuste de *P. americana*.

Debe considerarse que no es fácil llevar a cabo una comparación con los resultados citados en la literatura, pues la toma de muestras no siempre está estandarizada y las extracciones se desarrollan normalmente con diferentes disolventes y técnicas o métodos. Además de que existen variaciones en el contenido de extraíbles presentes en la madera, esto debido a la altura y parte del árbol a analizar, medula, duramen y albura, influyendo también los factores ambientales, genéticos, edad del árbol, clima, cantidad de agua, nutrientes disponibles y época de la corta.

IV.5 Importancia del Porcentaje de Holocelulosa

De los componentes estructurales de la madera, la cantidad de holocelulosa es sin duda algo muy importante, esto por la utilidad que tiene esta en la industria, se tiene entonces que el porcentaje presente en la especie fue para el tocón de 85.76%, fuste 81.12% y para las ramas de 78.35%, se puede analizar entonces que el contenido de mayor porcentaje de holocelulosa se obtuvo en el tocón. Esto se puede verificar en el cuadro 7 del capítulo de resultados.

La investigación llevada a cabo en la bibliografía nos arroja resultados únicamente para la madera del fuste de la especie; Anzaldo (2004) reporta en su trabajo un contenido de 73.4%, Aguilar (2006) reporta 92.87% de holocelulosa para *P. americana*. Se observa que aun en la madera obtenida de una misma parte del árbol existe variabilidad en el contenido de holocelulosa, en este caso refiriéndose a la madera del fuste.

IV.6 Variabilidad del contenido de Lignina

En el capítulo de resultados se pueden observar los valores del contenido de lignina en el cuadro 7, en donde se puede apreciar una variabilidad del contenido de lignina en las diferentes secciones del árbol analizadas, encontrándose que en el tocón existe un contenido de 11.3 %, fuste 15.35% y para las ramas un 20.96%.

Anzaldo *et al.* (2004) al analizar químicamente la madera del fuste de esta especie, obtuvieron un contenido de lignina de 19.62%, mientras que Aguilar (2006) reporta un contenido de 19.39%, se puede apreciar que estos contenidos están muy por encima del obtenido en esta investigación de 15.35%. No se encontraron valores para el porcentaje de lignina contenida en el tocón y las ramas del árbol de *P. americana*.

Aunque el porcentaje de lignina obtenida en el presente estudio para el caso en particular del tocón, se encuentre por debajo de los otros porcentajes obtenidos, esto se puede deber a la exposición en el medio ambiente, condiciones de humedad, tiempo y exposición a los rayos ultravioleta.

El contenido de lignina que está presente en la madera, nos proporciona un dato importante para el empleo de este material en la industria de pulpa celulósica, así un porcentaje de lignina bajo favorece el pulpeo y baja la cantidad de reactivos a usarse, además de que la lignina obtenida es empleada en la generación de nuevos productos en la industria química de la madera.

IV.7 Escrutinio e Identificación de posibles extractos de la madera

De acuerdo a los espectros expuestos en el capítulo de resultados para Resonancia Magnética Nuclear (RMN¹H), de manera general se pudo identificar posibles compuestos como lo son los ácidos grasos, haciendo una comparación con el espectro de la *Jatropha* (fig. 24) el cual contiene triglicéridos y cadenas alifáticas largas muy similares a la de *P. americana*.

Por medio de los espectros de (CG/MS) se dispuso de datos que se compararon con la base de datos, la cual dio como posibles compuestos para el caso de las ramas de *P. americana*, el ácido oleico, para el fuste, el ácido palmítico y para el tocón el ácido oleico.

Algunos de los probables compuestos presentes en el árbol *P. americana* como: el ácido palmítico y oleico son reportados en el perfil cromatográfico del aceite del fruto de aguacate (V World Avocado Congress), además (Sánchez 2007) reporta en su estudio la presencia del ácido 9-octadecenoico (ácido oleico) en las ramas de *P. americana* y la raíz de *P. americana* mill. var. *Drymifolia*.

Cabe mencionar que varios de los aparentes compuestos que se revelaron en los espectros de masas no se registraron en este estudio puesto que tenían un bajo porcentaje de certeza de lo que reportó la base de datos NIST02.L

De esta manera muchos de los compuestos contenidos de manera general en la madera del árbol de *P. americana* (aguacate) posiblemente no son conocidos o tendrían que buscarse bases de datos actuales.

IV.8 Posibilidades de aprovechamiento en la industria de la pulpa y el papel

Los estudios básicos sobre la composición química de la madera, pueden dar una pauta para sugerir sus posibles usos, uno de ellos y de gran importancia es la obtención de pulpa celulósica química, en este sentido, con los resultados aquí obtenidos, se puede relacionar la composición química básica con la calidad de la pulpa o longitud de la fibra de la madera de esta especie, que se reportan en la literatura de estudios previos, para confirmar que esta es una especie viable para la producción de pulpa celulósica.

Índices de calidad de la pulpa	Tamarit, 1996	Fuentes, 1998	Clasificación/ pulpa
Coefficiente o índice de rigidez (2w/D)	C.R.= 0.4029	C.R.= 0.170	Buena/Excelente
Coefficiente de flexibilidad (l/D)	C.F.= 0.5979	C.F.= 0.820	
Coefficiente o índice de esbeltez (L/D)	I.E.= 27.1899	I.E.= 62.54	
Relación Runkel (2w/l)	R.R.= 0.6738	R.R.= 0.20	

Cuadro 8. Índices de calidad de pulpa para *Persea americana*. (Tamarit 1996, Fuentes 1998).

Composición química básica de <i>Persea americana</i>					
Parte del árbol	pH	Solubilidad NaOH	% total de Extr.	% Lignina	% Holocelulosa
Ramas	6.28	24.35	12.09	20.96	78.35
Fuste	5.81	17.81	11.07	15.35	81.12
Tocón	5.42	26.62	19.17	7.55	85.76

Cuadro 9. Resumen de los valores derivados del presente estudio.

De acuerdo al contenido de los cuadros 8 y 9, se puede establecer que la madera de esta especie cuenta con las características necesarias para la producción de pulpa celulósica. En primer lugar por la clasificación que Tamarit (1996) y Fuentes (1998) llevaron a cabo para la madera de *P. americana*

clasificándola como de buena a excelente, además de tener un contenido bajo en lignina y un alto contenido de holocelulosa en general para en el árbol.

Además de contener un pH ácido, así como también ser muy soluble en hidróxido de sodio, se deja vislumbrar que en general la madera del aguacate es muy propicia para la producción de pulpa para papel aunque un inconveniente es la cantidad de extractos que contiene.

Así pues un obstáculo que se ha encontrado para la producción de pulpa para papel a partir de esta especie en los laboratorios y las industrias, son los extraíbles, que en este caso es muy alto comparado con las coníferas, que es la familia que más se utiliza en la industria del papel. Este problema se podría solucionar si previo al pulpeo se llevara a cabo un lixiviado con disolventes como ciclohexano, acetona, metanol u otros, o mezclas de ellos, para eliminar los extractos de la madera a utilizarse.

De esta manera es importante y necesario saber el tipo de papel que se va a producir y con base en ello seleccionar la madera que tenga fibras con las dimensiones requeridas para producirlo. Al producir un papel con características específicas, sería posible elaborar mezclas de maderas latifoliadas con las maderas de coníferas con índices de calidad de pulpa conocidos que reúnan las características requeridas (Tamarit, 1996).

Por lo que debido a las grandes cantidades de biomasa de *P. americana* que se generarán en un futuro cercano, a la disminución de la disponibilidad de materia prima de las maderas de coníferas y al bajo costo de algunas maderas latifoliadas es viable proponer a la madera de *P. americana* como materia prima alternativa para la producción de pulpa celulósica.

La utilización de la pulpa celulósica de esta especie, sería factible para la manufactura de papeles voluminosos pero en mezclas con fibras largas, así también para la elaboración de papel corrugado.

V. CONCLUSIONES

Al determinar la composición química de la madera de *P. americana* (aguacate) y del escrutinio de los extraíbles, se tienen las siguientes conclusiones:

- I. De acuerdo a los valores obtenidos para el pH la madera de esta especie en general se clasifica como moderadamente ácidos aun y cuando existe variabilidad en las diferentes partes del árbol de la especie.
- II. El tocón es la parte del árbol que contiene el porcentaje más bajo de cenizas con un 0.32%, seguido del fuste con 2.29 y por último las ramas 2.73%.
- III. Los elementos de mayor concentración encontrados en el análisis cualitativo de las sustancias inorgánicas, fueron los siguientes ordenados de mayor a menor porcentaje: Potasio (0.175%), Calcio (0.117%), Fosforo (0.056%) y Magnesio (0.0014%).
- IV. El mayor porcentaje de solubilidad se derivó de análisis llevado a cabo en el tocón con 26.62%, teniendo en cuenta que a mayor porcentaje de solubilidad mayor es el grado de descomposición por hongos, degradación por el calor, la luz y la oxidación.
- V. En cuanto a la obtención de extraíbles por medio de extracciones sucesivas, se tiene que en el tocón fue donde se concentró el mayor porcentaje con un 6.95 % de extracto crudo acetónico, y sumando los extraíbles crudos en los diferentes disolventes se tienen que el total de 19.17 %, seguido del obtenido de las ramas con 3.69 % de extracto crudo metanólico, y una suma total de 12.09 %, la concentración más baja se dio en el fuste con un 2.66 % de extracto crudo ciclohexánico y un total de 11.07 % de extracto crudo para las ramas en los diferentes disolventes utilizados.

- VI. El contenido de holocelulosa mas alto se obtuvo del tocón, con un 85.76%, seguido del fuste con 81.12% y al final el de las ramas con un valor de 78.35%. En general se tiene un alto contenido de holocelulosa para la especie de *P. americana*.
- VII. El contenido de lignina en esta especie es normalmente bajo, aunque con variaciones en sus diferentes partes como en el tocón, que presenta el más bajo contenido de lignina con 11.3%, seguido del fuste con 15.35% y por último las ramas con un 20.96 % de contenido de lignina.
- VIII. De acuerdo a lo generado por los espectros tanto de Resonancia Magnética Nuclear (RMN) como de Masas, se tiene que los compuestos presentes son muy similares en la madera las ramas, fuste y tocón. Además de que la mayor composición de los extractos de *P. americana* corresponden a los ácidos grasos, que de acuerdo a la literatura muchos de ellos se encuentran en el fruto del aguacate así como en la raíz del árbol. En el extracto de las ramas del aguacate se identificó al ácido oleico, en el fuste al ácido palmítico y en el tocón también se identificó al ácido oleico, esto de acuerdo a la base de datos NIST02.L. se tienen que los ácidos grasos son los mismos que se encuentran tanto en el fruto como en ramas, fuste y raíz de *P. americana*, esto de acuerdo a lo que reportan estudios llevados a cabo en el fruto.
- IX. De acuerdo a los resultados obtenidos en el presente estudio sobre la composición química básica de la madera de esta especie, así como a los datos sobre la clasificación de la calidad de la pulpa que se recopilaron en la bibliografía, se tiene que la especie de *P. americana* es óptima para la producción de pulpa para papel.

VI. PERSPECTIVAS

- I. Se propone llevar a cabo un estudio de calorimetría en la madera de esta especie, esto por la gran cantidad de biomasa que se genera al sustituir los arboles que ya no son productivos por las nuevas plantas de aguacate.
- II. Se sugiere desarrollar un análisis para determinar el contenido de azúcares.
- III. Se propone realizar el análisis de Espectroscopia de Infrarrojo, con el fin de obtener más información sobre los compuestos presentes en la madera del aguacate, como el de los grupos funcionales, para ayudar a integración de las sustancias presentes.
- IV. Se plantea desarrollar los métodos de pulpeo para cada parte del árbol a fin de conocer cual da mejor calidad de pulpa.
- V. Se recomienda llevar a cabo métodos experimentales para la separación de los extraíbles, para la producción de pulpa para papel, ya que los resultados emanados de esta investigación sugieren que con un previo lixiviado o un tratamiento con disolventes se pueden eliminar estos extractos que afectan la elaboración de pulpa celulósica.
- VI. Se propone la técnica de polaridad ascendente (Ciclohexano, Acetona, Metanol y Agua) como método para tratar previamente la madera a utilizarse en la elaboración de pulpa para papel, valorando el costo económico que implica la utilización de estos disolventes.

VII. REFERENCIAS

Aguilar Romero R, (2006) caracterización química básica de cinco especies del estado de Michoacán México. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

Anzaldo-Hernández J, Vargas-Radillo JJ, Fuentes-Talavera J, Silva-Guzmán JA, Rutiaga-Quiñones JG, Sanjuán-Dueñas R (2004) La madera de aguacate (*Persea americana* Mill) como materia prima para la fabricación de papel corrugado. Ciencia Nicolaita. 39: 207-216.

ASTM (American Society for Testing and Materials) (2000) Annual Book of ASTM Standards. Vol 04.10 Wood. Philadelphia.

Bernabé Santiago R (2008) Análisis químico de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis profesional de Licenciatura. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

Domínguez X A (1980) Química Orgánica Experimental. LIMUSA, México.

Fengel D, Wegener G, (1984) Wood Chemistry, ultrastructure, reactions. Walter Gruyter Ed. Berlín. New York.

Fuentes Talavera FJ, Silva Guzmán JA, Lomelí Ramírez MG (1998) Índices de hinchamiento y contracción de tres especies de maderas. II Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. Memorias, pp 2.

Guridi Gómez L I, García Moreno T. (2000) Estudio Anatómico de la Madera de Aguacate Criollo (*Persea americana* Mill.). Ciencia y Tecnología de la Madera. Revista de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

Kollmann F (1959) Tecnología de la Madera y sus aplicaciones. Instituto Forestal de Investigación Experiencias y el Servicio de la Madera. Ministerio de Agricultura. Madrid, España. 675 p.

Larios SP (1979) Índices de calidad de pulpa de dos coníferas. Tesis profesional. Departamento de Bosques. Universidad Autónoma Chapingo. México.

Martínez-Pinillos C, Martínez C JC (1996) Características de cepillado y lijado de 33 especies de madera. *Madera y Bosques* 2: 11-27.

Niembro Rocas A (1990) Árboles y arbustos útiles de México. LIMUSA. México.

Ortega Tovar A M (2003) Valor nutrimental de la pulpa fresca del aguacate hass. V World Avocado Congress. 2003. pp. 741-748

Pennington TD, Sarukhán (1968) Manual para la identificación de los principales arboles tropicales de México. Instituto de Investigaciones Forestales. Secretaría de Agricultura y Ganadería / Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación.

Petroff G, Normand D (1968) The correlation between the physical and mechanical properties of paper, and dimensional characteristics of fiber, from tropical hardwoods pulp and paper development in Africa and the Near East. FAO I: 269-287.

Porres C, Valladares J (1979) Producción de pulpa y papel con materias primas autóctonas centroamericanas. Instituto Centroamericano de Investigaciones y Tecnología Industrial. Guatemala. 72p.

Rogel G MA (1982) Estudio anatómico de la madera de 6 especies tropicales. Bol. Tec. Inst. Nal. Invest. For. 89: 37-41.

Rowell R M (1984) The chemistry of solid wood. American Chemical Society. Washington, D. C. U.S.A. 614 pag.

Runkel ROH, Wilke KD (1951) Zur Kenntnis des thermoplastischen Verhaltens von Holz. Holz Roh Werkstoff. 9: 260-270

Sánchez Pérez J (2007) Identificación de marcadores asociados a la resistencia del aguacate raza mexicana (*persea americana* mill. var. *drymifolia*). Tesis de Doctorado. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

Sandermann W, Rothkamm M (1959) Über die Bedeutung der pH-Werte von Handelsholzern und deren Bedeutung für die Praxis. Holz Roh Werkstoff. 17: 433-440.

Silva Guzmán JA, Fuentes Talavera FJ, Richter HG, Ángeles Álvarez G, Sanjuán Dueñas R (1999) Estructura de la madera de *Persea americana* var. *guatemalensis* Mill (Hass). *Madera y Bosques* 5(1): 53-59.

Skoog DA, Holler FJ, Nieman TA (2001) Principios de análisis instrumental. McGRAW HILL Interamericana de España. Aravaca, Madrid, España.

Tamarit U JC (1996) Determinación de los índices de calidad de pulpa para papel de 132 maderas latifoliadas. *Madera y Bosques* 2: 29-41.

TAPPI 2000 (2000) TAPPI Test Methods (2000-2001). TAPPI Press. Atlanta

Téllez Sánchez C (2004) Descripción anatómica, caracterización físico - mecánica y análisis químico de la Madera de *Andira inermis* (W. Wright). Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

Vargas-Radillo JJ, Anzaldo-Hernández J, Rivera-Prado JJ, Becerra-Aguilar B, Rutiaga-Quiñones JG, Sanjuán-Dueñas R (2002) Properties of bleaching pulp sheets of avocado wood (*Persea americana* Mill) pulped by Kraft and soda processes. The 4th International Symposium – Selected Processes at the Wood Processing. Zvolen, Slovak Republic. Abstract pp. ISBN 80-228-1166-1.

Vargas-Radillo JJ, Anzaldo-Hernández J, Sanjuán-Dueñas R, Ramírez-Casillas R, Rutiaga-Quiñones JG (2003) Aprovechamiento de la madera de las plantaciones comerciales de aguacate (*Persea americana* Mill) en pulpa y papel. XXIV Encuentro Nacional de la AMIDIQ. Ixtapa, México. Memorias pp 916-920.

Wessmann G, Villalvazo J, Meier D (1980) Química y Tecnología de las Sustancias Extraíbles de la Madera. Instituto de Madera, Celulosa y Papel. Universidad de Guadalajara. Guadalajara, México.

Wise (1946) Determinación de Holocelulosa.- Método usual Wise. In: (1992) Instituto de Madera, Celulosa y Papel “Ing. Karl Augustin Grellmann”. Universidad de Guadalajara. Traducción por el Departamento de Tecnología Química de la Celulosa. 20-22.

aproam.com [Fecha de consulta: 20 de Mayo de 2010]

inifap.gob.mx [Fecha de consulta: 10 Agosto 2010]

siap.gob.mx [Fecha de consulta: 10 de Agosto de 2010]

sagarpa.gob.mx [Fecha de consulta: 11 de Agosto de 2010]

cofom.michoacan.gob.mx [Fecha de consulta 20 de agosto 2010]

semarnat.gob.mx [Fecha de consulta 20 de Agosto de 2010]

avocadosource.com [Fecha de consulta 20 de Enero de 2011]

infojardin.com [Fecha de consulta 20 de Enero de 2011]

apeamac.com [Fecha de consulta 20 de Enero de 2011]

uned.es/cristamin [Fecha de consulta 10 de Marzo de 2011]

upcommons.upc.edu [Fecha de consulta 10 de Marzo de 2011]