



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN
NICOLÁS DE HIDALGO**



**FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE
LA MADERA**

**“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE CINCO
ESPECIES DE PINO DEL MUNICIPIO DE MORELIA,
MICHOACÁN, MÉXICO”**

TESIS

**QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:
INGENIERO EN TECNOLOGÍA
DE LA MADERA**

**PRESENTA:
RENÉ BERNABÉ SANTIAGO**

DIRECTOR DE TESIS

DR. JOSÉ GUADALUPE RUTIAGA QUIÑONES

CODIRECTORA DE TESIS

M.C. LUZ ELENA ALFONSINA ÁVILA CALDERÓN

MORELIA, MICHOACÁN, NOVIEMBRE DE 2008

ÍNDICE

	Página
1. INTRODUCCIÓN	1
2. ANTECEDENTES	2
3. GENERALIDADES DE LAS ESPECIES	8
3.1 Descripción botánica de la familia <i>Pinaceae</i>	8
3.2 Características generales del género <i>Pinus</i>	8
3.3 Características de la madera del género <i>Pinus</i>	9
3.4 Características generales de las 5 especies de <i>Pinus</i>	10
4. OBJETIVOS	20
4.1 Objetivo general	20
4.2 Objetivos particulares	20
5. MATERIALES Y MÉTODOS	21
5.1 Habilitación del material	21
5.2 Análisis químico de las especies	22
5.2.1 Determinación de la variabilidad del pH en las especies	23
5.2.2 Determinación del contenido de cenizas	24
5.2.2.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas	25
5.2.3 Solubilidad a la sosa (NaOH) al 1%	25
5.2.4 Solubilidad en solventes orgánicos	26
5.2.5 Determinación de lignina	27
5.2.6 Determinación de holocelulosa	28
5.3 Determinación de taninos	29
5.3.1 Determinación del Extracto Total	30
5.3.2 No. de Stiasny	31
6. RESULTADOS	32
6.1 Variabilidad del pH	32
6.2 Contenido de cenizas	32
6.2.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas	33
6.3 Solubilidad a la Sosa	35
6.4 Extraíbles	36
6.5 Holocelulosa	38
6.6 Lignina	38

6.7	Taninos	39
6.7.1	Contenido de Taninos	39
6.7.2	Extracto total	40
6.7.3	No. de Stiasny	41
7.	ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS	43
7.1	Variabilidad del pH	43
7.2	Cenizas	44
7.2.1	Análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas	46
7.3	Solubilidad a la sosa	47
7.4	Extraíbles	48
7.5	Holocelulosa	50
7.6	Lignina	52
7.7	Taninos	54
7.7.1	Contenido de taninos	54
7.7.2	Extracto total	55
7.7.3	No. de Stiasny	55
7.8	Posibilidades de aprovechamiento en la industria	
7.9	de la pulpa y papel	56
8.	CONCLUSIONES	58
9.	RECOMENDACIONES	60
10.	REFERENCIAS	61
11.	ANEXOS	67

Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1. Diferencias entre pinos blandos y pinos duros	9
Cuadro 2. Métodos y Normas	22
Cuadro 3. Valores del pH de las especies	32
Cuadro 4. Valores del porcentaje de cenizas para las especies de <i>Pinus</i>	32
Cuadro 5. Trazas de los elementos en las cenizas de las especies	34
Cuadro 6. Porcentaje del material soluble en sosa al 1%	35
Cuadro 7. Porcentaje de extraíbles en los solventes y suma de extractos	37
Cuadro 8. Porcentajes de los componentes estructurales	38
Cuadro 9. Porcentajes y evaluación de taninos	39
Cuadro 10. Comparación de los valores de pH en distintas maderas	43
Cuadro 11. Comparación del contenido de sustancias inorgánicas	45
Cuadro 12. Correlación del porcentaje de solubilidad en sosa al 1 %.	47
Cuadro 13. Comparación de extracciones con diferentes solventes	49
Cuadro 14. Comparación de extracciones con diferentes solventes	49
Cuadro 15. Comparación y análisis del contenido de holocelulosa	51
Cuadro 16. Análisis y comparación del porcentaje de Lignina	52
Cuadro 17. Clasificación de las especies para pulpa y papel	57
Cuadro 18. Análisis químico para maderas del género <i>Pinus</i>	67
Cuadro 19. Composición química de las maderas del género <i>Pinus</i>	67
Cuadro 20. Análisis cualitativo de las cenizas en diferentes especies	69
Cuadro 21. Contenidos fenólicos en cortezas de pinos	69
Cuadro 22. Índices de calidad de pulpa y clasificación para <i>P. teocote</i> Schl. et Cham	70
Cuadro 23. Índices de calidad de pulpa y clasificación para <i>P. michoacana</i> var. <i>cornuta</i> Martínez	71
Cuadro 24. Índices de calidad de pulpa y clasificación para <i>P. leiophylla</i> Schl. et Cham	71
Cuadro 25. Índices de calidad de pulpa y clasificación para <i>P. montezumae</i> Lamb	72
Cuadro 26. Índices de calidad de pulpa y clasificación para <i>P. oocarpa</i> Schiede	72

Índice de figuras

	Página
Figura 1. Proceso para la habilitación del material	21
Figura 2. Proceso para la determinación del porcentaje de humedad	22
Figura 3. Diagrama general para el análisis químico de las especies	23
Figura 4. Medición del pH	24
Figura 5. Secuencia seguida para la obtención de cenizas	24
Figura 6. Análisis cualitativo de las cenizas de las especies	25
Figura 7. Secuencia para la obtención de solubilidad a la sosa	26
Figura 8. Secuencia para la extracción con Soxhlet	27
Figura 9. Secuencia seguida para la obtención de la lignina	28
Figura 10. Secuencia para la obtención de holocelulosa	29
Figura 11. Determinación de taninos	30
Figura 12. Determinación del extracto total	30
Figura 13. Determinación del No. De Stiasny	31
Figura 14. Gráfica del porcentaje del contenido de cenizas	33
Figura 15. Cristales de los elementos encontrados en <i>P. oocarpa</i> , vistos con el microscopio electrónico	34
Figura 16. Gráfica y mapeo de los elementos presentes en las cenizas analizadas	34
Figura 17. Gráfica del porcentaje de trazas de elementos en las cenizas	35
Figura 18. Gráfica del porcentaje de solubilidad a la sosa	36
Figura 19. Gráfica de los porcentajes de extraíbles de las especies	37
Figura 20. Gráfica de los porcentajes de los componentes estructurales	38
Figura 21. Gráfica de los porcentajes del contenido de taninos en las especies	40
Figura 22. Gráfica de los porcentajes del extracto total para las especies	41
Figura 23. Gráfica de los porcentajes para el No. de Stiasny de las especies	42

1 INTRODUCCIÓN

Las especies del género *Pinus* crecen en los bosques de Coníferas del Hemisferio Norte; estos ecosistemas tienen una importancia incomparable por su valor científico, educativo, histórico, por la existencia de flora y fauna, por su belleza escénica, y sobre todo por ser un recurso natural renovable. Esta importancia promueve la realización de estudios sobre las características particulares de sus maderas (Standley 1926; Eguiluz 1988; Madrigal, Guridi 1990).

Se estima que en México existe el mayor número de taxas y el más ampliamente distribuido, existen 167 817.47 km² a nivel nacional (INEGI 2005). De acuerdo a Madrigal y Guridi (1997) se conocen 20 especies del género *Pinus* en el estado de Michoacán, de las cuales 12 están representadas en el Municipio de Morelia, por esta distribución y valor comercial, estas especies son de importancia en el país y en el estado.

Se reportan en la literatura numerosos estudios de especies del género *Pinus* sobre aspectos anatómicos, físico-mecánicos y de algunas propiedades tecnológicas; sin embargo, son pocos los estudios que examinan sus características químicas, así como de las posibles aplicaciones de su transformación química.

Por lo anterior, en el presente trabajo de tesis se estudian las siguientes especies de pino: *Pinus teocote* Schl, et Cham., *P. michoacana* var. *cornuta* Martínez., *P. leiophylla* Schl. et Cham., *P. montezumae* Lam y *P. oocarpa* Schiede del Municipio de Morelia. El análisis químico general realizado, contribuye al conocimiento químico de su madera, además de extender el conocimiento de las propiedades de este tipo de especies, proporcionando una información sustentable y así poder darles un uso adecuado e integral para elevar su valor agregado.

2. ANTECEDENTES

Se dispuso de poca información relativa al conocimiento químico de la madera de las especies de pino señaladas, por lo que, de manera general se presenta un bosquejo sobre la distribución y número de especies del género *Pinus*, que se estima vegetan en México, así como referencias de algunos de los estudios que se han reportado en el ámbito de anatomía de la madera, bioquímica, física y mecánica de la madera y química de la madera y/o de corteza.

Las especies del género *Pinus* crecen en los bosques de Coníferas del Hemisferio Norte y se estima que en México existe el mayor número de taxas y el más ampliamente distribuido, encontrándose tanto en la Cordillera de Baja California como en la Sierra Madre Occidental, Sierra Madre Oriental, Sierra Madre del Sur y Eje Neovolcánico (Standley 1926; Eguiluz 1988; Madrigal, Guridi 1990). Los bosques de clima templado-frío en el Estado de Michoacán, se localizan en los macizos montañosos del Eje Neovolcánico y la Sierra Madre del Sur (Sierra de Coalcomán). Este tipo de vegetación ocupa la mayor superficie forestal (37%) y se distribuye en el 76% de los municipios de la Entidad (COFOM 2007).

Los bosques se componen por especies de coníferas y latifoliadas que prosperan en el rango altitudinal de 500 a 3,500 msnm. Las formaciones o asociaciones vegetales que componen este tipo de vegetación son los bosques de pino, bosques de oyamel, bosques mezclados (pino – encino) y bosques de encino. Las especies más importantes por su valor comercial y distribución son las correspondientes al género *Pinus* (COFOM 2007). De aproximadamente 75 taxas de pinos que existen en México, 20 se presentan en el Estado de Michoacán y de éstos, 12 se encuentran en el Municipio de Morelia (Madrigal, Guridi 1990): *P. douglasiana*, *P. lawsoni*, *P. leiophylla*, *P. martinezii*, *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pseudostrobus*, *P. maximinoi*, *P. michoacana* var. *típica*, *P. pringlei* y *P. teocote*.

En la literatura se reportan numerosos estudios de especies del género *Pinus*, entre los que destacan sobre aspectos anatómicos de maderas procedentes de otros Estados de la República, los realizados a *Pinus michoacana*, *P. montezumae*, *P. douglasiana*, *P. leiophylla*, *P. pringlei* y *P. pseudostrobus* (Mancera 1956), *Pinus leiophylla* (Huerta 1963), *Pinus lawsonii*, *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. oocarpa* var. *ochoterenai* y *P. pseudostrobus* (De la Paz Pérez-Olvera, Olvera 1981), *P. michoacana* y *P. pseudostrobus* (Olvera 1981), *Pinus montezumae*, *P. oocarpa*, *P. pringlei* y *P. teocote* (Olvera 1985). Estudios en especies de este género, procedentes del Estado de Michoacán, se encuentra el de Bucio (1982), que trata de la variación de las traqueidas de *Pinus douglasiana*, y sobre las especies del Municipio de Morelia; el realizado por Álvarez (1987), quien además de la anatomía de *Pinus martinezii* realiza las pruebas de secado; el de Martínez (1999), que incluye como parte de las descripciones anatómicas, los datos obtenidos de las dimensiones de las traqueidas.

En relación a bioquímica, Larios (2005) identifica la técnica más adecuada para la extracción de ADN en *Pinus teocote* Schiede, de los cinco métodos probados para la extracción de ADN, el que mostró mejores resultados tanto para la pureza, concentración e integridad de la molécula fue el protocolo comercial *Nucleon PhytoPure™ System®*. Su procedimiento es corto y fácil que requiere de dos a tres horas, siendo el uso de 2-mercaptoetanol fue ineludible en la extracción de ADN.

En relación a propiedades físico-mecánicas se encuentran el siguiente trabajo: Herrera (1992) quien aporta datos de las propiedades físico-mecánicas de la madera de 16 especies del municipio de Morelia.

Acevedo y Ambriz (1999) estudian el efecto del muérdago en las propiedades físicas de la madera de *Pinus pringlei*.

En el trabajo de Ambríz, Guridi, Martínez y Ochoa, (2002), se determina la densidad del Pino lacio (*P. michoacana* var. típica).

En investigaciones sobre propiedades tecnológicas existen análisis llevados a cabo como los siguientes:

Benítez y Romero (1985) en su tratado sobre la resistencia al fuego de elementos estructurales de madera de pinos, definen que la madera de uso estructural posee características de resistencia al fuego favorables, superior al de los metales y comparable en ciertas circunstancias con las del hormigón. Definen que la especie *P. pseudostrobus* Lindl, es más resistente al fuego que la de *P. leiophylla*.

Romero (1986) en su estudio tecnológico de *Pinus leiophylla* y *Pinus douglasiana*, considera que por sus características físico-mecánicas y de rápido crecimiento, estas especies deben ser consideradas en Plantaciones de tipo Técnico, que prevean el abastecimiento continuo de la madera.

Fuentes (1987) determina los índices de calidad de pulpa para la madera de *Pinus montezumae*, procedente de Puebla, y comprueba que el efecto del proceso kraft no altera los resultados de los índices de calidad, determinados en fibras de material disociado obtenido en laboratorio.

En cuanto a preservación e impregnación de la madera, Sánchez y Cruz (2004) realiza un estudio sobre impregnación de 30 polines de 4" x 4" x 8' de pino (*Pinus leiophylla*) con sales CCA con los métodos Bethell y Lowry.

Tzompantzi (2004) llevó a cabo una evaluación sobre el efecto de la concentración de las sales CCA-C (72%) en la madera de *Pinus leiophylla* Schl. et Cham, sobre el grado de penetración de la absorción, penetración y la retención a 1, 2 y 3 % de concentraciones, mediante el método de célula llena.

En relación a la composición química de la madera de especies de pino se encuentran pocos estudios:

Cruz (1991) encuentra en albura de *P. pseudostrobus* 2.2 % de extraíbles en éter de petróleo y 4.54 % en ciclohexano-etanol, valores de 29.2 a 30.3 % de lignina y 0.05 % de cenizas.

Espinoza (1996), da a conocer los resultados obtenidos en el estudio químico que realizó al oyamel (*Abies religiosa* var. *típica*), en cuanto a sustancias orgánicas (celulosa, hemicelulosa, lignina, extraíbles y sustancias pépticas) y sustancias inorgánicas (calcio, sodio, potasio, magnesio, manganeso) y hace una comparación con otras especies.

Ávila (2000) efectúa tratamientos con extraíbles de madera como medida de control de la variación dimensional, en donde señala que la impregnación con extraíbles solubles en acetona de la madera de *Enterolubium cyclocarpum* redujo la contracción tangencial de la madera de *Pinus pringleii*, pero no lo hizo para la contracción radial y el hinchamiento tangencial, el tratamiento con extraíbles solubles en alcohol-agua (1:1) no mejoró la variación dimensional de la madera de *Pinus pringleii* con valores estadísticamente significativos.

Rutiaga (2001) en un análisis químico en albura y duramen de *P. pseudostrobus*, encontró lo siguiente: extraíbles 13.2 % en duramen, 4.4 % en albura; polisacáridos 67.2 % en duramen, 67.8 % en albura; lignina 27.6 % en duramen, 26.6 % en albura; cenizas 0.08 % en duramen, 0.16 % en albura; pH de 4.6 en duramen, 5.5 en albura; además, detectó en las cenizas de duramen, Mg, Si, P, S, K, Ca y Mn, en la albura los mismos elementos a excepción de Si y Mn.

Albarrán (2004) en su tratado sobre biopulpeo Kraft, se llevó a cabo un análisis químico del *Pinus pringlei*. Además de comprobar la hipótesis de que con el pretratamiento de la madera de pino y encino con el hongo *Ceriporiopsis subvermispora*, causante de la pudrición blanca se logra una deslignificación inicial, que permitirá reducir el tiempo de cocción. Este tratamiento con hongos es compatible en alguna etapa del proceso Kraft.

Ávila (2005) realiza un estudio sobre la composición química de la madera de *Pinus pringlei*.

Ávila, Pedraza, y Sedano (2006) evalúan y reportan el pH en 19 maderas y 5 cortezas del estado de Michoacán, en las que integra al *Pinus pringlei*, reportando un valor ligeramente ácido de 6.2

Berg (1997), en base a sus investigaciones señala que los polifenoles contenidos en la corteza de *Pinus radiata*, representa un tipo de compuestos químicos con excelentes características para producir resinas adhesivas de características deseadas, comprobando que la uniformidad y reactividad de los polifenoles del pino radiata son los más aptos para fabricar resinas.

Rosales y González (2003), en el estudio sobre contenido de compuestos fenólicos de ocho especies de pinos de Durango, evaluaron el contenido de taninos condensados y fenoles totales, en extractos etanólicos y acuosos, de sus cortezas. Sus resultados indican que los sólidos totales extraídos, Stiasny, taninos condensados y fenoles fueron mayores en los extractos etanólicos que en los acuosos, en todas las especies. Encontrando mayor concentración de taninos en *P. leiophylla*, *P. ayacahuite*, *P. duranguensis*, y *P. teocote*.

Rosales, Pérez y Ponce (2004), en la investigación que llevan a cabo mencionan las propiedades antibacterianas y bloqueadoras de radicales libres de polifenoles de corteza de siete pinos (*P. ayacahuite*, *P. arizónica*, *P. cooperi*, *P. chihuahuana*,

P. durangensis, *P. leiophylla* y *P. teocote*), concluyendo que los extractos etanólicos de las especies estudiadas poseen actividad antibacteriana, principalmente sobre bacterias Gram+ como *Staphylococcus aureus*, y *Enterococcus* sp; así como altos niveles de actividad antirradicales libres, sobresaliendo las especies *P. leiophylla*, *P. durangensis*, *P. chihuahuana* y *P. teocote*. Estos resultados muestran que la corteza de pino tiene alternativas de aprovechamiento, desde el punto de vista farmacológico.

García, Acosta, Cuesta, Gelabert (2005), hacen referencia en su investigación, sobre la influencia del solvente y el método de extracción en la extracción de carotenos en el follaje de *Pinus caribaea morelet* var *caribaea barret* y *golfari*.

Rubial (2005) realizó investigaciones a cerca de la inhibición de la replicación del virus de inmunodeficiencia humana (VIH) por extractos de taninos de *Pinus caribaea* morelet.

3. GENERALIDADES DE LAS ESPECIES

3.1 Descripción botánica de la familia *Pinaceae*

Esta familia integra una de las más importantes del Reino Vegetal, constituida por árboles y arbustos perennes, resinosos en la mayoría de los casos, de hojas simples o agrupadas, aciculares, lineares o escamiformes; con flores dioicas y monoicas, fruto en forma de cono o globuloso, pulposo o seco, formado por escamas que protegen a las semillas. En México comprende a los géneros: *Pinus*, *Abies*, *Pseudotsuga*, y *Picea* (Madrigal 1982).

3.2 Características generales del género *Pinus*

Este género agrupa árboles que miden desde 5.0 a 50.0 m de altura y de 0.30 hasta más de 1.0 m de diámetro, de copa cónica, con hojas aciculares (en forma de aguja) en número de 1 a 8, protegidas en la base por una vaina caediza o persistente.

La corteza por lo general es lisa y delgada en árboles jóvenes, y gruesa, rugosa y áspera en árboles viejos; pero en algunos casos el engrosamiento y la aspereza se presenta en árboles jóvenes, como ocurre en el *Pinus montezumae*, siendo esta característica una de las diferencias más notables que los distinguen del *Pinus pseudostrobus* con el cual tienen estrecho parentesco (Madrigal 1982; Martínez 1992).

El color de la corteza puede ser oscuro rojiza, o más o menos oscura, en casos pueden llegar a ser casi negros, y en otras es ceniciento, a medida que aumenta el espesor las cortezas se van agrietando, formándose placas alargadas e irregulares, la superficies suelen ser escamosas, presentando la cara interna una coloración rojiza, amarillenta o anaranjada (Madrigal 1982; Martínez 1992).

El género *Pinus* se agrupa en dos grandes asociaciones cuyas características distintivas se presentan en el Cuadro 1.

Cuadro 1. Diferencias entre pinos blandos y pinos duros (Madrigal 1982; Martínez 1992)

HAPLOXYLON (pinos blandos)	DIPLOXYLON (pinos duros)
Base de las brácteas (del fascículo) no decurrentes	Base de las brácteas (del fascículo) no decurrentes
Vainas deciduas	Vainas persistentes
Hojas con dientecillos separados	Hojas con dientecillos juntos y largos
Sección transversal de la hoja con un haz vascular	Sección transversal de la hoja con dos haces vasculares
Brotes de primavera uninodales	Brotes de primavera binodales
Conos simétricos, con pocas escamas, tejidos suaves	Conos simétricos, con numerosas escamas, tejidos duros
Corteza lisa en árboles jóvenes	Corteza irregular y áspera en árboles jóvenes
Madera suave con poca resina de color uniforme y no muy clara diferenciación entre los anillos de crecimiento (transición gradual)	Madera dura con abundante resina, de color contrastante y diferenciación marcada entre los anillos de crecimiento (transición abrupta)
Traqueidas radiales con paredes de bordes lisos	Traqueidas radiales con paredes de bordes dentados o aserrados
Puntuaciones en los campos de crecimiento tipo fenestriforme o de ventana en los pinos piñoneros piceoides	Puntuaciones en los campos de crecimiento de tipo pinoide

Las especies para esta investigación, forman parte del grupo Diploxyton.

3.3 Características de la madera del género *Pinus*

Anillos de crecimiento bien delimitados con madera tardía de color más oscuro que la madera temprana, con la transición gradual en los pinos blandos, y abrupta en los pinos duros. En la mayoría no hay diferencia entre albura y duramen, su

color generalmente claro, varia de blanco amarillento, crema, amarillo pajizo, rosa pálido a rojizo, más oscuro en la madera tardía que en la temprana. El olor es resinoso, de sabor ligeramente amargo, brillo medio, ocasionalmente alto, hilo recto a veces irregular por la presencia de nudos, de textura fina a media, veteado pronunciado, determinado por los conos de crecimiento que se superponen. Los canales resiníferos visibles a simple vista, distribuidos irregularmente en todo el anillo, pueden ser muy numerosos. Los rayos generalmente visibles con lupa son uniseriados y de parénquima leñoso ausente (Guridi 1990).

3.4 Características generales de las 5 especies de *Pinus* (Madrigal 1982; Martínez 1992; Martínez 1999; Ochoa 2003)

***Pinus teocote* Schl. et Cham.**

Nombre común: Pino colorado

No. De herbario: H – 3984

Familia: *Pinaceae*

No. De xiloteca: T - 35

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Localidad: Agua Zarca, San Miguel del Monte

Clima: Templado

Datos de colección: el árbol colectado por XMS-EBUM-3984, derribado el 24 de mayo de 1985, tenía una altura total de 14.80 m y diámetro a la altura del pecho (d.a.p.) de 30 cm, la troza de contorno circular, con posición de la medula céntrica. La pendiente del terreno era de 5%.

Árbol con corteza de color grisáceo por fuera y algo anaranjado o amarillento por dentro, dividida en grandes placas longitudinales. Hojas en grupos de tres, fascículos de 10 a 15 cm de longitud y 2.0 cm de ancho, color verde brillante y a veces ligeramente amarillentas. Conos asimétricos ovoides u ovoides-cónicos, de 4 a 6.5 cm de longitud reflejados, pedúnculos de 5 a 8 mm de largo.

Descripción de la madera

Características macroscópicas y organolépticas: los canales resiníferos, visibles con lupa, son notorios, se localizan indistintamente en la madera temprana y en la madera tardía, presentándose en un promedio de 20.2 por cm². Los anillos de crecimiento bien delimitados por la transición abrupta y con 0.5 a 2.5 cm de grosor, rayos visibles a simple vista.

No presenta diferencia de color entre albura y duramen, en los anillos de crecimiento la madera temprana es de color amarillo claro y la tardía castaño amarillento. La madera tardía ocupa de ½ a 1/3 del total del ancho del anillo, el olor es ligeramente resinoso, y de sabor ligeramente amargo. Presenta hilo recto, textura fina a media, veteado pronunciado, y brillo medio, su densidad es de 0.66 gr/cm³ por lo que se considera pesada.

Características microscópicas: los canales resiníferos tienen un diámetro promedio de 207.5 µm; hay presencia de canales resiníferos traumáticos y no presenta tilosis.

Las traqueidas verticales de madera temprana tienen el contorno ovoide, y en la tardía cuadrangular. En cuanto al número de hileras de madera temprana y tardía se presentan en promedio 5, los valores promedio de longitud son de 5236.5 µm, grosor de la pared de 6.2 µm, diámetro del lumen 32.2 µm y diámetro de 44.5 µm. Presenta una sola hilera de punteaduras areoladas, fisuras por la madera de compresión y no presenta trabéculas, traqueidas con bordes aserrados.

Los radios son homogéneos y uniseriados, tienen valores promedio de 4.3 radios por milímetro y 9.3 células de altura, 185.2 µm de altura, 22.6 µm de diámetro.

Los pares de punteaduras en los campos de cruzamiento son de tipo pinoide, y parenquima leñoso ausente.

La madera: es fuerte y de buena calidad, se utiliza para construcciones, como combustible produce y abundante trementina.

Distribución: en Michoacán se encuentra distribuido principalmente en la parte centro-oriental de la cordillera Neovolcánica, en altitudes de 1500 a 2700 msnm aproximadamente. No se tienen registros de la Sierra de Coalcomán. Aunque suele formar comunidades puras, con frecuencia se encuentra asociada esta especie con una o más del mismo género y con *Quercus*, tales como *Pinus montezumae*, *P. pseudostrobus*, *P. lawsonii* y *P. martinezii* Larsen, así como con *Quercus crassipes*, *Q. crassifolia* y *Q. rugosa*, en elevaciones bajas con abundante afloramiento de rocas basálticas. En Michoacán solamente se han colectado en una localidad de la Cordillera Neovolcánica en altitudes de 2250 a 2300 msnm.

***Pinus michoacana* var. *cornuta* Martínez**

Nombre común: Pino lacio

No. de herbario: H – 4102

Familia: *Pinaceae*

No. de xiloteca: T – 77

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino.

Localidad: Cañada la Pitaya, Ejido Tumbisca.

Clima: Templado.

Datos de colección: el árbol colectado por XMS-EBUM-4102, derribado el 13 de septiembre de 1985, tenía una altura total de 20 m y d.a.p. (diámetro a la altura del pecho) de 35 cm, la troza, de contorno circular, con posición de la medula céntrica. La pendiente del terreno era de 60%.

Árbol de corteza oscura grisácea, áspera, gruesa y agrietada, con largas placas, ramas fuertes extendidas e irregulares.

Fascículos de 5 hojas, vaina decidua, hojas triangulares, fuertes y flexibles, moderadamente ásperas, de 30 a 40 cm de longitud, de color verde oscuro, vainas fuertes brillantes y resinosas, de 25 a 35 mm de largo, conos oblongos-ovoides de 16 a 30 cm de longitud, gradualmente atenuadas hacia el ápice, algo oblicuos y asimétricos, frecuentemente encorvados, semejando cuernos, de color café amarillento, algo resinosos y fuertes apófisis algo levantada.

Descripción de la madera

Características macroscópicas y organolépticas: los canales resiníferos son poco notorios, se localizan principalmente en la madera temprana y se presentan en un promedio de 10.2 por cm². Los anillos de crecimiento bien delimitados por la transición abrupta con 0.3 a 0.4 cm de grosor, radios visibles a simple vista.

No se distingue diferencia de color entre albura y duramen, en los anillos de crecimiento la madera temprana es de color amarillo pajizo, y la tardía amarillo rojizo, la madera tardía ocupa de ½ a 1/3 del total del ancho del anillo. El olor y el sabor no se perciben, tiene hilo recto, textura fina, veteado pronunciado y el brillo de medio a bajo, su densidad es de 0.57 gr/cm³ por lo que se considera pesada.

Características microscópicas: los canales resiníferos tienen un diámetro promedio de 166.2 µm, hay presencia de canales resiníferos traumáticos, no presenta tilosis.

Las traqueidas verticales de madera temprana tienen el contorno circular a poligonal y en la tardía poligonal. Tiene un número promedio de hileras en la madera temprana 11 y en la tardía de 26. Los valores promedios de longitud son de 4198 µm, grosor de la pared 6.5 µm, diámetro del lumen 31.9 µm, y diámetro 44.1 µm, presenta una sola hilera de puntuaciones areoladas, no existen trabéculas y las traqueidas radiales tiene los bordes aserrados.

De radios homogéneos y uniseriados, tienen valores promedio de 3.5 rayos por mm, 8.4 células de altura, 164 µm de altura, y 20.8 µm de diámetro. Los pares de punteaduras en los campos de cruzamiento son de tipo pinoide, y de parénquima leñoso ausente.

La madera: es blanquizca y ligera, vulgarmente se llama “ocote escobeton” “pino blanco” “pino prieto”, se destina para aserío, resinación y artesanías.

Distribución: en Michoacán se encuentra más ampliamente distribuida que la variedad típica y que la forma procera, localizándose tanto en la cordillera

Neovolcánica como en la Sierra de Coalcomán, en altitudes 1500 a 2400 msnm. Forma masas puras y mezcladas con una o más de las especies *Pinus oocarpa*, *P. lawsonii*, *P. michoacana*, *P. douglasiana*, *P. leiophylla*, *P. herrerae* y *P. pseudostrobus*. Es común la asociación con *Quercus rugosa*, *Q. castanea* y *Q. obtusata*.

***Pinus leiophylla* Schl. et Cham**

Nombre común: Pino chino

No. de herbario: H – 4104

Familia: *Pinaceae*

No. de xiloteca: T – 79

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Localidad: Piedra del Volcán, Ejido Tumbisca.

Clima: templado.

Datos de colección: el árbol colectado por XMS-EBUM-4104, derribado el 13 de noviembre de 1985, tenía una altura total de 16 m y d.a.p. (diámetro a la altura del pecho) de 34 cm, la troza de contorno ligeramente ovalado, con posición de la medula céntrica, pendiente del terreno de 40%.

Fascículos de 5 hojas, vaina decidua, hojas verdes en sus caras internas, cono ovoide tenazmente persistente, igual o menor de cm de largo, umbo dorsal, hojas finas y delgadas de 0.8 mm de ancho por 8 – 13 cm de longitud, color verde grisáceo, a veces con tinte amarillento, aglomeradas en la extremidad de la ramilla, dos haces fibrovasculares y canales resiníferos medios internos.

Conos de 4 a 6 cm de longitud, algo puntiagudos y asimétricos, más o menos reflejados, pedúnculos de 5 a 15 cm de largo y corteza gruesa de color gris muy oscuro y algunas veces con yemas adventicias en el tronco.

Descripción de la madera

Características macroscópicas y organolépticas: canales resiníferos visibles a simple vista, notorios, se localizan principalmente en la madera temprana y se presentan un promedio de 25 por cm². Los anillos de crecimiento bien delimitados,

por transición abrupta y con 0.4 a 0.6 cm de grosor, los rayos son visibles a simple vista.

No presenta diferencia de color entre albura y duramen, en los anillos de crecimiento la madera temprana es de color amarillo pajizo y en la madera tardía castaño amarillento, que ocupa $\frac{1}{4}$ del total del ancho del anillo, el olor es resinoso y el sabor es amargo.

Tiene hilo recto, textura fina, veteado pronunciado, y brillo bajo. Su densidad es de 0.57 gr/cm^3 por lo que se considera pesada.

Características microscópicas: los canales resiníferos tienen un diámetro promedio de $182.5 \mu\text{m}$, presenta canales resiníferos traumáticos y no presenta tilosis.

Las traqueidas verticales de la madera temprana tienen el contorno ovoide y en la tardía cuadrangular, el número promedio de hileras de madera temprana es de 95.9 y en la tardía 31.1, los valores promedio, longitud es de $3207 \mu\text{m}$, grosor de la pared $6.5 \mu\text{m}$, diámetro del lumen $16.2 \mu\text{m}$, y diámetro $29.3 \mu\text{m}$, presenta una sola hilera de punteaduras areoladas, y no presenta trabéculas, traqueidas radiales con bordes aserrados.

Los radios homogéneos y uniseriados, tiene valores promedio de 4.3 rayos por mm, 8.9 células de altura, $222 \mu\text{m}$ de altura, $24,2 \mu\text{m}$ de diámetro, los pares de punteaduras en los campos de cruzamiento son de tipo pinoide, parénquima leñoso ausente.

La madera: es pesada resinosa, de mediana calidad y susceptible al buen pulimento. Se utiliza en las construcciones y en la elaboración de duela.

Distribución: en Michoacán en la cordillera Neovolcánica tiene amplia distribución, determinada posiblemente por su adaptación a los diferentes agentes de perturbación del bosque, sobre todo a los incendios frecuentes. En la sierra de Coalcomán es escasa. Suele formar asociaciones con la mayoría de las demás especies de *Pinus*, como son; *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. herrerae*,

P. pseudostrobus, *P. lawsonii*, *P. douglasiana*, *P. montezumae* y con los encinos como *Quercus crassipes* y *Q. rugosa*. La variación altitudinal en donde se localiza es amplia, de aproximadamente 1500 a 2600 msnm.

***Pinus montezumae* Lamb.**

Nombre común: Pino lacio

No. de herbario: H – 4123

Familia: *Pinaceae*

No. de xiloteca: T – 88

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Localidad: Ejido Potrerillos

Clima: templado

Datos de colección: el árbol colectado por XMS-EBUM-4123, derribado el 22 de enero de 1986, tenía una altura total de 24 m, y d.a.p.(diámetro a la altura del pecho) de 30 cm, la troza de contorno ligeramente ovoide, con posición de la medula céntrica. Pendiente del terreno de 10%.

Árbol con corteza moreno rojiza, gruesa, áspera, y agrietada desde que el árbol es joven. Hojas en grupo de 5, anchamente triangulares, de 1.2 mm de grueso por 14 – 21 cm de longitud, flexibles, de color verde oscuros, extendidas o colgantes, apófisis algo aplanada, pedúnculos de 10 – 15 mm, por lo general quedan unidos a la ramilla al desprenderse el tronco.

Descripción de la madera

Características macroscópicas y organolépticas: los canales resiníferos visibles a simple vista, son notorios, se localizan principalmente en la madera temprana y se presentan en un promedio de 11.6 por cm². Anillos de crecimiento bien delimitados por la transición abrupta y con 0.2 a 0.4 de grosor. Rayos visibles a simple vista.

No presenta diferencia de color entre la albura y el duramen, en los anillos de crecimiento la madera temprana es de color amarillo clara y la madera tardía castaño amarillento, que ocupa de ½ a 1/3 del total del ancho del anillo. El olor es

ligeramente resinoso, y el sabor ligeramente amargo. Tiene hilo recto, textura mediana, veteado pronunciado, y el brillo bajo. Su densidad es de 0.57 gr/cm^3 por lo que se considera pesada.

Características microscópicas: canales resiníferos con un diámetro promedio de $221.2 \mu\text{m}$, hay presencia de canales resiníferos traumáticos y no presenta tilosis.

Las traqueidas verticales de madera temprana tienen el contorno circular y en la tardía cuadrangular, en cuanto al número de hileras de madera temprana se presentan en promedio de 7.5 y en la tardía de 17.7. Los valores promedio son: longitud $4663 \mu\text{m}$, grosor de la pared $4.8 \mu\text{m}$, diámetro del lumen $32.9 \mu\text{m}$, y diámetro $42.8 \mu\text{m}$, presenta una sola hilera de punteaduras areoladas, y no presenta trabéculas, las traqueidas radiales tienen los bordes aserrados.

Los radios son homogéneos y uniseriados, tienen valores promedio de 3.3 rayos por mm, 8.5 células de altura, $236.8 \mu\text{m}$ y $24.2 \mu\text{m}$ de diámetro. Los pares de punteaduras en los campos de cruzamiento son de tipo pinoide, no presenta parénquima leñoso.

La madera: es pesada, resinosa, se utiliza en la industria del aserrío.

Distribución: en Michoacán solamente ha sido registrada en la cordillera Neovolcánica, sobre todo en la parte occidental, en altitudes aproximadas de 2000 a 3000 msnm. Forma masas puras y también asociaciones con una o más de las especies *Pinus michoacana*, *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. lawsonii*, *P. douglasiana*, *P. rudis*, *P. pseudostrobus*, *P. leiophylla* y *P. teocote*. Y con los encinos como *Quercus crassifolia*, *Q. rugosa* y *Q. obtusata*.

***Pinus oocarpa* Schiede**

Nombre común: Pino

No. de herbario: H – 4146

Familia: *Pinaceae*

No. de xiloteca: T – 102

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Localidad: el Tizne

Clima: Templado

Datos de colección: el árbol colectado por XMS-EBUM-4146, derribado el 1 de marzo de 1986, tenía una altura total de 14m, y d.a.p. de 40 cm, la troza de contorno ligeramente elíptica, con posición de la médula ligeramente excéntrica. La pendiente del terreno era de 45%.

Árbol de corteza agrietada, oscura grisácea, con placas delgadas, largas y casi rectangulares, de color amarillento interiormente. Las hojas se presentan en grupos de 5, de 15 a 30 cm de largo, anchamente triangulares, de 1.2 a 8.0 cm de longitud, de color verde claro, brillantes, tiesas y ásperas.

Vaina persistente de color castaño oscuro, conos ovoides cortos, persistentes y colgantes, de 5.5 a 8.0 cm de longitud, abiertos tienen forma de roseta, de color ocre, lustrosos. Pedúnculos delgados y débiles de 2 a 3 cm de longitud.

Descripción de la madera

Características microscópicas y organolépticas: los canales resiníferos, visibles a simple vista, son muy notorios, se localizan principalmente en la madera temprana y están presentes en un promedio de 26.8 por cm². Los anillos de crecimiento bien delimitados por la transición abrupta y con 0.3 a 0.4 cm de grosor, los radios visibles a simple vista.

En la albura, la madera temprana es de color amarillo pajizo y la madera tardía castaño amarillento, en el duramen castaño rojizo pálido y castaño amarillento respectivamente. La madera tardía ocupa $\frac{1}{4}$ del total del ancho del anillo, el olor y sabor no se perciben. Tiene hilo recto, textura fina, veteado pronunciado y brillo bajo. Su densidad es de 0.63 gr/cm³ por lo que se considera una madera pesada.

Características microscópicas: los canales resiníferos tienen un diámetro promedio de 213.7 μm , hay presencia de canales resiníferos traumáticos, no muestra tilosis.

Las traqueidas verticales de madera temprana tienen el contorno circular y en la tardía cuadrangular, en cuanto al número de hileras de madera temprana se presentan en promedio 24.5, y en la tardía 18.8. Los valores promedio son: longitud es de 4149 μm , el grosor de pared es de 5.0 μm , diámetro de lumen 56.1 μm y diámetro 65.6 μm .

Presenta una hilera de punteaduras areoladas y frecuentemente con dos punteaduras dentro de la misma hilera, no existen las trabéculas, las traqueidas radiales tienen los bordes aserrados.

Los radios son homogéneos y uniseriados, con un promedio de 3.4 radios por mm, 6.5 células de altura, 191.2 μm de altura, 20.8 μm de diámetro. Los pares de punteaduras en los campos de cruzamiento son de tipo pinoide y de parénquima leñoso ausente.

La madera: es pesada, se utiliza para resinación y en la industria del aserrío.

Distribución: en Michoacán se localiza en la parte centro-occidental de la cordillera Neovolcánica y en la parte este, norte y sur de la sierra de Coalcomán, donde forma bosques de considerable extensión. Parece ser una especie bien adaptada a los incendios frecuentes, a las fuertes sequías periódicas y a los terrenos degradados. Son varias la especies de encinos que forman parte de estos bosques, como son: *Quercus resinosa*, *Q. scytophylla*, *Q. magnoliifolia* y *Q. elíptica*. Es una de las especies consideradas como subtropicales por encontrarse frecuentemente en ecotono con la vegetación tropical de las angiospermas en altitudes de 700 a 2000 msnm. Forma masas puras, aunque habitualmente forma asociaciones con *Pinus lawsonii*, *P. pringlei*, *P. leiophylla*, *P. douglasiana* y *P. michoacana var. cornuta*.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL

Determinar la composición química básica de las maderas de *Pinus leiophylla* Schl. et Cham, *P. michoacana* var. *cornuta* Martínez, *P. montezumae* Lamb., *P. oocarpa* Schiede y *P. teocote* Schl. et Cham., procedentes del municipio de Morelia, Michoacán.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

- Determinar la variabilidad del pH en las diferentes especies
- Determinar la cantidad de sustancias inorgánicas (cenizas)
- Realizar un análisis cualitativo y cuantitativo en las cenizas
- Determinar la solubilidad en sosa (NaOH) al 1%
- Determinar la solubilidad, mediante extracción sucesiva en:
 - Ciclohexano
 - Acetona
 - Metanol
 - Agua caliente
- Determinar el contenido de lignina
- Determinar el contenido de holocelulosa
- Determinación del contenido de taninos
 - Extracto total de sólidos
 - No. de Stiasny

5. MATERIALES Y MÉTODOS

5.1 Habilitación del material

De un árbol de cada especie en estudio, previamente identificado botánicamente, se obtuvo una rodaja de 20 cm de espesor a una altura de 1.30 m del tocón. El material se sometió a un astillado con formón y martillo, con la finalidad de obtener astillas de dimensiones adecuadas para la fase de molienda, llevada a cabo en un molino Willey, de conformidad con la norma T 257 cm-85 de TAPPI (2000), hasta obtener harina de madera, que posteriormente fue clasificada en tres diferentes tamaños de partícula utilizando una criba vibratoria (Figura 1). El material que se seleccionó para determinar las propiedades químicas, fue el que pasó por la malla 40 (420 μm) y que fue retenido en malla 60, almacenándolo en bolsas de plástico y sellándolas debidamente para evitar que la muestra se contaminara, absorbiera o cediera humedad.

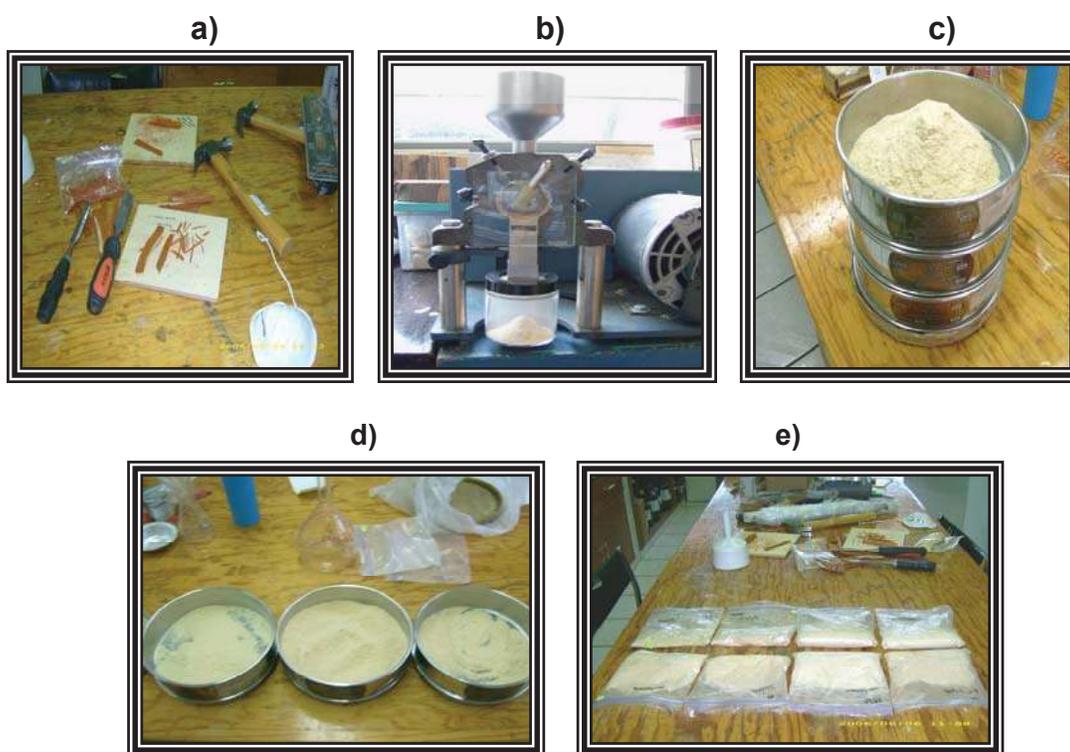


Figura 1. Proceso para la habilitación del material, a) Astillado, b) Molienda, c) Tamizado, d) Clasificación de harinas, e) Almacenamiento

5.2 Análisis químico de las especies

A continuación se señala la norma o método que se aplicó para determinar la composición química básica de la madera de las cinco especies de pino. Las determinaciones se realizaron por duplicado (Cuadro 2).

Cuadro 2. Métodos y Normas.

Determinación	Norma / Técnica
Variabilidad del pH en las especies	Sanderman y Rothkamm (1951)
Contenido de cenizas	T 211 om-93 (TAPPI 2000)
Solubilidad en solventes orgánicos	Extracción sucesiva con solventes de polaridad creciente
Solubilidad a la sosa (NaOH) 1%	T 212 om-98 (TAPPI 2000)
Lignina	Runkel y Wilke (1951)
Holocelulosa	Wise (1946)
Contenido de taninos	Wessmann <i>et al.</i> (1980)

Antes de iniciar el análisis químico, se determinó el porcentaje de humedad del material de estudio, siguiendo la técnica de deshidratación a 103° C. Éste material utilizado para determinar la humedad no fue empleado para realizar los ensayos químicos. La preparación del material para los ensayos se realizó siguiendo la norma T 264 cm-97 (TAPPI –2000) (Figura 2).

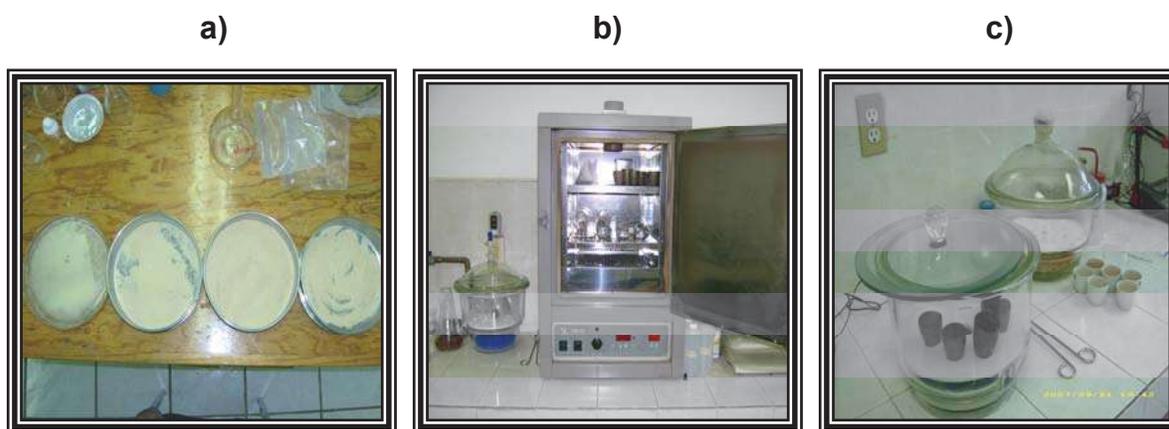


Figura 2. Proceso para la determinación del porcentaje de humedad, a) Muestras, b) Deshidratado, c) Enfriado

A continuación se presenta un diagrama general para realizar la presente investigación (Fig. 3).

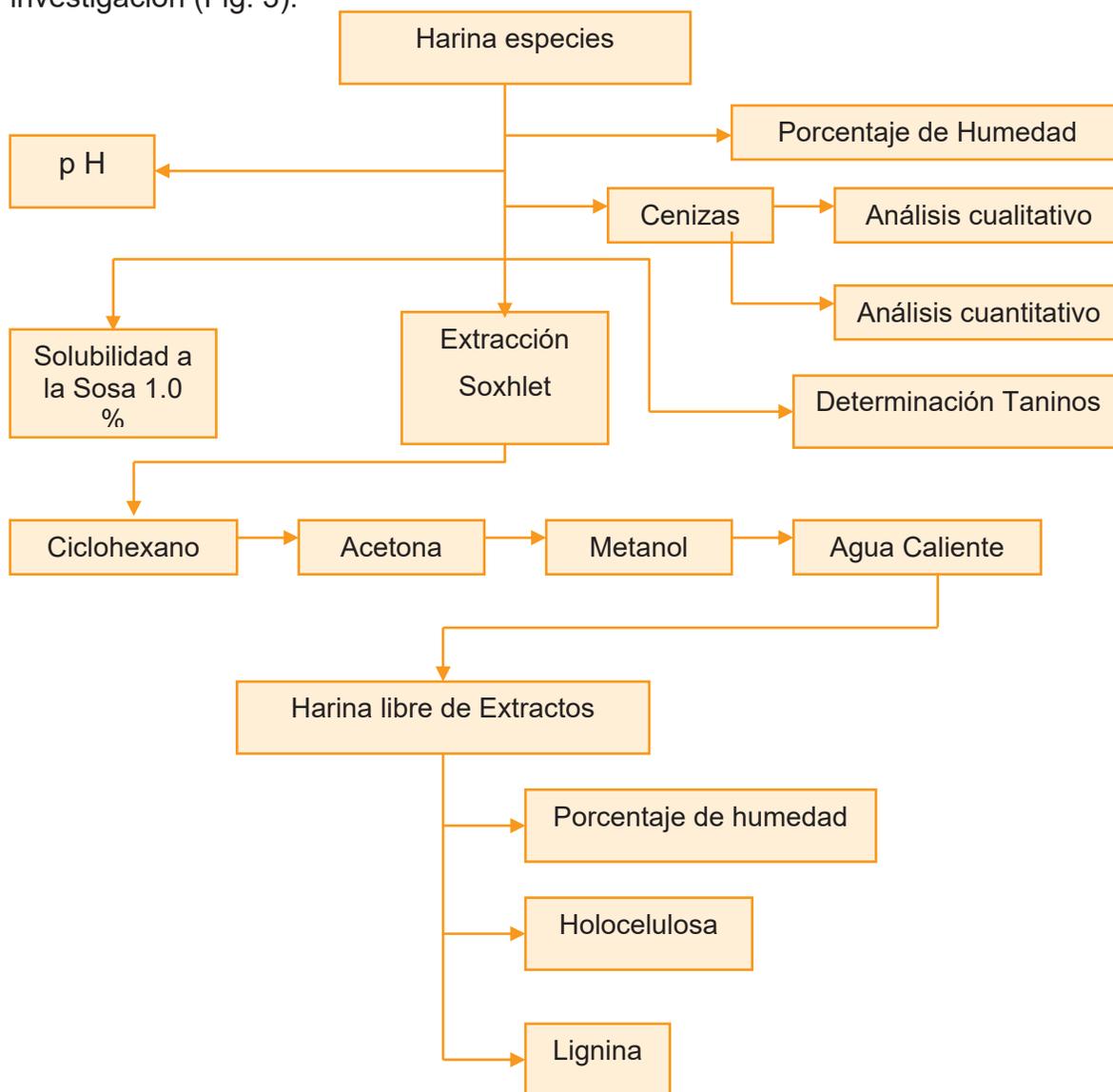


Figura 3. Diagrama general para el análisis químico de las especies.

5.2.1 Determinación de la variabilidad del pH en las especies

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, se le adicionaron 20 mL de agua destilada y se procedió a tomar las lecturas con un potenciómetro, a los 5 minutos, a las 4 h, 24 h y 48 h consecutivamente (Figura 4).

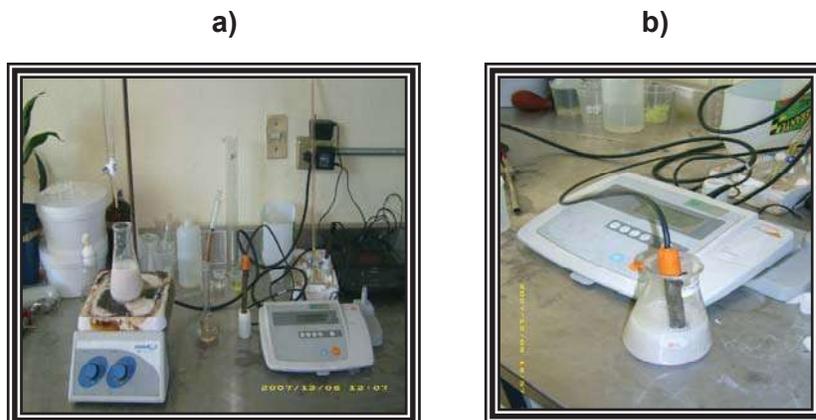


Figura 4. a) Medición del pH, b) Potenciómetro

5.2.2 Determinación del contenido de cenizas

El contenido de cenizas se efectuó de manera gravimétrica, después de quemar cuidadosamente las muestras en las placas de calentamiento, para posteriormente calcinar en una mufla a 525 °C utilizando crisoles de níquel, esto de acuerdo a la norma T 211 om-93 (TAPPI 2000) (Figura 5).

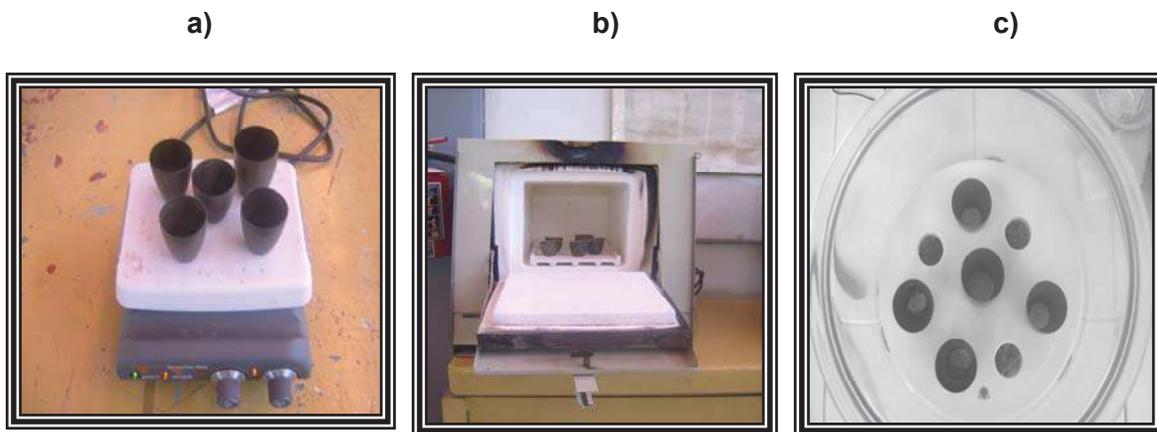


Figura 5. Secuencia seguida para la obtención de cenizas, a) Quemado, b) Calcinado, c) Enfriado

5.2.2.1 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 20 k V y 8.5 segundos (Figura 6).

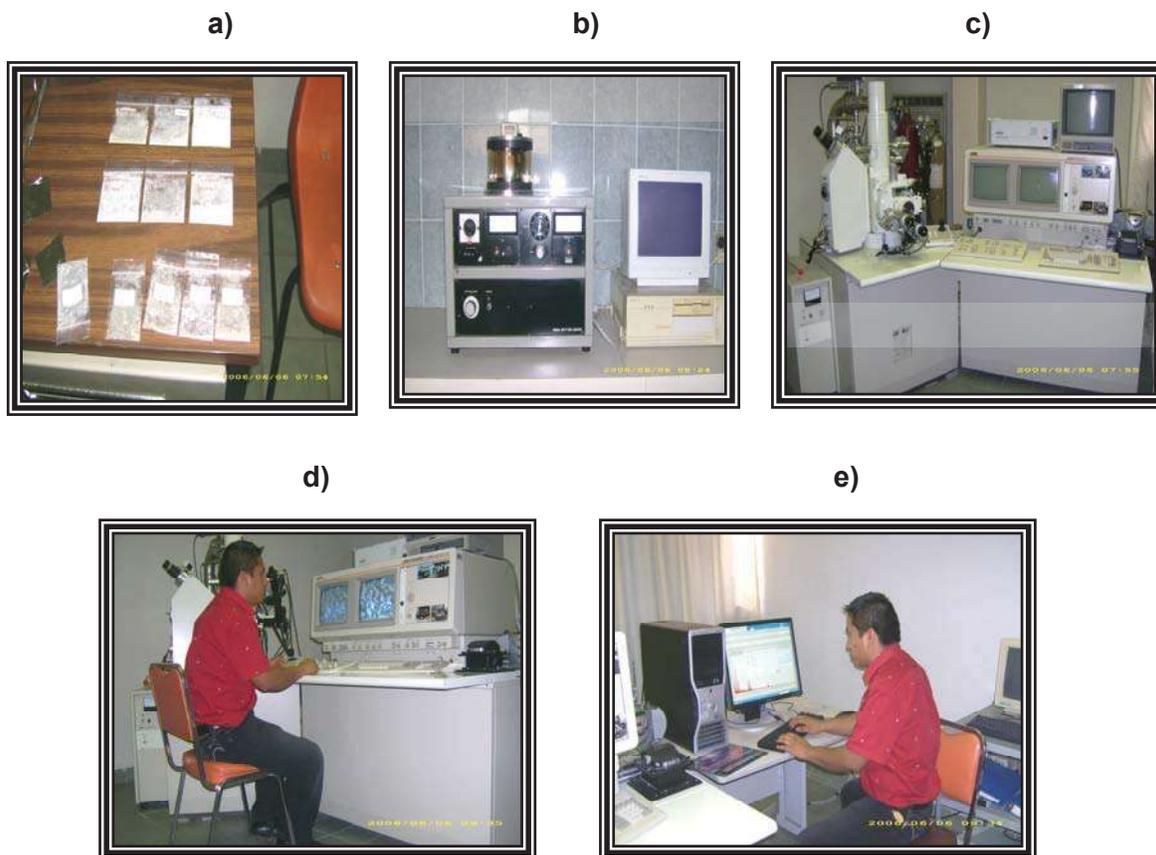


Figura 6. Análisis cualitativo de las cenizas de las especies, a) Muestras de cenizas, b) Metalizado, c) Microscopio Electrónico de Barrido, d) – e) Análisis de las muestras

5.2.3 Solubilidad a la sosa (NaOH) al 1%

Para obtener el porcentaje de solubilidad a la sosa se agregó a 2.0 g de muestra 100 mL de NaOH al 1.0 % llevándolas inmediatamente a baño María por un tiempo de 1 hora, agitando el contenido tres veces en periodos de 10, 15 y 25 minutos. Después de haber concluido la digestión en baño maría, enseguida 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. Este proceso se efectuó siguiendo la norma T 212 om-98 (TAPPI 2000) (Figura 7).

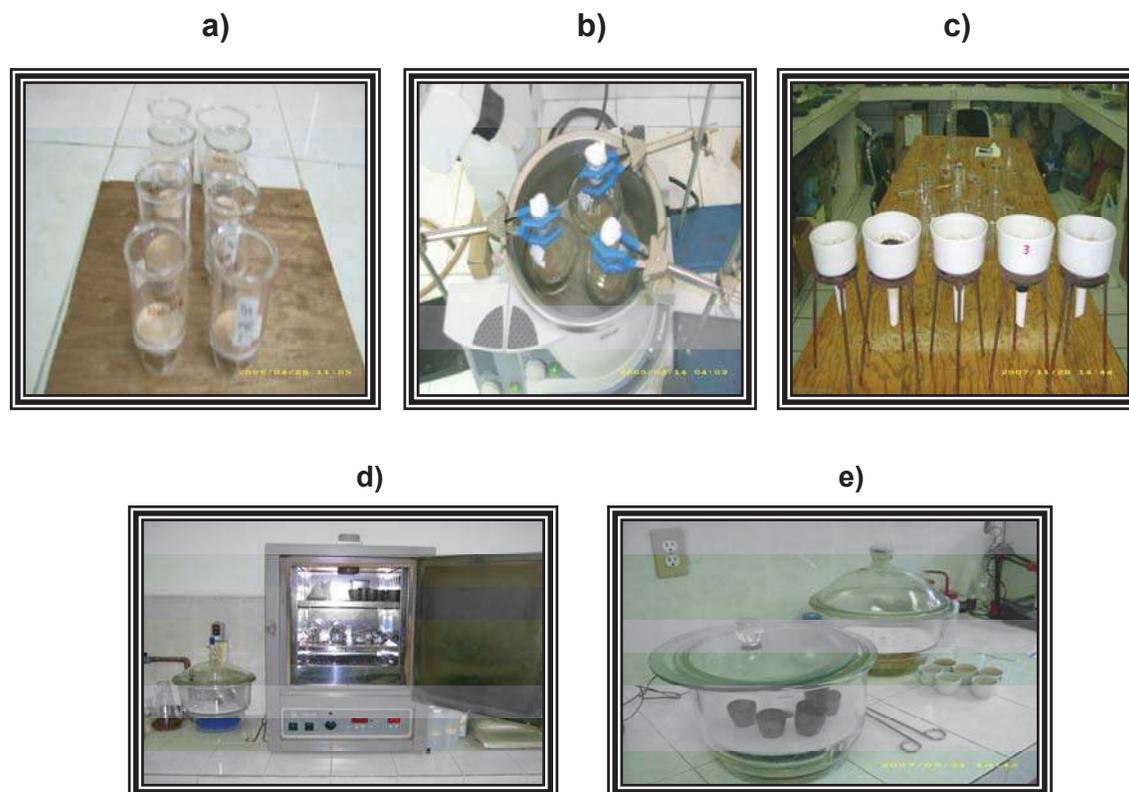


Figura 7. Secuencia para la obtención de solubilidad a la sosa, Muestras, b) Baño María, c) Filtrado y lavado, d) Secado, e) Enfriado

5.2.4 Solubilidad en solventes orgánicos

La obtención de extractos se realizó utilizando los siguientes solventes de polaridad ascendente: ciclohexano, acetona, metanol y agua caliente, de manera sucesiva. Para los solventes orgánicos de polaridad ascendente se emplearon equipos Soxhlet, siendo las extracciones por periodos de 4 horas.

Para las extracciones en agua caliente se emplearon condensadores durante 4 horas a reflujo. Una vez terminados los periodos de extracciones se obtendrá lo que se conoce como “harina libre de extraíbles”.

Los solventes fueron recuperados en un rotavapor aplicando vacío y el extracto respectivo fue colocado en un desecador hasta peso constante (Figura 8).

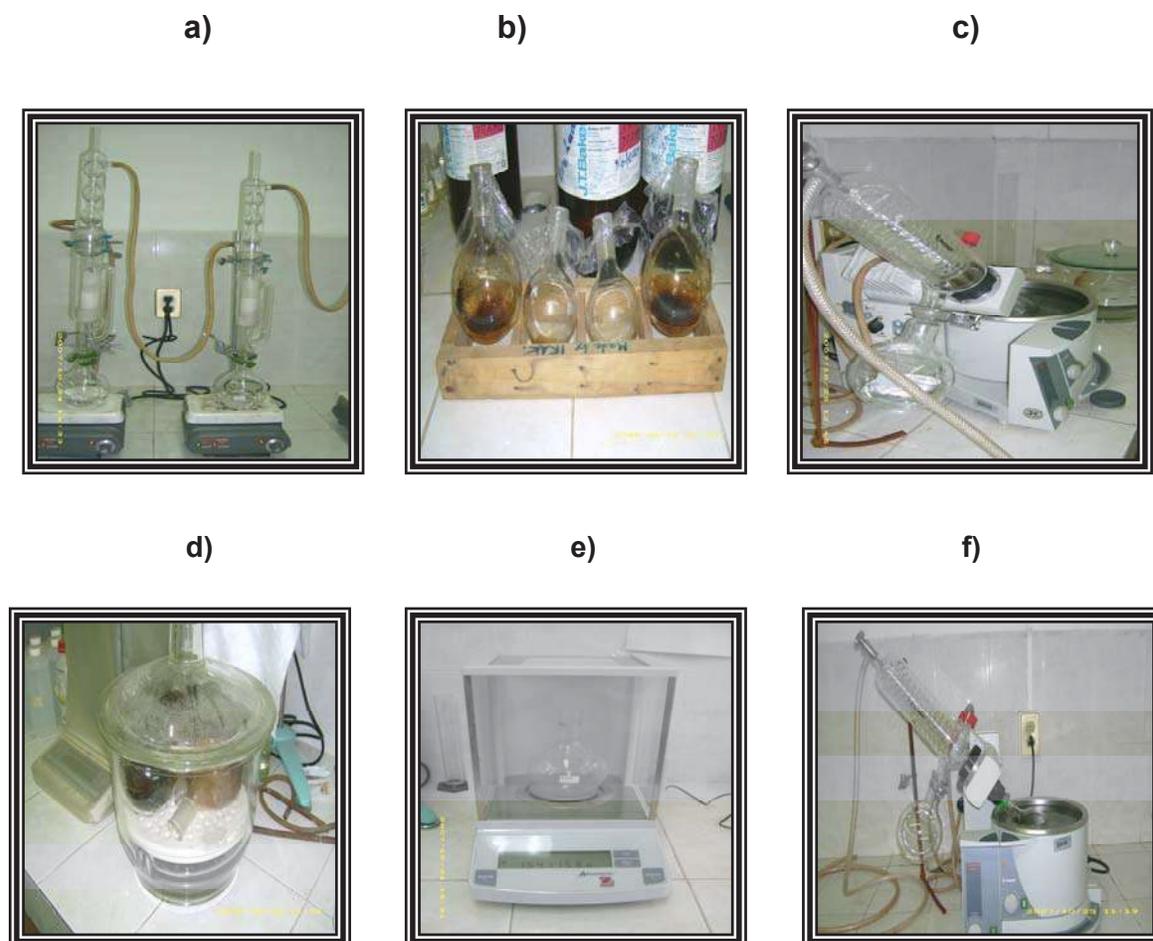


Figura 8. Secuencia para la extracción con Soxhlet, a) Equipo Soxhlet, b) Extractos en solución, c) Rotavapor, d) Extractos desecados, e) Pesado de extraíbles, f) Recuperación de solventes

5.2.5 Determinación de lignina

El contenido de lignina presente en la madera se desarrollo siguiendo la técnica Runkel y Wilke (1951), en la cual se procedió agregando ácido sulfúrico al 72 % y ácido bromhídrico al 40 % a la muestra, agitándola y dejándola reposar por 2 horas, posteriormente se le agregaron 100 mL de agua destilada y se dejó hervir por 5 minutos, finalmente se filtró en embudos Buchner y se lavaron las muestras

en repetidas ocasiones para no tener residuos de ácido. Para finalizar se llevarán a peso constante en una estufa a 103° C (Figura 9).

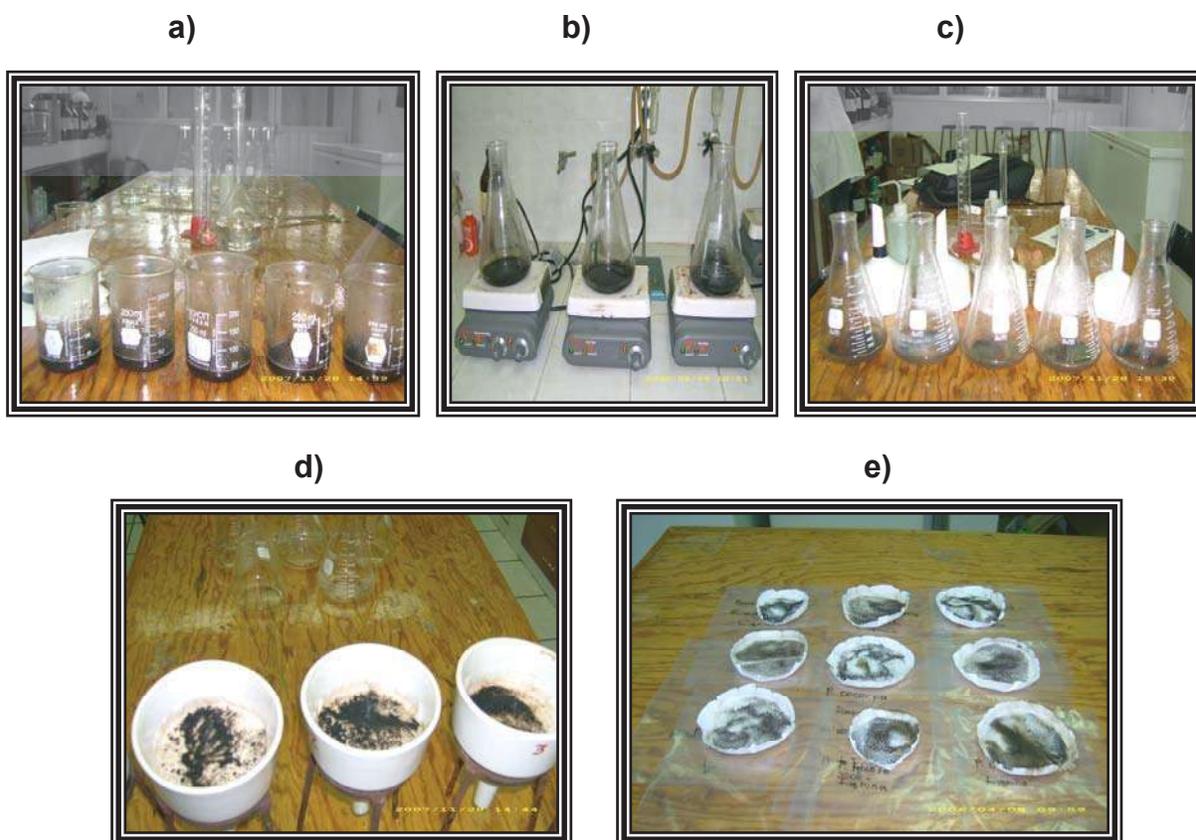


Figura 9. Secuencia seguida para la obtención de la lignina, a) Solución de ácidos, b) ebullición de la solución y las muestras, c) Enfriado, d) Filtrado y lavado e) Lignina anhidra

5.2.5 Determinación de holocelulosa

Mediante el método Wise (1946) se determinó el porcentaje de 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 4 horas. Después se vertieron las muestras en filtros de fondo poroso con vacío para facilitar el filtrado, se procedieron a lavar en repetidas ocasiones con agua destilada fría y acetona,

finalmente se llevaron las muestras a una estufa a 40° C hasta peso constante (Figura 10).

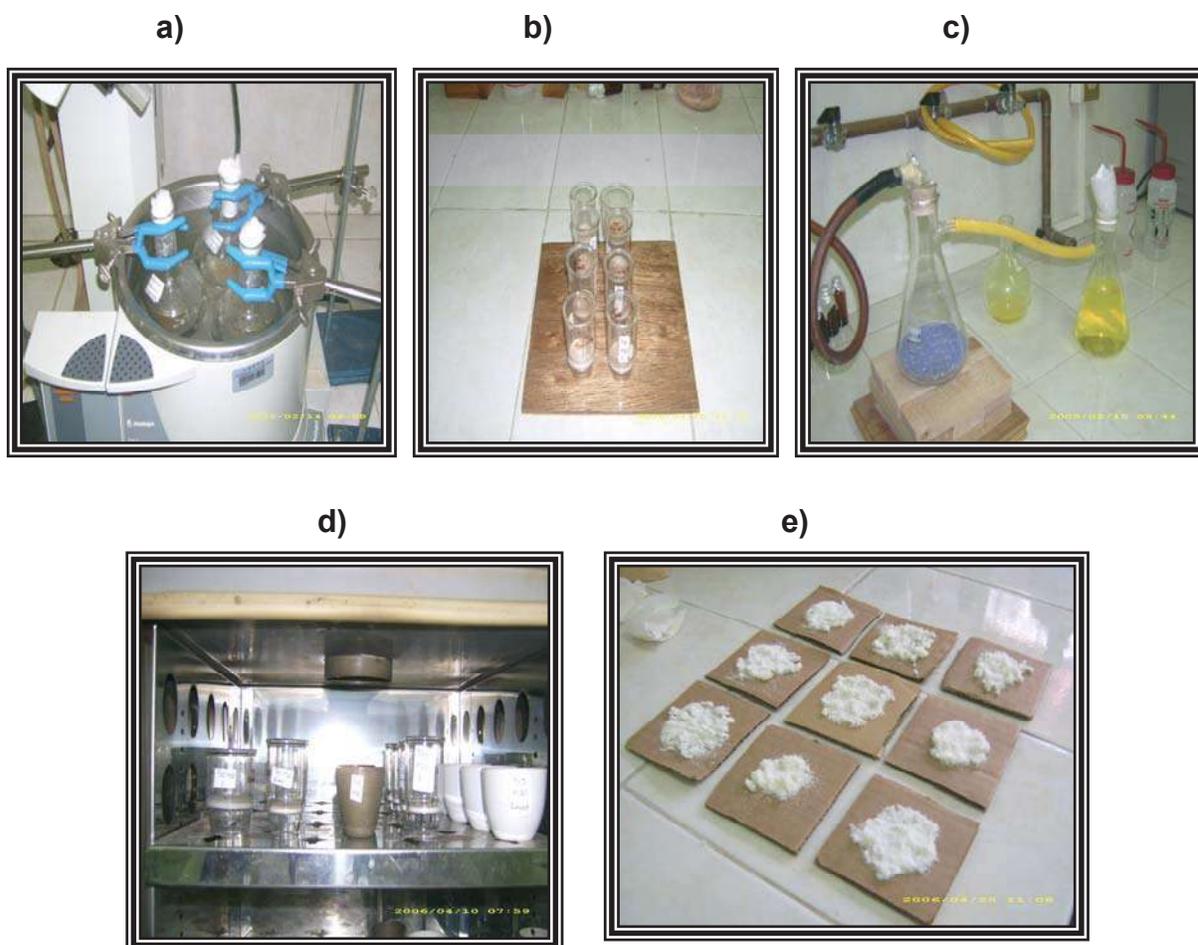


Figura 10. Secuencia para la obtención de holocelulosa, a) Baño María, b) Filtros de fondo poroso, c) Filtración mediante vacío, d) Secado, e) Holocelulosa

5.3 Determinación de taninos

El material que se utilizó para la determinación del porcentaje de taninos presentes en la madera fue malla 40 y 60. Se colocaron las muestras de harina en un matraz Erlenmeyer con una relación sólido líquido de (1/15) en baño María, controlando una temperatura de 87° C, durante 120 minutos (Pedraza 2006).

Después de dejar enfriar las muestras, se filtraron sobre papel filtro, el extracto se aforo en un matraz de 100 mL (Figura 11).

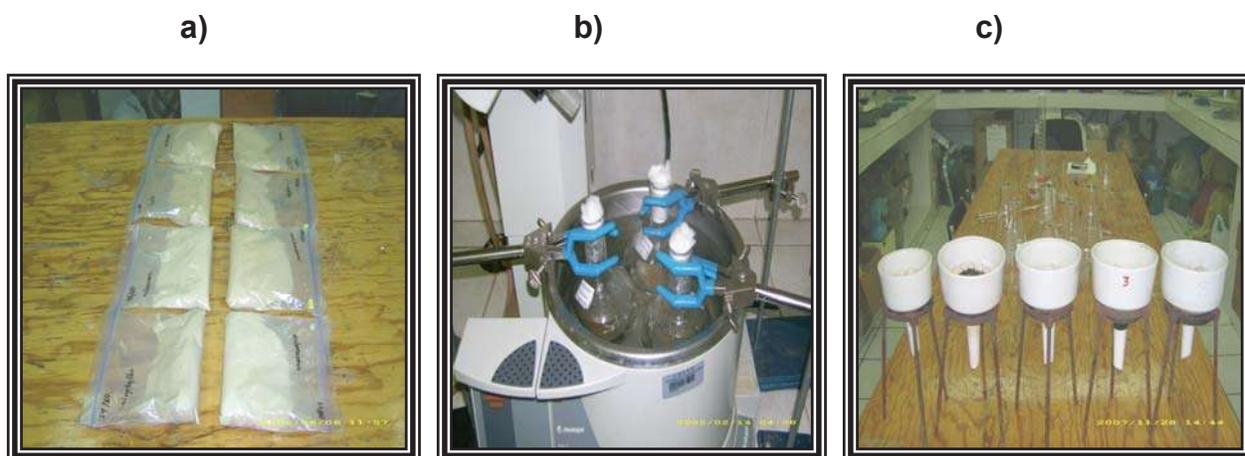


Figura 11. Determinación de taninos, a) Numero de malla de las harinas, b) Baño María, c) Filtrado y lavado

5.3.1 Determinación del Extracto Total

La cantidad de sólidos solubles se determinó por gravimetría: 50 mL se depositaron en un crisol de porcelana y éste se colocó en una estufa a 105° C hasta evaporar. El residuo que queda es lo que se conoce como extracto total de sólidos (Figura 12).



Figura 12. Determinación del extracto total, a) Secado, b) Extracto total

5.3.2 No. de Stiasny

Los 50 mL restantes se hicieron reaccionar con formaldehído en medio ácido (HCl) dentro de un matraz de fondo redondo donde permanecieron por un periodo de 30 minutos a reflujo, ya frío el licor se filtro con vació en un crisol de vidrio de fondo poroso. El precipitado resultante se llevó a una estufa a una temperatura de 105° C, hasta sequedad para así obtener los taninos condensados (Figura 13).

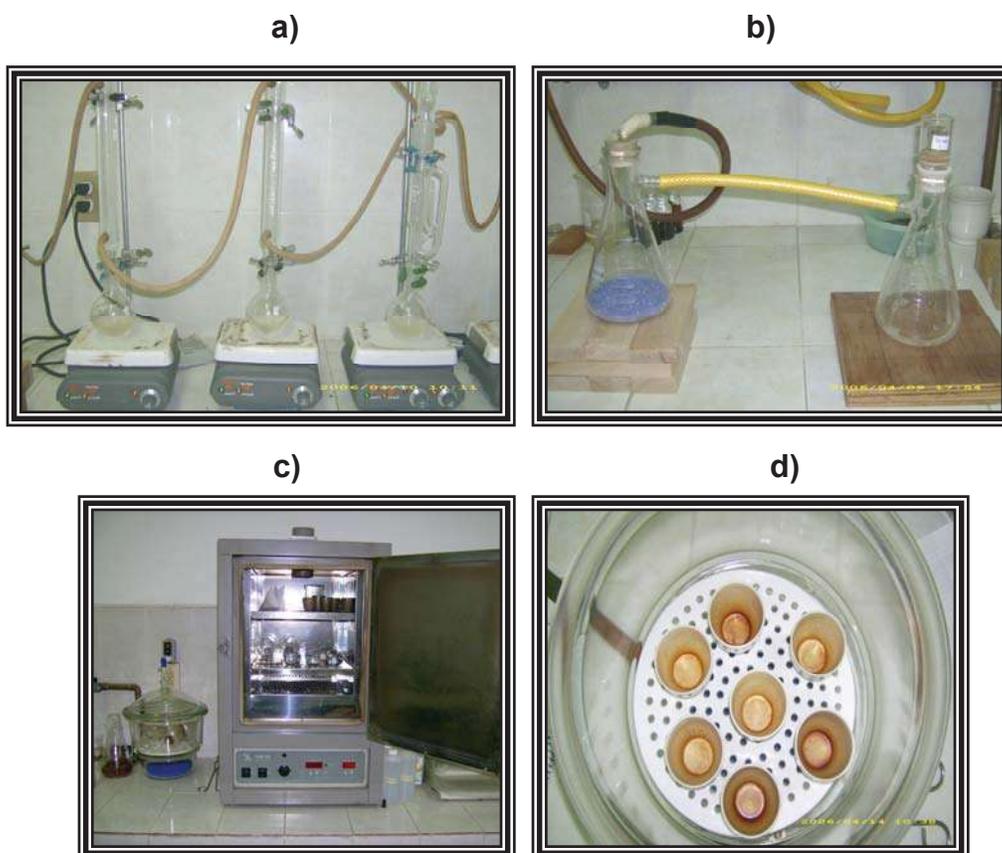


Figura 13. Determinación del No. De Stiasny, a) Equipo de reflujo, b) Filtrado, c) Secado, d) Taninos condosados

6. RESULTADOS

Los resultados derivados de la presente investigación se proporcionan de acuerdo al orden establecido en el diagrama general para el análisis químico de las especies (Figura 3), exponiéndose a continuación. En tanto que en el Anexo A, se presentan datos sobre la composición química de la madera de algunos otros pinos.

6.1 Variabilidad del pH

En lo que concierne a la medición del pH los resultados obtenidos se muestran en el cuadro 3, obteniéndose valores en un intervalo de 4.08 a 4.57 en las especies estudiadas, siendo el menor *Pinus leiophylla* y el mayor para *P. teocote*.

Cuadro 3. Valores del pH de las especies.

Especie	Muestra	pH
<i>P. teocote</i>	T-35	4.57
<i>P. michoacana</i>	T-77	4.24
<i>P. leiophylla</i>	T-79	4.08
<i>P. montezumae</i>	T-88	4.39
<i>P. oocarpa</i>	T-102	4.40

6.2 Contenido de cenizas

Referente al porcentaje de cenizas, los valores están representados en la gráfica de la figura 14 y en el cuadro 4, en donde se muestra que el contenido de cenizas se encuentra en un intervalo de 0.28 a 0.34 %, siendo el valor inferior para *Pinus montezumae* y el mayor para *P. leiophylla*.

Cuadro 4. Valores del porcentaje de cenizas para las especies de *Pinus*.

Especie	Muestra	% cenizas
<i>P. teocote</i>	T-35	0.30
<i>P. michoacana</i>	T-77	0.33
<i>P. leiophylla</i>	T-79	0.34
<i>P. montezumae</i>	T-88	0.28
<i>P. oocarpa</i>	T-102	0.32

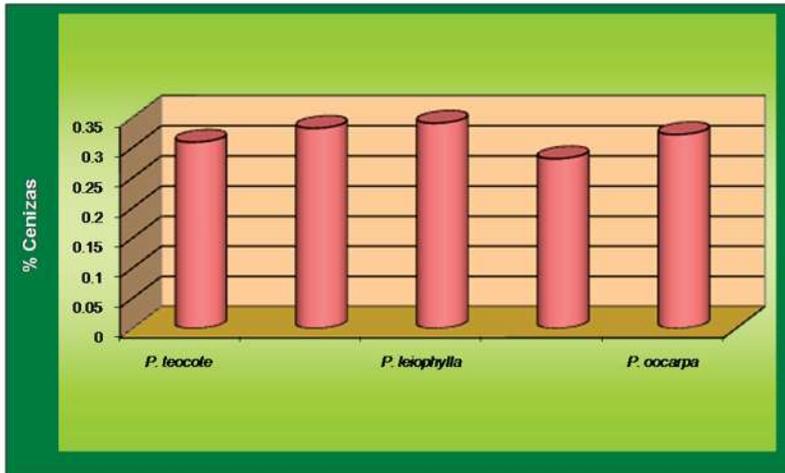


Figura 14. Gráfica del porcentaje del contenido cenizas de las especies.

6.2.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas

En el cuadro 5 y en la figura 17 se muestran los resultados obtenidos en el análisis cualitativo y cuantitativo realizado a las 5 especies del genero *Pinus*. Como se puede constatar el elemento con más presencia en las cenizas de las maderas fue el Calcio en un intervalo que va del 7.14 al 8.96 %, siendo el valor más pequeño para *Pinus teocote* y el más alto para *P. michoacana*, seguido del Potasio con un intervalo de 3.14 % para *P. teocote* a 5.24 % para *P. montezumae*. Después el Magnesio que va de 1.7 % para *P. leiophylla* a 2.58 % para *P. oocarpa*, siguiendo el Manganeso que sólo lo presentan el *P. leiophylla* con 1.08 % y el *P. teocote* con 1.83 %; el Hierro y Aluminio sólo lo presenta el *P. leiophylla*, el Silicio esta presente en *P. leiophylla* y *P. montezumae*, el Fósforo esta en un intervalo de 0.21 % para *P. montezumae* y *P. oocarpa* a 0.47 % en *P. leiophylla*, el Molibdeno solo se encuentra en *P. teocote* y *P. michoacana*, para el Plomo se encuentra un intervalo de 0.98 % para *P. montezumae* a 1.82 % para el *P. leiophylla*.

Además en la Figura 15 se muestran imágenes del análisis de las cenizas a 500x que muestra un panorama general y a 3000x, que presenta un panorama más detallado de los cristales que forman los elementos encontrados en estas especies de *Pinus*, así como de las gráficas obtenidas en este análisis y un mapeo de los elementos presentes (Figura 16).

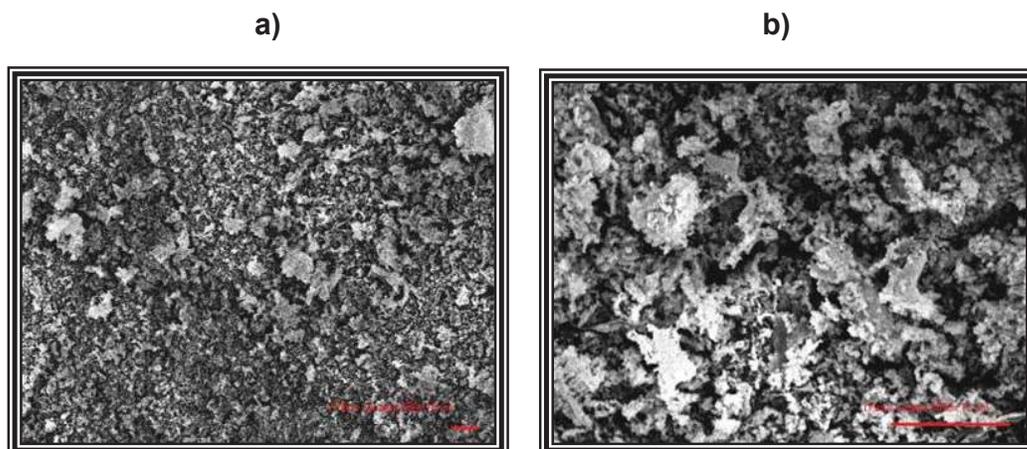


Figura 15. a) – b) Cristales de los elementos encontrados en *P. oocarpa*, vistos con el microscopio electrónico.

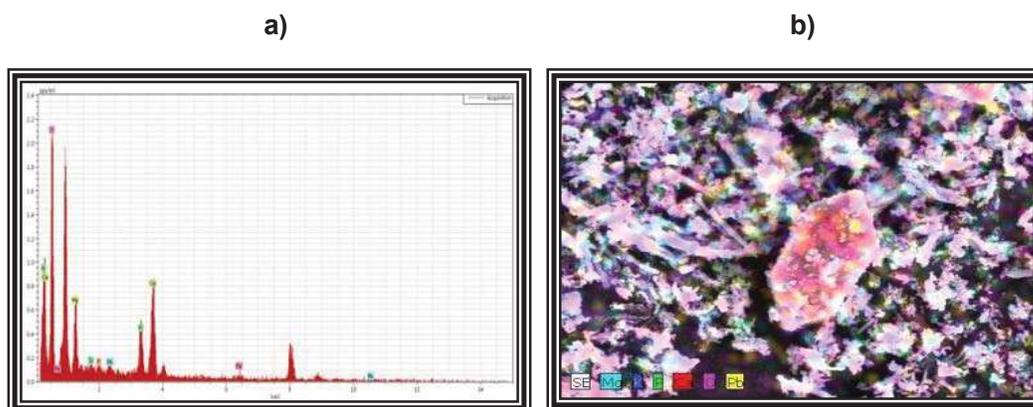


Figura 16. a) Cromatograma, b) mapeo de los elementos presentes en las cenizas analizadas.

Cuadro 5. Trazas de los elementos en las cenizas de las especies.

% de Trazas en las cenizas										
Especie	Ca	K	Mg	Mn	Fe	Al	Si	P	Mo	Pb
<i>P. teocote</i>	7.14	3.14	2	1.83				0.37	0.87	
<i>P. michoacana</i>	8.96	3.74	1.91						2.19	1.37
<i>P. leiophylla</i>	7.96	4.88	1.71	1.08	1.49	0.09	0.05	0.47		1.82
<i>P. montezumae</i>	8.48	5.24	1.89				0.07	0.21		0.98
<i>P. oocarpa</i>	8.26	4.06	2.58					0.21		1.17

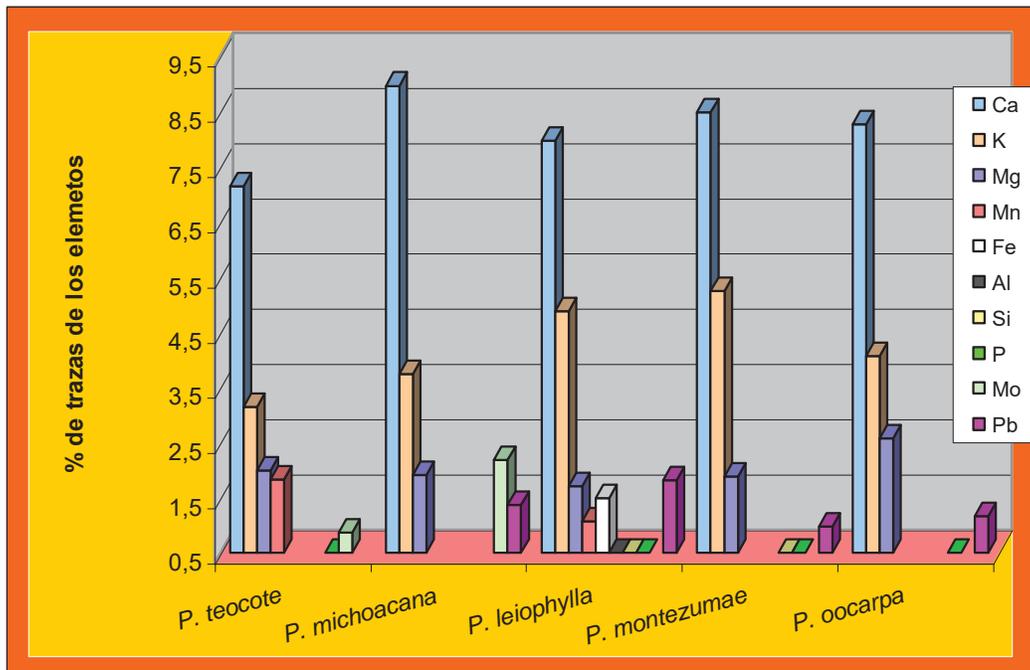


Figura 17. Gráfica del porcentaje de trazas de elementos en las cenizas.

6.3 Solubilidad a la Sosa

A continuación se presenta los valores obtenidos para material soluble en sosa al 1 %, esto se puede apreciar en la gráfica 18 y en el cuadro 6 que se muestra a continuación. Los resultados que se exponen varían de 17.87 % a 25.35 %, perteneciendo el valor menor a *Pinus michoacana* y el mayor a *P. leiophylla*.

Cuadro 6. Porcentaje del material soluble en sosa al 1%.

Especie	Muestra	% Solubilidad
<i>P. teocote</i>	T-35	21.94
<i>P. michoacana</i>	T-77	17.87
<i>P. leiophylla</i>	T-79	25.35
<i>P. montezumae</i>	T-88	22.48
<i>P. oocarpa</i>	T-102	24.46

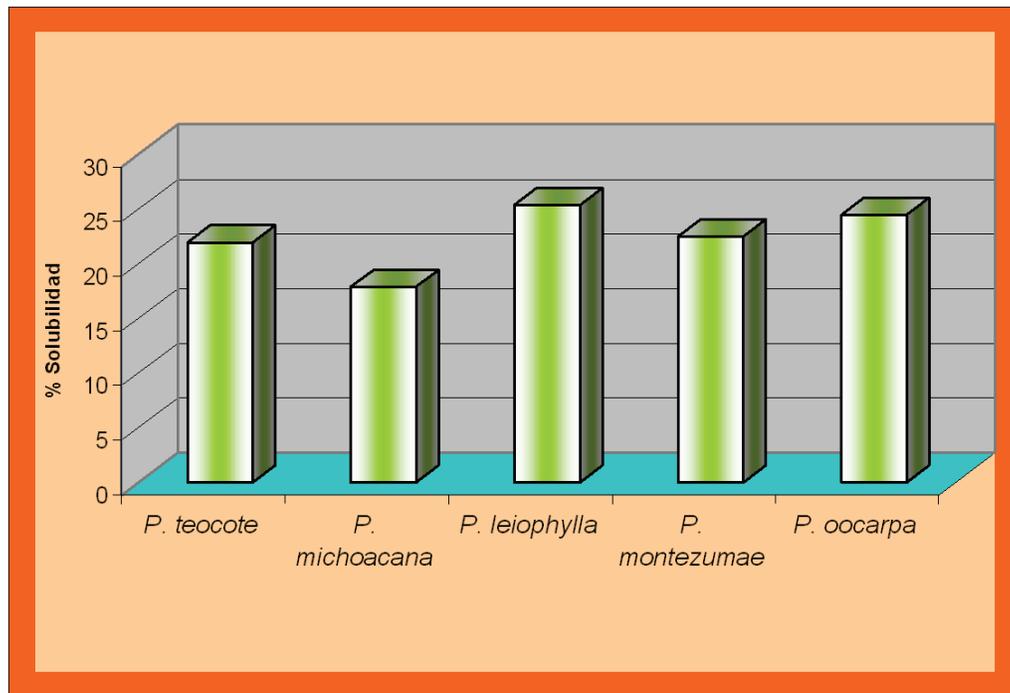


Figura 18. Gráfica del porcentaje de solubilidad a la sosa.

6.4 Extraíbles

En el cuadro 7 se presentan los resultados obtenidos de las extracciones sucesivas de polaridad ascendente al igual que la suma de todos los extractos. Los valores para la extracción con ciclohexano están dentro del intervalo de: 1.58 a 1.91 %, teniendo en *Pinus oocarpa* en valor mas bajo y en *Pinus leiophylla* el valor mas alto.

Los resultados obtenidos con acetona varían de: 1.64 a 2.08 %, siendo *Pinus montezumae*, *P. leiophylla* las especies de menor valor y las de mayor para *P. teocote* y *P. michoacana*.

En tanto que en las extracciones con metanol se obtuvo una variación de 1.59 a 1.87 %, teniendo en *P. michoacana* el porcentaje más bajo y en *P. oocarpa* el más alto, en este intervalo entran las demás especies.

Los valores que se generaron con la solubilidad en agua caliente, van del 2.45 al 2.94 %, se tiene que *P. montezumae* y *P. oocarpa* representan los valores inferiores, y *P. leiophylla*, *P. teocote* los superiores.

En la suma total de extractos de puede verificar que los valores oscilan entre 7.62 y 8.21 %, proporcionando el valor mas bajo para *P. montezumae* y el valor mayor para *P. leiophylla*.

En la figura 19, se presentan gráficamente los resultados de las extracciones con los solventes así como los valores de los extraíbles totales y reportados con anterioridad.

Cuadro 7. Porcentaje de extraíbles en los solventes y suma de extractos.

Especie	Muestra	Ciclohexano	Acetona	Metanol	Agua Caliente	Suma
<i>P. teocote</i>	T - 35	1.64	2.09	1.63	2.78	8.16
<i>P. michoacana</i>	T - 77	1.70	2.07	1.59	2.71	8.08
<i>P. leiophylla</i>	T - 79	1.90	1.66	1.70	2.93	8.21
<i>P. montezumae</i>	T - 88	1.80	1.64	1.72	2.45	7.61
<i>P. oocarpa</i>	T - 102	1.58	2.06	1.86	2.52	8.03

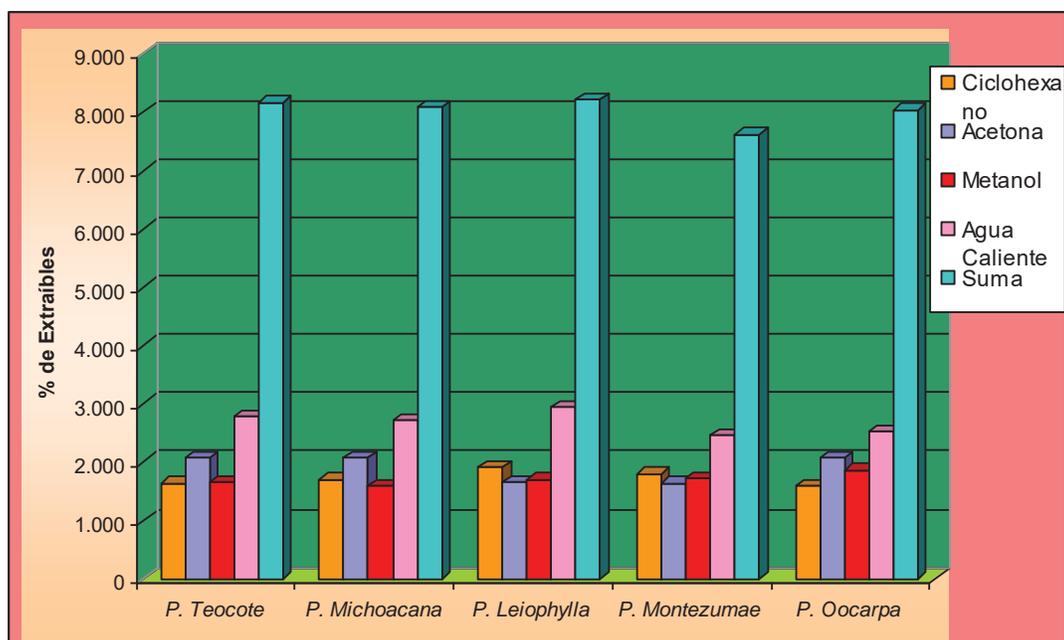


Figura 19. Gráfica de los porcentajes de extraíbles de las especies.

6.5 Holocelulosa

Con relación al contenido de holocelulosa los valores se exponen en el cuadro 8, y varían entre 68.14 y 74.15 %, representando al valor inferior el *Pinus montezumae* y el valor superior lo constituye *P. oocarpa*.

6.6 Lignina

Referente a los valores del contenido de lignina se reportan en el cuadro 8, donde los valores están en un parámetro de 24.01 a 28.54 %, teniendo para *Pinus montezumae* el valor inferior y para *P. leiophylla* el valor más alto. Para los valores de los componentes estructurales se despliegan gráficamente para una mejor visualización como se muestra en la figura 20.

Cuadro 8. Porcentajes de los componentes estructurales.

Especie	Muestra	% Lignina	% Holocelulosa
<i>P. teocote</i>	T - 35	25.31	71.54
<i>P. michoacana</i>	T - 77	25.03	72.96
<i>P. leiophylla</i>	T - 79	28.54	69.16
<i>P. montezumae</i>	T - 88	24.01	68.14
<i>P. oocarpa</i>	T - 102	24.66	74.15

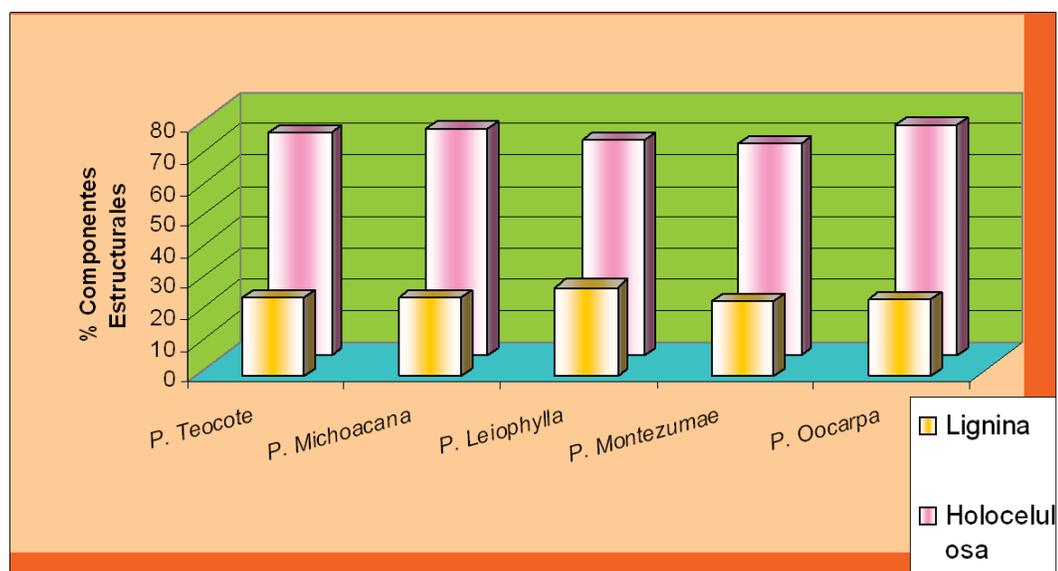


Figura 20. Gráfica de los porcentajes de los componentes estructurales.

6.7 Taninos

6.7.1 Contenido de taninos

Acerca de los valores obtenidos en el contenido de taninos, estos se presentan en el cuadro 9 y en la figura 21, teniendo en cuenta el factor que juega el número de malla, los valores para malla 40 oscilan entre 0.0696 y 0.1096 %, siendo el inferior para *Pinus leiophylla* y el valor superior para *P. michoacana*. En cuanto a malla 60 existe una variación de 0.0719 a 0.1173 %, dando el valor más bajo en *P. teocote* y el más alto en *P. michoacana*. Dentro de este parámetro convergen los demás valores de las otras especies analizadas.

Cuadro 9. Porcentajes y evaluación de taninos.

Especie	Muestra	Tamaño Partícula	% Extracto Total	% No. de Stiasny	% Cont. Taninos
<i>P. teocote</i>	T - 35	m 40	1.96	3.65	0.0717
<i>P. teocote</i>	T - 35	m 60	1.97	3.64	0.0719
<i>P. michoacana</i>	T - 77	m 40	1.27	8.61	0.1096
<i>P. michoacana</i>	T - 77	m 60	1.36	8.62	0.1173
<i>P. leiophylla</i>	T - 79	m 40	1.32	5.28	0.0696
<i>P. leiophylla</i>	T - 79	m 60	1.85	6.10	0.1116
<i>P. montezumae</i>	T - 88	m 40	1.38	6.04	0.0836
<i>P. montezumae</i>	T - 88	m 60	1.38	5.89	0.0815
<i>P. oocarpa</i>	T - 102	m 40	1.60	5.60	0.0896
<i>P. oocarpa</i>	T - 102	m 60	1.72	4.50	0.0777

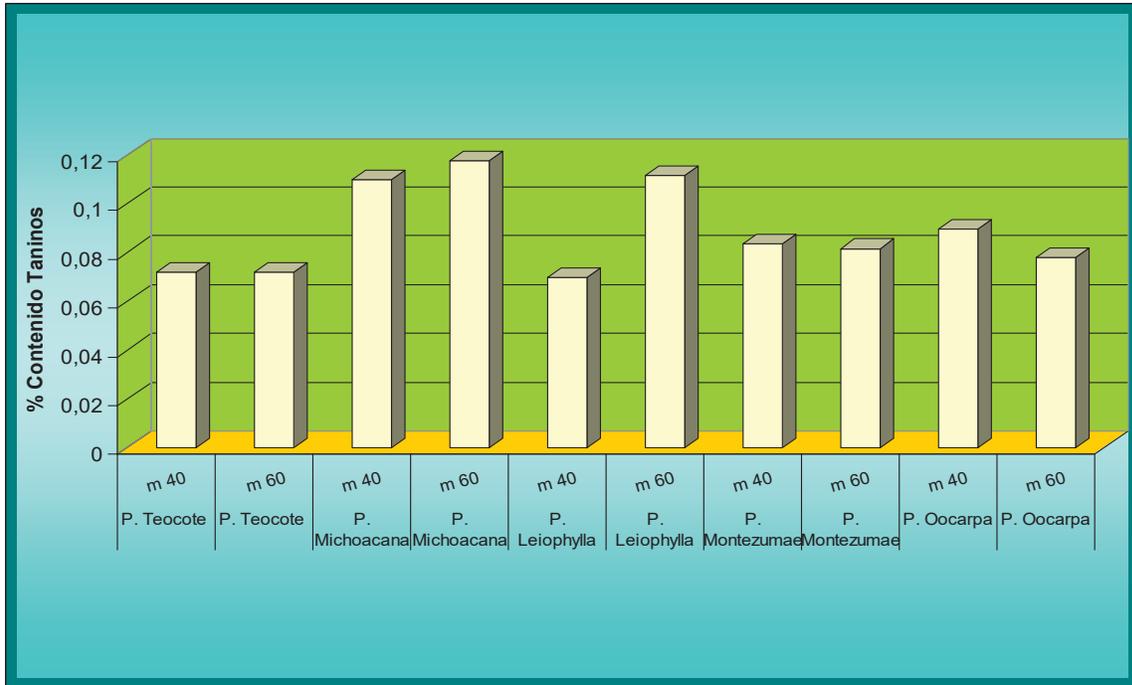


Figura 21. Gráfica de los porcentajes del contenido de taninos en las especies.

6.7.2 Extracto total

Del mismo modo en el cuadro 9 y figura 22, se muestran los valores resultantes para el extracto total, se tuvo una variación de 1.27 a 1.96 % en malla 40, simbolizó el valor más pequeño para *Pinus michoacana* y el mayor para *P. teocote*. En tanto que para malla 60 el parámetro es de 1.36 a 1.97 %, atribuyendo a *P. michoacana* el valor menor y a *P. teocote* el mayor.

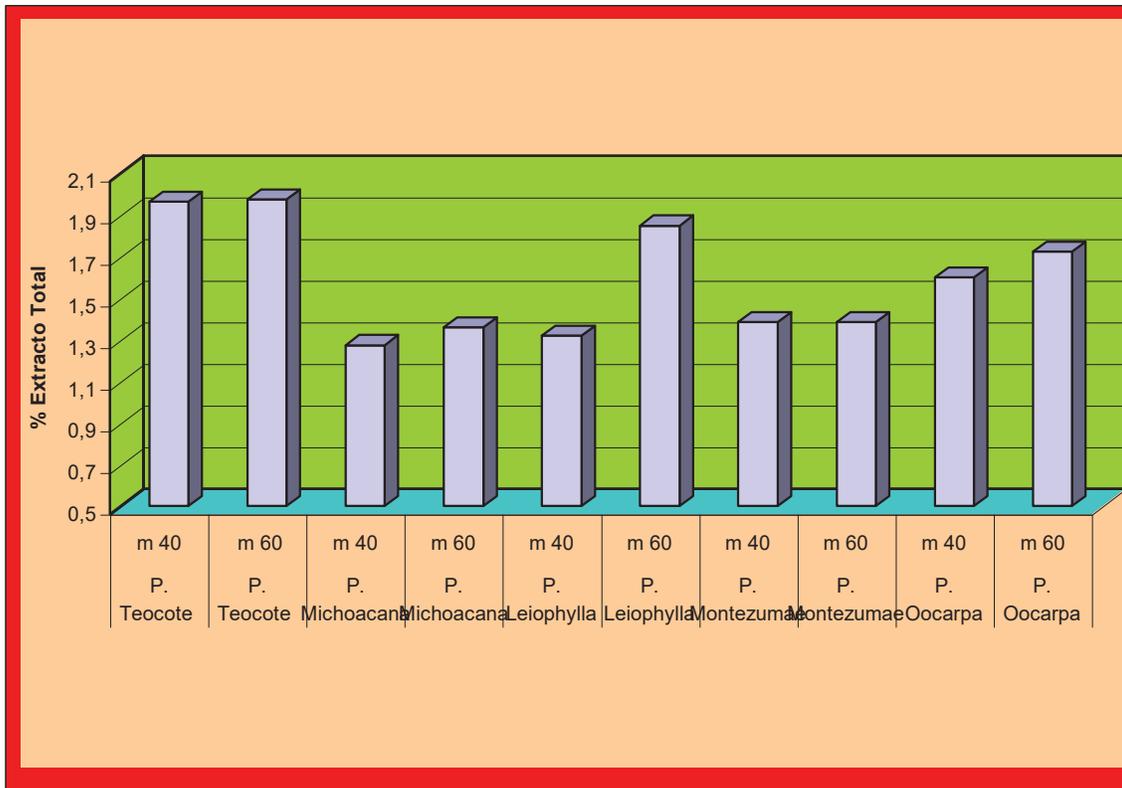


Figura 22. Gráfica de los porcentajes del extracto total para las especies.

6.7.3 No. de Stiasny

Igualmente los valores obtenidos para el No. de Stiasny se despliegan en el cuadro 9 y figura 23, teniendo un rango para malla 40 entre 3.65 y 8.61 %, representando el valor mínimo para *Pinus teocote* y el máximo para *P. michoacana*. La variación que se presentó en malla 60 fue de 3.64 a 8.62 %, el menor fue para *P. teocote* y el mayor para *P. michoacana*.

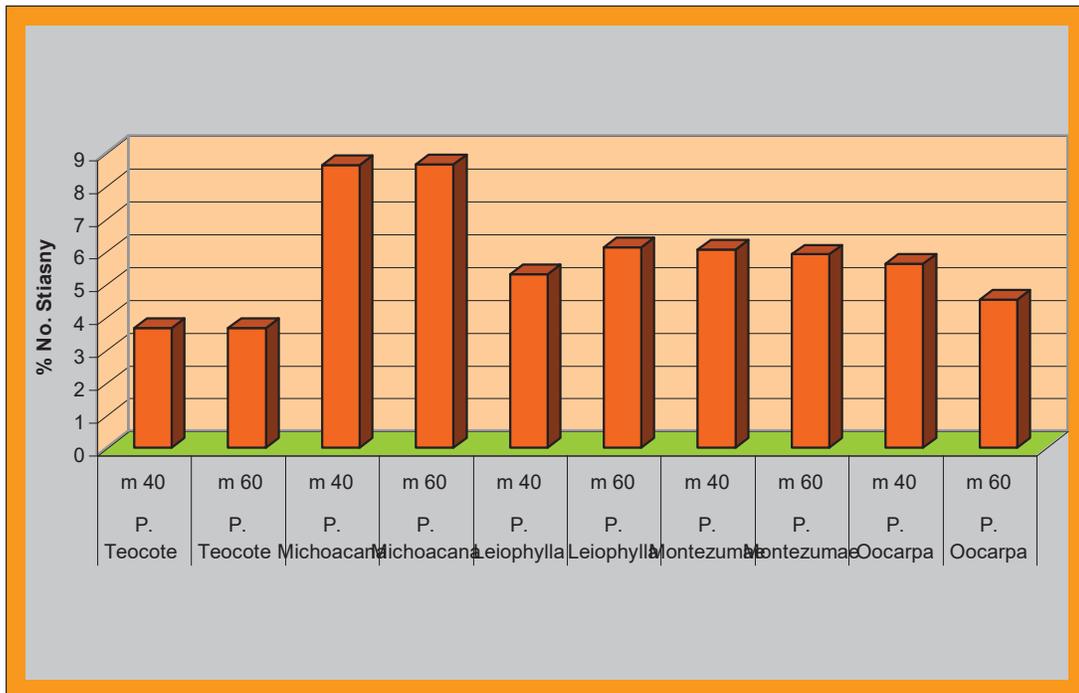


Figura 23. Gráfica de los porcentajes para el No. de Stiasny de las especies.

7. ANÁLISIS Y DISCUSIÓN DE LOS RESULTADOS

7.1 Variabilidad del pH

De acuerdo a los datos expuestos en el cuadro 3 del capítulo de resultados, se reporta un pH de 4.08 para *Pinus leiophylla*, de 4.24 para *P. michoacana*, 4.39 para *P. montezumae*, 4.40 para *P. oocarpa* y de 4.57 para *P. teocote*, donde se observa que no existe variabilidad en cuanto al registro de pH en las especies. En general los datos emanados de este estudio se pueden clasificar como “de débil a moderadamente ácido” (3.3 a 6.4) para maderas de clima templado (Kollmann 1959; Fengel, Wegener 1984).

En la investigación documental se encontraron valores aproximados a los resultados obtenidos en este estudio, para algunas coníferas y en particular para algunos pinos, como se muestra en el cuadro 10, las cuales están consideradas dentro del intervalo de pH localizado en la bibliografía.

Debe tenerse en cuenta que el grado de acidez de la madera está influenciado por la parte del tronco que se va a analizar, la estación, factores climáticos, la cantidad y tipo de extraíbles y por la presencia de grupos ácidos y ácidos libres (Kollmann 1959; Fengel, Wegener 1884).

Cuadro 10. Comparación de los valores de pH en distintas maderas.

N. científico / N. Común	pH	Referencia
<i>P. teocote</i>	5.35	Presente estudio
<i>P. michoacana</i>	4.05	
<i>P. leiophylla</i>	3.85	
<i>P. montezumae</i>	4.45	
<i>P. oocarpa</i>	3.99	
<i>P. pringleii</i>	6.20	Ávila (2006)
<i>P. resinosa</i>	6.00	Fengel, Wegener (1984)
<i>P. sylvestris</i>	5.10	
<i>P. strobus</i>	4.90	
<i>Abies / Abeto Douglas</i>		Kollmann (1959)
(Duramen)	4.22	
(Albura)	5.83	
<i>Abies concolor / Abeto Rojo</i>		
Albura	4.83	
Duramen	5.09	

<i>Abies alba</i> / Pinabete		Rutiaga (2001)
Albura	5.45	
Duramen	5.48	
<i>P. pseudostrobus</i> albura	5.5	
<i>P. pseudostrobus</i> duramen	4-6	

7.2 Cenizas

En la figura 14 del capítulo de resultados se presentan gráficamente los valores para el contenido de sustancias inorgánicas, así como en el cuadro 4, donde se puede observar que la cantidad de sustancias inorgánicas encontradas en las especies no tuvo importante variación, los valores para las especies en este estudio son: *Pinus montezumae* 0.28, *P. teocote* 0.30, *P. oocarpa* 0.32, *P. michoacana* 0.33 y *P. leiphylla* 0.34 %.

En la literatura se reportan numerosos análisis sobre la composición de las sustancias inorgánicas presentes en maderas, pero muy pocos cuando se trata en especial del género *Pinus*, Kollmann (1959) señala, que en promedio el valor de las cenizas de las maderas esta entre (0.2 y 0.6 %), Fengel y Wegener (1984) aportan valores para especies de clima templado con un contenido de cenizas en promedio de (0.1 a 1 %), Rowell (1984) da a conocer el porcentaje de cenizas de más de 20 especies de este género (cuadro 11), se tiene entonces que los resultados obtenidos en esta investigación, están dentro de los parámetros marcados por las investigaciones de los autores en las diferentes literaturas examinadas.

La cantidad de cenizas resultantes de la combustión de la madera es pequeña y varía con las especies y hasta en las distintas partes de un mismo tronco, la estación, la edad, las condiciones de vida, el clima y la época de corta influyen tanto en la cantidad como en la composición de las cenizas. La albura es normalmente más rica en cenizas que el duramen, pero es más elevada para las cortezas, las ramas, y las raíces dan más cenizas que el tronco, Kollmann (1959),

por lo que un análisis y una comparación debe realizarse con ciertas consideraciones y reservas a un entre las mismas especies.

Cuadro 11. Comparación del contenido de sustancias inorgánicas.

N. Científico / N. Común	% Cenizas	Referencia
<i>P. teocote</i>	0.30	Presente estudio
<i>P. michoacana</i>	0.33	
<i>P. leiophylla</i>	0.34	
<i>P. montezumae</i>	0.28	
<i>P. oocarpa</i>	0.32	
<i>P. attenuata</i> Lemm.	0.20	Rowell (1984)
<i>P. banksiana</i> Lam	0.30 (7)	
<i>P. clausa</i>	0.40	
<i>P. contorta</i> Dougl	0.40	
<i>P. echinata</i> Mill	0.40 (2)	
<i>P. elliotii</i> Engelm	0.20 (3)	
<i>P. monticola</i> Dougl. ex D.	0.20 (3)	
<i>P. ponderosa</i> Dougl. ex L	0.50	
<i>P. sabiniana</i> Dougl	0.20 (2)	
<i>P. strobus</i> L.	0.20 (3)	
<i>P. banksiana</i> Lam	0.10	
<i>P. densiflora</i> S. et Z.	0.20	
<i>P. pentaphylla</i> Mayr./G.	0.10	
<i>P. pentaphylla</i> Mayr.H	0.30	
<i>P. pumila</i> (Pallas) Regel	0.20	
<i>P. strobus</i> L.	0.50	
<i>P. thunbergii</i> Parlatore	0.20	
<i>P. insularis</i> Endl	0.30	
<i>P. merkusii</i> Jungh.& Vr.	0.30	
<i>P. armandi</i> Franch	0.80	
<i>P. koraiensis</i> Sieb.	0.20	
<i>P. sibirica</i> Rupr.	0.10	
<i>P. banksiana</i> Lamb	0.20	Fengel, Wegener (1984)
<i>P. nigra</i> Arnol	0.20	
<i>P. radiata</i> D. Don	0.20	
<i>P. strobus</i> L.	0.2 0	
<i>P. pseudostrobus</i> (albura)	0.16	Rutiaga (2001)
<i>P. pseudostrobus</i> (duramen)	0.08	
<i>P. pseudostrobus</i> (albura)	0.05	Cruz (1991)

7.2.1 Análisis cualitativo y cuantitativo de las cenizas

Las trazas de elementos encontrados en las cenizas de las especies de pino, se reportan en el cuadro 5, y se exponen gráficamente en la figura 17, además se muestran imágenes de los elementos en forma de cristales, un mapeo llevado a cabo y una gráfica donde se reúnen los valores de la concentración de los elementos en cada especie (Figuras 15 – 16), en el capítulo de resultados, teniendo que la especie en donde se encontraron más trazas de elementos (Ca, K, O, Mg, Mn, Fe, Al, Si, P y Pb) fue en *P. leiophylla*, en tanto que para *P. montezumae* los elementos encontrados fueron (Ca, K, O, Mg, Si, P y Pb), para *P. teocote* los elementos presentes fueron (Ca, K, O, Mg, Mn, P y Mo), en *P. michoacana* se localizaron elementos como (Ca, K, O, Mg, Mo y Pb), por último para *P. oocarpa* se encontraron los siguientes elementos (Ca, K, O, Mg, P y Pb).

Las sustancias inorgánicas constituyen solamente una parte pequeñísima de la masa anhidra de la madera alrededor del 0.3 %, la función de estas sustancias es hasta ahora poco conocida, estas juegan ciertamente una función importante en la vida del árbol (Espinoza 1996).

Los principales componentes de las cenizas de madera son, calcio (50 %), potasio y magnesio, muchos otros elementos están presentes en la madera en concentraciones menores a 50 ppm, definido como trazas de elementos, (Ba, Al, Fe, Zn, Cu, Ti, Pb, Ni, V, Co, Ag y Mo) detectados en 34 especies de maderas en diferentes concentraciones, entre ellas, *Pinus strobus* y *Pinus* spp. (Fengel, Wegener 1984; Rowell 1984).

Como se puede observar, en el estudio realizado a las cenizas de las especies de pino, los elementos encontrados son igualmente a los reportados por los autores mencionados con anterioridad, tratando de hacer comparaciones, esto resulta difícil, pues no son muchos los estudios llevados a cabo para el género *Pinus*.

Sin embargo los datos obtenidos cualitativamente y cuantitativamente se aproximan a los reportados en la literatura para las especies del género *Pinus*, tal como lo reporta Rutiaga (2001) en el estudio llevado a cabo en *P. pseudostrubus*,

que para el caso de la albura se encontró: Mg, P, S, K, y Ca, para el duramen se identificaron los siguientes elementos: Mg, P, S, K, Ca, Mn y Si.

7.3 Solubilidad a la Sosa

Los porcentajes que se obtuvieron al llevar a cabo la solubilidad a la sosa al 1 % están reportados en el cuadro 6 y expresados gráficamente en la figura 18 en el capítulo de resultados, los valores obtenidos para las especies son: para *Pinus michoacana* 17.87 %, *P. teocote* 21.94 %, *P. montezumae* 22.48 %, *P. oocarpa* 24.46 % y para *P. leiophylla* 25.35 %. De la literatura se obtienen pocos datos para el género *Pinus*, los reportados por Rowell (1984) para diversos pinos a escala mundial teniendo una gran diferenciación de valores. Aunque la mayoría de los datos obtenidos en esta investigación están por encima de los citados en la bibliografía, se ubican dentro de los parámetros ajustados por Rowell (cuadro 12).

Cuadro 12. Comparación del porcentaje de solubilidad en sosa al 1 %.

N.Científico / N. Común	% Solubilidad	Referencia
<i>P. teocote</i>	21.94	Presente estudio
<i>P. michoacana</i>	17.87	
<i>P. leiophylla</i>	25.35	
<i>P. montezumae</i>	22.48	
<i>P. oocarpa</i>	24.46	
<i>P. attenuata</i> Lemm.	11	Rowell (1984)
<i>P. banksiana</i> Lam	13 (27)	
<i>P. clausa</i>	12 (2)	
<i>P. contorta</i> Dougl	12 (2)	
<i>P. echinata</i> Mill	12 (9)	
<i>P. elliotii</i> Engelm	13 (15)	
<i>P. monticola</i> Dougl. ex D.	13 (6)	
<i>P. palustris</i> Mill	12 (7)	
<i>P. ponderosa</i> Dougl.ex L	16 (2)	
<i>P. resinosa</i> Ait.	13	
<i>P. sabiniana</i> Dougl	12 (2)	
<i>P. strobus</i> L.	15 (5)	
<i>P. taeda</i> L.	11 (12)	
<i>P. banksiana</i> Lam	13.	

<i>P. pentaphylla</i> Mayr./G.	19	
<i>P. pumila</i> (Pallas) Regel	23	
<i>P. strobus</i> L.	19	
<i>P. insularis</i> Endl	14	
<i>P. merkusii</i> Jungh.& Vr.	17	
<i>P. armandi</i> Franch	19	
<i>P. luchuensis</i> Mayr	17	
<i>P. palustris</i> Mill/Pitch		
Altamente resinosa	36	
Escasamente resinosa	15	

7.4 Extraíbles

Para un mejor análisis en cuanto a las extracciones sucesivas con solventes los resultados se presentan en el cuadro 7, así como gráficamente se muestran en la figura 19, en la que se tiene que la solubilidad mayor se obtuvo en agua caliente, seguida de acetona, ciclohexano y por último metanol.

En lo que a solubilidad en agua caliente se refiere las especies con mayor porcentaje fueron: *Pinus leiophylla* 2.93 % y *P. teocote* 2.78 %.

Las especies con más alta solubilidad en acetona son: *P. teocote* 2.07 % y *P. michoacana* 2.07 %.

Se hace referencia al ciclohexano en el que las solubilidades máximas fueron alcanzadas por especies de: *P. leiophylla* 1.90 % y *P. montezumae* 1.80 %.

Respecto a la solubilidad en metanol los porcentajes mayores fueron obtenidos por las especies de: *P. oocarpa* 1.86 % y *P. montezumae* 1.72 %.

El método de extracción sucesiva con solventes de polaridad creciente llevado a cabo en esta investigación, 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 de las sustancias extraíbles que componen la madera; en los rendimientos respectivos de esos extraíbles se refleja el carácter pertinente de los solventes utilizados, pero debe señalarse claramente que una separación exacta y fina es difícil de lograr (Téllez 2004; Aguilar 2006). Además no son fáciles de efectuar comparaciones con valores reportados en la

literatura (cuadro 13 - 14), pues la toma de muestras no sigue una misma norma o técnica y las extracciones se realizan con diferentes solventes y métodos, ciclohexano, acetona, metanol, agua caliente, etanol-benceno, éter y alcohol (Rowell 1984; Fengel, Wegener 1984).

Las variaciones que existen en el contenido de extraíbles presentes en la madera, se deben a la altura del árbol, médula, duramen y albura, factores ambientales y genéticos, edad del árbol, clima cantidad de agua suministrada, nutrientes disponibles y época de la corta (Ramos 2003; Aguilar 2006).

Cuadro 13. Comparación de extracciones con diferentes solventes.

Especie	Ciclohexano	Acetona	Metanol	Agua Caliente	Referencia
<i>P. teocote</i>	1,64	2,07	1,66	2,78	Presente estudio
<i>P. michoacana</i>	1,70	2,07	1,59	2,71	
<i>P. leiophylla</i>	1,90	1,66	1,70	2,93	
<i>P. montezumae</i>	1,80	1,64	1,72	2,45	
<i>P. oocarpa</i>	1,58	2,06	1,86	2,52	

Cuadro 14. Comparación de extracciones con diferentes solventes.

N. Científico / N. C.	Agua Caliente	Etanol Benceno	Ether	Alcohol	Referencia
<i>P. attenuata</i> Lemm.	3	1			Rowell (1984)
<i>P. banksiana</i> Lam	3 (26)	5 (27)	3 (26)		
<i>P. clausa</i>	2 (2)	3 (3)	1		
<i>P. contorta</i> Dougl	2 (2)	3 (2)	1		
<i>P. echinata</i> Mill	2 (9)	4 (9)	2.9 (9)		
<i>P. elliotii</i> Engelm	13 (15)	4 (15)	3.3 (15)		
<i>P. monticola</i> Dougl. ex D.	4 (6)	4 (6)	2.3 (6)		
<i>P. palustris</i> Mill	3 (5)	4 (7)	1.4 (7)		
<i>P. ponderosa</i> Dougl.ex L	4 (2)	5 (2)	5.5 (2)		
<i>P. resinosa</i> Ait.	4	4	2.5		
<i>P. sabiniana</i> Dougl	3 (2)	1 (2)			
<i>P. strobus</i> L.	4 (5)	6 (5)	3.2 (5)		
<i>P. taeda</i> L.	2 (12)	3 (15)	2 (12)		
<i>P. banksiana</i> Lam	2	1			
<i>P. densiflora</i> S. et Z.	4	3			

<i>P. pentaphylla</i> Mayr./G.	6	8			
<i>P. pentaphylla</i> Mayr.H	3	8			
<i>P. pumila</i> (Pallas) Regel	9	12			
<i>P. strobus</i> L.	4	7			
<i>P. thunbergii</i> Parlatore	3	3			
<i>P. insularis</i> Endl	2	2			
<i>P. merkusii</i> Jungh.& Vr.	2	4			
<i>P. armandi</i> Franch	5	7			
<i>P. luchuensis</i> Mayr	6	3			
<i>P. koraiensis</i> Sieb.	8		6.7	3	
<i>P. sibirica</i> Rupr.	2		2.4	3	
<i>P. sylvestris</i> L.	1		1.6	1	
<i>P. palustris</i> Mill/Pitch					
Altamente resinosa	3	24			
Escasamente resinosa	4	2			
<i>P. banksiana</i> Lamb	2.4	0.5			Fengel, Wegener (1984)
<i>P. radiata</i> D. Don	.0.2	1.5			
<i>P. strobus</i> L.	0.2	7.7			
<i>P. strobus</i> L.	4.1	6.6			
<i>P. strobus</i> (albura)	1.2		0.7		Rutiaga (2001)
<i>P. strobus</i> (duramen)	1.5		2.8		
<i>P. pseudostrobus</i> (albura)			2.2		Cruz (1991)

() Valor que difiere al obtenido mediante la misma técnica en la misma especie.

7.5 Holocelulosa

Los resultados para los porcentajes de holocelulosa se presenta en el cuadro 8 y se desarrollan gráficamente en la figura 20, donde se muestra que la cantidad de holocelulosa presente en las especies fue para *Pinus oocarpa* 74.15 %, *P. michoacana* 72.96 %, *P. teocote* 71.54%, *P. leiophylla* 69.16 % y para *P. montezumae* 68.14 %. Los datos obtenidos de la literatura establecen parámetros que van de 44 a 71 % de contenido de holocelulosa para la madera del género *Pinus* (Rowell 1984), quien los recopila y fundamenta para especies a nivel internacional, ajustándose los datos obtenidos de este estudio al parámetro indicado. Otra variación es la que señalan Fengel y Wegener (1984) que va del 70 al 74 % para el género *Pinus*, en la que también los valores obtenidos bajo esta investigación se incorporan al intervalo señalado (cuadro 15). Se tuvo cuidado al comparar valores entre países y regiones, por que los métodos y las técnicas

cambian, además de tener en cuenta la variabilidad de la composición química de la madera (Rowell 1984).

Cuadro 15. Comparación y análisis del contenido de holocelulosa.

N. Cinetifico / N.C	Holocelulosa	Referencia
<i>P. teocote</i>	71.54	Presente estudio
<i>P. michoacana</i>	72.96	
<i>P. leiophylla</i>	69.16	
<i>P. montezumae</i>	68.14	
<i>P. oocarpa</i>	74.15	
<i>P. banksiana</i> Lamb	72.30	Fengel y Wegener (1984)
<i>P. banksiana</i> Lamb	74.80	
<i>P. strobus</i> L.	70.60	
<i>P. sylvestris</i>	74.30	
<i>P. banksiana</i> Lam	66 (6)	Rowell (1984)
<i>P. contorta</i> Dougl	68 (11)	
<i>P. echinata</i> Mill	69.00	
<i>P. resinosa</i> Ait.	71.00	
<i>P. strobus</i> L.	68 (4)	
<i>P. taeda</i> L.	68	
<i>P. banksiana</i> Lam	71	
<i>P. densiflora</i> S. et Z.	67	
<i>P. pentaphylla</i> Mayr./G.	71	
<i>P. pentaphylla</i> Mayr.H	68	
<i>P. pumila</i> (Pallas) Regel	63	
<i>P. strobus</i> L.	71	
<i>P. thunbergii</i> Parlatore	63	
<i>P. insularis</i> Endl	66	
<i>P. merkusii</i> Jungh.& Vr.	65	
<i>P. armandi</i> Franch	54	
<i>P. luchuensis</i> Mayr	49	
<i>P. koraiensis</i> Sieb.	44	
<i>P. sibirica</i> Rupr.	53	
<i>P. sylvestris</i> L.	54	

() Valor que difiere al obtenido mediante la misma técnica en la misma especie

7.6 Lignina

La cantidad de lignina presente en las especies se puede apreciar en el cuadro 8, así como también se puede observar gráficamente en la figura 20 del capítulo de resultados, el porcentaje de lignina contenida en la madera, para *Pinus leiophylla* fue de 28.545 %, *P. teocote* 25.31 %, *P. michoacana* 25.03 %, *P. oocarpa* 24.66 y para *P. montezumae* 24.01 %. Estableciéndose un parámetro similar entre los valores de las especies analizadas en esta investigación.

Datos ubicados en la literatura reportan valores que oscilan entre 26 y 28 % (Kollmann 1959), 10.2 a 29.8 % (Fengel, Wegener, 1984) y 21 a 33 % (Rowell 1984), todos ellos para coníferas y específicamente para el género *Pinus*, como se puede verificar en el cuadro 16, relacionándose los valores obtenidos para el contenido de holocelulosa en este estudio con los parámetros reportados o establecidos por los autores antes citados en sus investigaciones. De igual manera no resulta fácil realizar una comparación y un análisis, puesto que los valores señalados en el cuadro 16, se obtuvieron por medio de diferentes, técnicas y métodos, además de que las especies citadas por (Kollmann 1959; Fengel y Wegener 1984; y Rowell 1984) con las que se hizo la comparación fueron recolectadas en el ámbito mundial.

Cuadro 16. Análisis y comparación del porcentaje de Lignina.

N. Científico / N C.	Lignina	Referencia
<i>P. teocote</i>	25.31	Presente estudio
<i>P. michoacana</i>	25.03	
<i>P. leiophylla</i>	28.54	
<i>P. montezumae</i>	24.01	
<i>P. oocarpa</i>	24.66	
<i>P. banksiana</i> Lamb	28.60	Fengel y Wegener (1984)
<i>P. banksiana</i> Lamb	29.80	
<i>P. nigra</i> Arnol	27.20	
<i>P. radiata</i> D. Don	26.80	
<i>P. strobus</i> L.	10.20	
<i>P. strobus</i> L.	27.60	
<i>P. sylvestris</i>	26.30	

<i>P. attenuata</i> Lemm.	27.00	
<i>P. banksiana</i> Lam	27(27)	
<i>P. clausa</i>	27 (4)	
<i>P. contorta</i> Dougl	27 (4)	
<i>P. echinata</i> Mill	28 (9)	
<i>P. elliotii</i> Engelm	27 (15)	
<i>P. monticola</i> Dougl. ex D.	25 (7)	
<i>P. palustris</i> Mill	30 (6)	
<i>P. ponderosa</i> Dougl.ex L	26 (2)	
<i>P. resinosa</i> Ait.	26	
<i>P. sabiniana</i> Dougl	27 (2)	
<i>P. strobus</i> L.	27 (5)	
<i>P. taeda</i> L.	27 (14)	
<i>P. banksiana</i> Lam	28	
<i>P. densiflora</i> S. et Z.	27	Rowell (1984)
<i>P. pentaphylla</i> Mayr./G.	26	
<i>P. pentaphylla</i> Mayr.H	27	
<i>P. pumila</i> (Pallas) Regel	26	
<i>P. strobus</i> L.	28	
<i>P. thunbergii</i> Parlatore	26	
<i>P. insularis</i> Endl	30	
<i>P. merkusii</i> Jungh.& Vr.	28	
<i>P. armandi</i> Franch	33	
<i>P. luchuensis</i> Mayr	28	
<i>P. koraiensis</i> Sieb.	26	
<i>P. sibirica</i> Rupr.	30	
<i>P. sylvestris</i> L.	28	
<i>P. palustris</i> Mill/Pitch		
Altamente resinosa	21	
Escasamente resinosa	30	
<i>Picea excelsa</i>	28.29	Kollmann (1959)
<i>Pinus sylvestris</i>	26.35	
<i>P. pseudostrobus</i> (albura)	26.6	Rutiaga (2001)
<i>P. pseudostrobus</i> (duramen)	27.6	
<i>P. pseudostrubus</i> (albura)	29.2 – 30.3	Cruz (1991)

7.7 Taninos

Para la determinación del contenido de taninos las condiciones óptimas de extracción que se utilizaron fueron, relación sólido líquido (1/15), temperatura 87° C, tiempo 120 minutos, el tamaño de la partícula se tomó como el número de malla de la harina, que en este caso se utilizó malla 40 y 60 (Pedraza 2006).

7.7.1 Contenido de taninos

La cantidad o porcentaje de taninos presentes en las especies se puede observar en el cuadro 9 y gráficamente en la figura 21, donde se especifica los valores por especie y número de malla.

Se puede analizar que el No. de malla 60 fue el mejor rendimiento para las especies *Pinus michoacana* 0.1173 %, *P. leiophylla* 0.1116 %, *P. teocote* 0.0719 % y en comparación con el No. de malla 40, a excepción de *P. montezumae* % y *P. oocarpa* que dieron rendimientos más bajos en malla 60 y mas altos en malla 40.

Datos recopilados en la literatura sólo refieren sus investigaciones a la extracción de taninos a especies tropicales o latifoliadas así como en sus cortezas, esto por la alta concentración de taninos (Fengel, Wegener 1984).

En referencia a la extracción de taninos en coníferas y particularmente en el género *Pinus*, son pocos los estudios realizados en este aspecto, sólo se reportan datos en la bibliografía que informan sobre investigaciones en cortezas de pinos, en los que se proporcionan los siguientes parámetros: 4 a 8, y 13 a 25 % (Kollmann 1959), para la corteza del *Pinus oocarpa* hasta 4.93 % Frayre (1986), 7 a 13 % en *Pinus* sp Romahn de la Vega (1992) y Rosales y González (2003) quienes precisan intervalos que oscilan entre 3.25 y 16.28 %, y de 1 a 7.32 % en solución etanólica. Como se puede observar estos porcentajes se encuentran por encima de los obtenidos en la investigación, esto debido a que en la corteza existe

un alto contenido de extraíbles en comparación con la madera (Fengel, Wegener 1984).

En la literatura sólo se encontraron los estudios realizados por Kollmann (1959) sobre el contenido de taninos específicamente en la madera, en el que señala que el porcentaje en promedio es de 0.1 %, algunos de los datos obtenidos en este estudio se ubican del por encima del intervalo y otros más son inferiores a este.

7.7.2 Extracto total

En el cuadro 9 se pueden observar los valores para el extracto total, además en la figura 22 se pueden apreciar gráficamente los porcentajes, se detalla que el mejor rendimiento de las especies para este caso fue el que se llevo acabo con muestra de malla 60, para *Pinus teocote*, respecto a la muestra con malla No. 40. Así mismo en la literatura consultada solo se encontró información basada en especies latifoliadas y específicamente para el genero *Pinus* en cortezas como los estudios realizados por Rosales y González (2003) quienes puntualizan valores que oscilan entre 6.66 a 19.39 % en solución etanólica y en solución acuosa valores de 2.23 a 10.60 %.

Es complejo llevar acabo una comparación en cuanto a porcentajes de extractos totales, puesto que los valores derivados de esta investigación se hicieron con madera de especies *Pinus* y los resultados citados en la literatura hacen referencia a valores emanados en investigaciones efectuadas con muestras de cortezas, aun cuando son del mismo género *Pinus*, son amplias las diferencias.

7.7.3 No. de Stiasny

Los porcentajes para este proceso fueron muy variables, obteniendo los mejores rendimientos las especies *Pinus michoacana* 8.62 % y *P. leiophylla* 6.10 % para malla 60, se procedio con la comparación de acuerdo al No. de malla se observa

que el No. de malla 40 fue la que domina en cuanto a rendimiento entre las especies. (Cuadro 9 y Fig. 23)

Reportes de la literatura señalan datos para maderas y concretamente para cortezas de especies tropicales o latifoliadas con intervalos de 16.40 a 79.20 % (Téllez 2004; Colin 2005; Pedraza 2006), que suelen ser superiores a los que se obtienen en investigaciones en maderas tropicales y por consiguiente mucho mayores a los realizados en cortezas y maderas de especies de clima templado.

Para el género *Pinus* existen datos sobre No. de Stiasny realizados a cortezas, tales como los llevados a cabo por (Rosales y González 2003), quienes determinaron el No. de Stiasny para ocho cortezas del género *Pinus*, estableciendo un intervalo que va del 49 al 85 % en solución etanólica y de 30 a 80 % en solución acuosa, quedando en evidencia que estos valores son superiores a los que se tuvieron en este estudio, esto por el hecho de que los análisis llevados a cabo por Rosales se hicieron en cortezas de pino.

7.8 Posibilidades de aprovechamiento en la industria de la pulpa y papel.

Finalmente en el cuadro 17 se resumen los resultados de los análisis químicos llevados a cabo en las especies de pino estudiadas. Los estudios básicos sobre la composición química de la madera, pueden dar una pauta para sugerir posibles usos de la madera, por ejemplo en la obtención de pulpa celulósica química; en este sentido, con los resultados aquí obtenidos, se puede mencionar que la especie más propia para el fin indicado es la que presentó mayor cantidad de holocelulosa (74.15 %) y menor cantidad de lignina (24.66 %), extraíbles (8.03 %) y un pH bajo (4.40), tomando en cuenta lo anterior la especie más adecuada para obtención de pulpa sería, *P. oocarpa*.

Ahora bien, existen indicadores que toman en cuenta la morfología de las traqueidas para sugerir que una materia prima puede ser o no óptima para papel; en este ámbito, Ochoa (2003) determinó los índices de calidad de pulpa para

papel, en un grupo de maderas, entre ellas las cinco especies de pino aquí estudiadas (Anexo B), estos índices de clasificación también aparecen en el cuadro 17, y la clasificación denominada “*excelente*” para papel coincide para la especie de *P. oocarpa*.

Cuadro 17. Clasificación de las especies para pulpa y papel (Ochoa 2003).

Especie	pH	% Total Extraíbles	% Lignina	% Holocelulosa	Clasificación para papel
<i>P. teocote</i> Schl et Cham	4.57	8.16	25.31	71.54	Muy Buena
<i>P. michoacana</i> var. <i>cornuta</i>	4.24	8.08	25.03	72.96	Muy Buena
<i>P. leiophylla</i> Schl et Cham	4.08	8.21	28.54	69.16	Buena
<i>P. montezumae</i> Lamb	4.39	7.61	24.01	68.14	Muy Buena
<i>P. oocarpa</i> Schiede	4.40	8.03	24.66	74.15	Excelente

En orden descendente, para un aprovechamiento en la industria del papel, le suceden al *Pinus oocarpa*; el *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. teocote*, *P. montezumae* y *P. leiophylla*. Tomando como parámetro principal la clasificación para papel, seguido de % de holocelulosa, % de lignina, % de extraíbles y el pH.

8. CONCLUSIONES

Al determinar la composición química de la madera de las cinco especies del genero *Pinus* del Municipio de Morelia Michoacán, se obtuvieron las siguientes conclusiones.

1. Los valores de pH en las especies estudiadas de acuerdo a los valores derivados se catalogan como ligeramente ácidos.
2. La especie con mayor pH resultó ser *P. teocote* con un promedio de 4.57 y la menor fue *P. leiophylla* con un promedio de 4.08.
3. La especie que presentó mayor cantidad de cenizas fue *P. leiophylla* (0.34 %) y en la que se obtuvo la menor cantidad fue *P. montezumae* (0.28 %) encontrándose los valores de las especies muy similares unas a otras.
4. Los elementos encontrados en el análisis cualitativo de las sustancias inorgánicas de las especies fueron los siguientes: Ca, K, O, Mg, Mn, Fe, Al, Si, P, Mo y Pb.
5. En cuanto al análisis cuantitativo se tiene en general un parámetro de trazas de los elementos que va de 0.05% a 8.96 %
6. La especie *P. leiophylla* (25.35 %) fue la que obtuvo mejor rendimiento en cuanto a solubilidad en NaOH al 1%, en tanto que *Pinus michoacana* (17.87%) fue la de solubilidad más baja.
7. De las especies estudiadas la que presentó en mayor cantidad de extraíbles fue *P. leiophylla* (8.21%) y la menor concentración se presentó en *P. montezumae* (7.61 %).
8. En base a la secuencia de los solventes utilizados la mayor proporción de extraíbles se obtuvo en agua caliente, después con acetona, seguida por ciclohexano y por último metanol con ligeras variantes en las especies.
9. En *P. leiophylla* se encontró que existe mayor solubilidad en agua caliente, en comparación con las otras especies.
10. Para el contenido de holocelulosa la especie con mayor rendimiento fue *P. oocarpa* (74.15 %) y la de más bajo contenido fue *P. montezumae*

(68.14%), encontrando resultados similares a los comúnmente localizados en maderas del género *Pinus*.

11. Se encontró que para *P. leiophylla* prevalece mayor cantidad de lignina (28.54 %) en tanto que para *P. montezumae* se estableció la menor concentración de lignina (24.01 %).
12. La evaluación para el contenido de taninos arrojó valores, en los cuales se determinó que el No. de malla que mejor rendimiento proporcionó fue la 60, y en la especie que mayor valor registró fue en *P. michoacana* (0.11 %).
13. El número de malla que mejor rendimiento mostró para la obtención de extractos totales de las especies en esta investigación fue la 60, para *Pinus teocote* (1.97%).
14. Para el No. de Stiasny la especie que tuvo el más alto porcentaje fue *Pinus michoacana* (8.62 %), siendo el número de malla 60 el que mejor rendimiento obtuvo entre las especies en estudio.
15. De acuerdo a los resultados obtenidos y a la clasificación de calidad de la pulpa, se tiene que la especie ideal para la producción de papel es *P. oocarpa*, seguida de las especies *P. michoacana* var. *cornuta*, *P. teocote*, *P. montezumae* y al final *P. leiophylla*.

9. RECOMENDACIONES

- ▣ Se recomienda efectuar estudios cromatográficos de los extractos obtenidos con los diversos solventes utilizados e identificar los posibles compuestos presentes en cada una de las especies, pero en particular en *Pinus leiophylla* por su alto contenido de extraíbles.

- ▣ Se propone llevar a cabo un análisis de calorimetría en la madera de estas especies.

- ▣ Se sugiere llevar a cabo un estudio para determinar el contenido de azúcares, presentes en estas especies.

- ▣ Se sugiere llevar a cabo estudios totales sobre las cortezas de las especies estudiadas, debido a que podrían ser una fuente de taninos.

- ▣ Se sugiere implementar programas de propagación o plantaciones comerciales, en aquellas especies con alto porcentaje de holocelulosa y de calidad de pulpa excelente en plantaciones comerciales, destinadas a la obtención de pulpa para papel.

- ▣ Se recomienda se realice a todas las especies, el estudio de pulpeo correspondiente.

- ▣ Se exhorta planear estrategias de manejo que permitan para las especies estudiadas llevar a cabo una utilización de manera integral, racional y adecuada.

- ▣ Se sugiere realizar un estudio tecnológico integral a las especies del género *Pinus* del municipio de Morelia, que no se incluyeron en esta investigación, así como a las del estado de Michoacán y a nivel nacional.

10. REFERENCIAS

Acevedo Sánchez B, Ambriz Parra J E (1999) Efecto del muérdago (*Psittacanthus macrantherus* Eichl) en las propiedades físico-mecánicas de la madera de *Pinus pringlei* Shaw. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.

Albarrán Alvarado D (2004) Biopulpeo Kraft de pino y encino con hongos de pudrición blanca. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. p

Ambríz Parra J E, Guridi Gómez L I, Martínez Sánchez I G, Ochoa Álvarez M T (2002) Anatomía de la madera e índices de calidad de pulpa de dos variedades de pino lacio (*Pinus michoacana* var. *michoacana* Martínez y *Pinus michoacana* var. *cornuta* Martínez) de un bosque de pino-encino del Municipio de Morelia, Michoacán, México. Ciencia y Tecnología de la Madera. 2 (7): 2-16.

Aguilar Romero R (2006) Caracterización química básica de cinco especies (*Agarista mexicana*, *Arbutus glandulosa*, *Arbutus xalapensis*, *Celthra macrophylla* y *Persea americana*) Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 38p.

Álvarez Moreno R (1987) Anatomía y secado de la Madera en árboles resinados y no resinados de *Pinus martinezzi* Larsen del Municipio de Morelia, Michoacán. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán. Morelia, México. 61p.

Ávila Calderón L E A (2000) Tratamiento con extraíbles de madera como medida de control de la variación dimensional. Ciencia y Tecnología de la Madera. 2(6): 21-30

Ávila Calderón LEA (2005) Efecto del muérdago (*Psittacanthus macrantherus*) en la composición química de la madera de *Pinus pringlei* Shaw. Resúmenes del Taller para el Desarrollo Forestal Sostenible (DEFORS) 2005. Instituto de Investigaciones Forestales Cuba. La Habana, Cuba. 70-71.

Ávila Calderón L E A, Pedraza Bucio F E, Sedano Mendoza M (2006) Acidez en maderas y cortezas michoacanas. Memorias Técnicas del 2º Foro Académico Nacional de Ingenierías y Arquitectura 2006. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo pp. 345-350.

Benítez Ramos R, Romero Jiménez R R (1985) Resistencia al fuego de elementos estructurales de madera de pino, usados en la construcción. Tesis Profesional.

Escuela de Ingenieros en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 106p.

Berg Gebert A K (1997) Desarrollo de resinas adhesivas de una nueva generación a partir de extractos de Pino radiata. Universidad de Concepción. [Internet]. Disponible en: <http://www.fondef.cl/bases/fonde/PROYECTO/97>. Fecha de Acceso: 16 de enero de 2004.

Bucio Sánchez Y (1982) Determinación de la variación de las traqueidas de *Pinus douglasina*. Bol. Tec. Inst. Nal. Invest. For. No. 37. México. 30p.

Colin Urieta S (2005) Determinación experimental de las condiciones óptimas de extracción de taninos a partir de dos cortezas (*Erythroxylon compactum* Rose y *Senna skinneri* (Benth) Irwin & Berneby). Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 96p.

COFOM (Comisión Forestal del Estado de Michoacán) (2007) Características físicas y biológicas. [Internet]. Disponible en: <http://Comisión Forestal del Estado de Michoacán.htm>. Fecha de acceso: 19 de mayo de 2007.

Cruz de Leon (1991) Untersuchung des technologischen Gebrauchswertes der mexikanische Kiefernart *P. pseudostrobus* Lindley. Dissertation, Forstliche Fakultät der Universität Göttingen.

De La Paz Pérez Olvera C, Olvera Coronel P (1981) Anatomía de la Madera de 16 especies de Coníferas. Bol. Téc. Inst. Nal. Invest. For. No. 69. México. 111p.

Eguiluz P T (1988) Distribución natural de los pinos en México. Chapingo. México.

Espinoza Herrera R (1996) Aspectos químicos de la madera de *Abies religiosa* var típica (oyamel) Ciencia y Tecnología No 10. Revista de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán. México. pp 12-17

Fengel D, Wenger G (1984) Wood Chemistry, ultrstructure, reactions. Walter de Gruyter Ed. Berlín. New York.

Frayre Villa S (1986) Obtención y cuantificación de taninos de la corteza de dos especies de encino del estado de Durango. Tesis Profesional. Centro de Bachillerato Tecnológico Industrial y de Servicios No 130. Durango, Dgo. pp 26

Fuentes Salinas M (1987) Efecto de la digestión en los índices de calidad de pulpa para papel, de la madera de *Pinus montezumae*. Lamb. Tesis profesional.

Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán. Morelia, México. p. 73.

García Corrales H, Acosta Morejón I, Cuesta Mola I, Gelabert Ayón F (2005) Influencia del solvente y el método de extracción en la extracción de carotenos en el follaje de *Pinus caribaea morelet var caribaea* barret y golfari. Taller por el Desarrollo Forestal Sustentable. (Memorias en extenso) Instituto de Investigaciones Forestales. La Habana, Cuba. [CD-ROM Multimedia]

Guridi Gómez L I (1990) Anatomía de la madera II (identificación de las maderas de coníferas) edición libre. Morelia, Michoacán, México. 90p.

Herrera Ferreyra M A (1992) Características físico-mecánicas de la madera de 15 especies del municipio de Morelia. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, México.

Huerta Crespo J (1963) Anatomía de 12 especies de Coníferas Mexicanas. Boletín técnico No. 3 mayo de 1963. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Subsecretaría de Recursos Forestales y de Caza. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales. México. 51p.

INEGI (Instituto Nacional de Estadística Geografía e Informática) (2005) Formaciones vegetales en México 2005. [Internet]. Disponible en: < <http://www.inegi.gob.mx>>. Fecha de acceso: 25 de Abril de 2008.

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

Larios Sarabia J (2005) Comparación de técnicas de extracción de ADN en *Pinus teocote* schiede ex schlechtendal. Tesis profesional. División de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Chapingo. Texcoco Estado de México. 72p. [CD-ROM Multimedia]

Madrigal Sánchez X (1982) Claves de Identificación de las Coníferas Silvestres del Estado de Michoacán. Boletín Divulgativo No. 58. México, DF. 100p.

Madrigal Sánchez X, Guridi Gómez L I (1990) Los Árboles del Municipio de Morelia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán. México. (Inédito).

Madrigal Sánchez X, Guridi Gómez L I, (1997) Las coníferas de municipio de Morelia, Mich. México. VI Encuentro Universitario de Investigación Científica, Tecnológica y Humanística. Morelia, Michoacán, México. Cartel.

Mancera Viguera O (1956) Contribución al Conocimiento de la Anatomía Microscópica de algunas especies de Pinos Mexicanos. Secretaría de Agricultura y Ganadería. Instituto de Investigaciones Forestales. México. 79p.

Martínez M (1992) Los pinos mexicanos. 3ª edición, Ediciones BOTAS. México. 340p.

Martínez Sánchez I G (1999) Características anatómicas, macroscópicas de la madera de 11 especies de género *Pinus* del Municipio de Morelia, Michoacán, México. Tesis Profesional. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 49p.

Ochoa Álvarez M T (2003) Características anatómicas mesurables e índices de calidad de pulpa de la madera de 11 especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. Tesis profesional. Facultad de Ingeniería en tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de san Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 54p.

Olvera Coronel P (1981) Anatomía de la Madera de 7 especies del género *Pinus*. Boletín técnico No. 71. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México. 11p.

Olvera Coronel P (1985) Características Anatómicas de 7 especies del género *Pinus*. Boletín técnico No.126. Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, México. 73p.

Pedraza Bucio F E (2006) Composición química de la corteza de cuatro especies de eucalipto y evaluación de las propiedades de sus extractos tánicos. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacán de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 136p.

Ramos Pantaleón D (2003) Aislamiento y fraccionación de sustancias extraíbles de la madera de *Enterolobium cyclocapum* (Jacq) Griseb. Tesis de Maestría. Facultad e Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 102p.

Romahn de la Vega C F (1992) Principales productos no maderables de México. Universidad Autónoma de Chapingo. Pp 3001

Romero Hinojosa J A (1986) Estudio tecnológico de *Pinus douglasiana* y *Pinus leiophylla* para proponer usos racionales. Tesis profesional. Escuela de Ingenieros en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia Michoacán, México. 55p.

Rosales Castro M, González Laredo L (2003) Comparación del contenido de compuestos fenólicos en la corteza de ocho especies de pinos. *Madera y Bosque*. Durango Dgo. México. 9(2): 41-49.

Rosales Castro M, Pérez López M E, Ponce Rodríguez M C (2004) Propiedades antibacterianas y bloqueadoras de radicales libres de los polifenoles de corteza de pino. Congreso Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. (Memorias en extenso) Pachuca, Hidalgo. México. [CD-ROM Multimedia].

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

Rubial Brunet I J (2005) Inhibición de la replicación del Virus de Inmunodeficiencia Humana por extractos de taninos de *Pinus caribaea* morelet. Taller por el Desarrollo Forestal Sustentable. (Memorias en extenso) Laboratorio de Investigaciones del SIDA. La Habana, Cuba. [CD-ROM Multimedia]

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

Rutiaga Quiñones J G (2001) *Chemische und biologische Untersuchungen zum Verhalten dauerhafter Holzarten und ihrer Extrakte gegenüber holzabbauenden Pilzen*. Buchverlag.

Sánchez Ramos D, Cruz de Leon J (2004) Impregnación de polines de pino de 4"x4"x 8' con sales CCA con los métodos Bethell y Lowry. Congreso Mexicano de Productos Forestales. (Memorias en extenso) Pachuca, Hidalgo, México. [CD-ROM Multimedia]

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

Standley PC (1926) *Trees and shrubs of México*. Vol. II Smithsonian Press. Washington, D. C.

TAPPI (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) DC. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán México. 93p.

Tzompantzin Reyes M T (2004) Evaluación de *Pinus leiophylla* Schl. et Cham tratada con sales CCA-C en el método de célula llena. Tesis de maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. p

Weissmann 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.

11. ANEXOS

ANEXO A.

RECOPIACIÓN DE VALORES PARA LA COMPOSICIÓN QUÍMICA DE ALGUNOS PINOS

Cuadro 18. Análisis químico para maderas del género *Pinus*. (Fengel, Wegener 1984)

Análisis y composición química de maderas						
Nombre científico	Holocelulosa	Celulosa	Lignina	Etanol-Benceno	Agua Caliente	Cenizas
<i>P. banksiana</i> Lamb	72.3	41.6	28.6			0.2
	74.8	41.1	29.8	0.5	2.4	0.1
<i>P. nigra</i> Arnol		49.5	27.2			0.2
<i>P. radiata</i> D. Don		45.5	26.8	1.5		0.2
<i>P. strobus</i> L.		61.6	10.2	7.7	7.7	0.2
	70.6	41.4	27.6	6.6	4.1	0.5
<i>P. sylvestris</i>	74.3	52.2	26.3			

Cuadro 19. Composición química de las maderas del género *Pinus*. (Rowell 1984)

Composición química de maderas de pino							
Nombre científico	Carbohidratos		Solubilidad				Cenizas
	Holocelulosos	Lignina Klason	1% de NaOH	Agua Caliente	Alcohol-Benceno	Éter	
Especies de pino situadas en Estados Unidos de America							
<i>P. attenuata</i> Lemm		27	11	3	1		0.2
<i>P. banksiana</i> Lam	66 (6)	27(27)	13 (27)	3 (26)	5 (27)	3 (26)	0.3 (7)
<i>P. clausa</i>		27 (4)	12 (2)	2 (2)	3 (3)	1	0.4
<i>P. contorta</i> Dougl	68 (11)	27 (4)	12 (2)	2 (2)	3 (2)	1	0.4
<i>P. echinata</i> Mill	69	28 (9)	12 (9)	2 (9)	4 (9)	2.9 (9)	0.4 (2)
<i>P. elliotii</i> Engelm	64 (3)	27 (15)	13 (15)	13 (15)	4 (15)	3.3 (15)	0.2 (3)
<i>P. monticola</i> Dougl. ex D.	69 (39)	25 (7)	13 (6)	4 (6)	4 (6)	2.3 (6)	0.2 (3)
<i>P. palustris</i> Mill		30 (6)	12 (7)	3 (5)	4 (7)	1.4 (7)	
<i>P. ponderosa</i> Dougl. ex L	68	26 (2)	16 (2)	4 (2)	5 (2)	5.5 (2)	0.5

<i>P. resinosa</i> Ait.	71	26	13	4	4	2.5	
<i>P. sabiniana</i> Dougl		27 (2)	12 (2)	3 (2)	1 (2)		0.2 (2)
<i>P. strobus</i> L.	68 (4)	27 (5)	15 (5)	4 (5)	6 (5)	3.2 (5)	0.2 (3)
<i>P. taeda</i> L.	68	27 (14)	11 (12)	2 (12)	3 (15)	2 (12)	
Especies de pino situadas en Japón							
<i>P. banksiana</i> Lam	71	28	13	2	1		0.1
<i>P. densiflora</i> S. et Z.	67	27		4	3		0.2
<i>P. pentaphylla</i> Mayr./G.	71	26	19	6	8		0.1
<i>P. pentaphylla</i> Mayr.H	68	27		3	8		0.3
<i>P. pumila</i> (Pallas) Regel	63	26	23	9	12		0.2
<i>P. strobus</i> L.	71	28	19	4	7		0.5
<i>P. thunbergii</i> Parlatore	63	26		3	3		0.2
Especies de pino situadas en Filipinas							
<i>P. insularis</i> Endl	66	30	14	2	2		0.3
<i>P. merkusii</i> Jungh.& Vr.	65	28	17	2	4		0.3
Especies de pino situadas en Taiwan							
<i>P. armandi</i> Franch	54	33	19	5	7		0.8
<i>P. luchuensis</i> Mayr	49	28	17	6	3		
Especies de pino situadas en la antigua URSS							
<i>P. koraiensis</i> Sieb.	44	26		8		6.7	0.2
<i>P. sibirica</i> Rupr.	53	30		2		2.4	0.1
<i>P. sylvestris</i> L.	54	28		1		1.6	0.2
Especies de pino de origen no registrado							
<i>P. palustris</i> Mill/Pitch							
Altamente resinosa		21	36	3	24		
Escasamente resinosa		30	15	4	2		

() Valor diferente al obtenido mediante la misma técnica y la misma especie

Cuadro 20. Análisis cualitativo de las cenizas en diferentes especies.
(Rowell 1984)

Composición elemental de algunas maderas										
Madera	Partes por cien					Partes por millón				
	Ca	K	Mg	P	Mn	Fe	Cu	Zn	Na	Cl
<i>Abies balsamea</i> L.	0.8	0.8	0.27		0.13	13	17	11		
	0.9	0.5			0.09				18	
<i>Quercus falcata</i>	0.3	0.6	0.03	0.02	0.01	30	73	38	44	
	0.1	2.8	0.35						63	38
<i>Pinus strobus</i> L.	0.2	0.3	0.07		0.03	10	5	11		
	0.3	0.1			0.02				9	19

Cuadro 21. Contenidos fenólicos en cortezas de pinos. (Rosales *et al.* 2003)

Especie Extracto	Rendimiento Ext.Total (%)	No. Stiasny (%)	Taninos Condensado (%)	Fenoles como Ácido Tanico (%)
<i>Pinus arizonica</i>				
Etanólico	9.66	67	6.46	61.2
Acuoso	5.87	53.6	3.15	53.5
<i>Pinus ayacahuite</i>				
Etanólico	19.39	80	15.5	61.83
Acuoso	10.61	69	7.32	64.33
<i>Pinus cooperi</i>				
Etanólico	9.94	71	7.06	49.16
Acuoso	2.23	44.4	1	37.5
<i>Pinus chiuahuana</i>				
Etanólico	8.86	81.2	7.2	81.7
Acuoso	4.14	59.2	2.46	62
<i>Pinus durangensis</i>				
Etanólico	16.68	80.8	13.48	78.2
Acuoso	9.32	69.3	6.46	72.2
<i>Pinus engelmannii</i>				
Etanólico	6.66	49	3.25	59.5
Acuoso	3.3	30	1	32.2
<i>Pinus leiophylla</i>				
Etanólico	19.11	85	16.18	78.5
Acuoso	7.35	80	5.88	72.2
<i>Pinus teocote</i>				
Etanólico	12.15	75	9.12	62.3
Acuoso	5.27	57.4	3.02	56.8

ANEXO B

INDICES DE CALIDAD DE PULPA PARA LAS 5 ESPECIES DE PINO

***Pinus teocote* Schl. et Cham.**

Nombre común: Pino colorado

No. De herbario: H – 3984

Familia: *Pinaceae*

No. De xiloteca: T - 35

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Localidad: Agua Zarca, San Miguel del Monte

Clima: Templado

Cuadro 22. Índices de calidad de pulpa y clasificación para *P. teocote* Schl. et Cham.

Índices de calidad de pulpa	Clasificación
Coeficiente o índice de rigidez ($2w / D$) C.R. = 0.28	Delgada
Coeficiente de flexibilidad (l / D) C.F. = 0.72	Delgada
Coeficiente de petri o índice de esbeltez (L / D) I.E. = 117.43	-----
Relacion Runkel ($2w / l$) R.R. = 0.38	Muy buena

***Pinus michoacana* var. *cornuta* Martínez**

Nombre común: Pino lacio

No. de herbario: H – 4102

Familia: *Pinaceae*

No. de xiloteca: T – 77

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino.

Localidad: Cañada la Pitaya, Ejido Tumbisca.

Clima: Templado.

Cuadro 23. Índices de calidad de pulpa y clasificación para *P. michoacana* var. *cornuta* Martínez

Índices de calidad de pulpa	Clasificación
Coeficiente o índice de rigidez (2w / D) C.R. = 0.29	Delgada
Coeficiente de flexibilidad (I / D) C.F. = 0.72	Delgada
Coeficiente de petri o índice de esbeltez (L / D) I.E. = 95.17	-----
Relacion Runkel (2w / l) R.R. = 0.41	Muy buena

***Pinus leiophylla* Schl. Et Cham**

Nombre común: Pino chino

No. de herbario: H – 4104

Familia: *Pinaceae*

No. de xiloteca: T – 79

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Localidad: Piedra del Volcán, Ejido Tumbisca.

Clima: templado.

Cuadro 24. Índices de calidad de pulpa y clasificación para *P. leiophylla* Schl. Et Cham.

Índices de calidad de pulpa	Clasificación
Coeficiente o índice de rigidez (2w / D) C.R. = 0.44	Media
Coeficiente de flexibilidad (I / D) C.F. = 0.55	Mediaa
Coeficiente de petri o índice de esbeltez (L / D) I.E. = 109.19	-----
Relacion Runkel (2w / l) R.R. = 0.80	buena

***Pinus montezumae* Lamb.**

Nombre común: Pino lacio

No. de herbario: H – 4123

Familia: *Pinaceae*

No. de xiloteca: T – 88

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Localidad: Ejido Potrerillos

Clima: templado

Cuadro 25. Índices de calidad de pulpa y clasificación para *P. montezumae* Lamb.

Índices de calidad de pulpa	Clasificación
Coeficiente o índice de rigidez (2w / D) C.R. = 0.23	Delgada
Coeficiente de flexibilidad (I / D) C.F. = 0.78	Delgada
Coeficiente de petri o índice de esbeltez (L / D) I.E. = 102.71	-----
Relacion Runkel (2w / l) R.R. = 0.29	Muy buena

***Pinus oocarpa* Schiede**

Nombre común: Pino

No. de herbario: H – 4146

Familia: *Pinaceae*

No. de xiloteca: T – 102

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Localidad: el Tizne

Clima: Templado

Cuadro 26. Índices de calidad de pulpa y clasificación para *P. oocarpa* Schiede

Índices de calidad de pulpa	Clasificación
Coeficiente o índice de rigidez (2w / D) C.R. = 0.15	Muy Delgada
Coeficiente de flexibilidad (I / D) C.F. = 0.86	Muy Delgada
Coeficiente de petri o índice de esbeltez (L / D) I.E. = 63.23	-----
Relacion Runkel (2w / l) R.R. = 0.18	Excelente