



**Universidad Michoacana de San Nicolás de
Hidalgo**

**Facultad de Ingeniería en Tecnología de la
Madera**

Tesis de Licenciatura

**DETERMINACIÓN DE LAS PROPIEDADES FÍSICAS Y QUÍMICAS
DE LOS RESIDUOS MADERABLES DE TRES ESPECIES DE
CONÍFERAS (*Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*)
DEL COMPLEJO INDUSTRIAL DE NUEVO SAN JUAN
PARANGARICUTIRO, MICHOACÁN.**

Para obtener el título de
INGENIERO EN TECNOLOGÍA DE LA MADERA

Presenta

LUIS FERNANDO PINTOR IBARRA

Director de tesis: doctor en ciencias forestales José Guadalupe
Rutiaga Quiñones

Asesor interno: doctor en química Rafael Herrera Bucio

Asesor externo: doctor en ciencias forestales Artemio Carrillo
Parra

Morelia, Michoacán

Agosto, 2014



INGENIERIA

El presente trabajo de investigación (Determinación de las Propiedades Físicas y Químicas de los Residuos Maderables de Tres Especies de Coníferas (*Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*) del Complejo Industrial de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán) se desarrolló en la Facultad de Ingeniería en Tecnología de La Madera de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, dentro del proyecto CONACYT (166444) en colaboración con la Universidad Autónoma de Nuevo León y la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro.

DEDICATORIA

A mi madre María Guadalupe Ibarra Pintor que siempre me apoyo con todo lo que estuvo a su alcance, porque siempre me ha animado a seguir a delante y a luchar contra todos los obstáculos sin darnos por vencidos nunca.

A mis hermanos Jesús, Israel, Cristian, Orlando y Jacqueline que siempre me dieron su apoyo, admiración y sus buenas palabras de aliento para seguir continuando exitosamente

A mi novia Lourdes Ortega Suarez, por su paciencia, comprensión y apoyo moral que siempre me ha brindado.

A todas las personas que me brindaban las herramientas para seguir avanzando en el desarrollo de mi preparación profesional, siempre serán para mi personas admirables.

AGRADECIMIENTOS

A la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo a través de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera, por la oportunidad de realizar mis estudios de licenciatura.

Al Consejo Nacional de Ciencia y Tecnología (CONACYT), por el apoyo otorgado por el apoyo otorgado para llevar a cabo la presente investigación.

A la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, por facilitar el material para la presente investigación y por su amplia disposición de atención.

Al Departamento de Investigación en Alimentos de la Facultad de Ciencias Químicas dependientes de la Universidad Autónoma de Coahuila por las facilidades otorgadas para el desarrollo de parte de la metodología de esta investigación.

A los Doctores, José Guadalupe Rutiaga Quiñones, Artemio Carrillo Parra, Rafael Herrera Bucio, a las Maestras en Ciencias Luz Elena Alfonsina Ávila Calderón y Fabiola Eugenia Pedraza Bucio por su amplia disposición y orientación en el desarrollo de la investigación.

A la Facultad de Ingeniería Química de la Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo por facilitar su equipo para el desarrollo de parte de la metodología, en especial a la M. C. Nancy Eloísa Rodríguez Olalde.

CONTENIDO

1.	INTRODUCCIÓN	1
2.	ANTECEDENTES	2
3.	GENERALIDADES DE LAS ESPECIES	4
3.1	<i>Pinus leiophylla</i> Schl. et Cham	4
3.1.1	Árbol	5
3.1.2	Descripción de la madera	5
3.1.2.1	Características macroscópicas y organolépticas	5
3.1.2.2	Características microscópicas	5
3.1.2.3	La madera	5
3.1.3	Distribución	5
3.2	<i>Pinus montezumae</i> Lamb.	6
3.2.1	Árbol	7
3.2.2	Descripción de la madera	7
3.2.2.1	Características macroscópicas y organolépticas	7
3.2.2.2	Características microscópicas	7
3.2.2.3	La madera	7
3.2.3	Distribución	7
3.3	<i>Pinus pseudostrobus</i> Lindl	8
3.3.1	Árbol	8
3.3.2	Descripción de la madera	9
3.3.2.1	Características macroscópicas y organolépticas	9
3.3.2.2	Características microscópicas	9
3.3.2.3	La madera	9
3.3.3	Distribución	9
4.	OBJETIVOS	10
4.1	Objetivo general	10
4.2	Objetivos particulares	10
5.	METODOLOGÍA	11
5.1	Colecta de material	11
5.2	Propiedades físicas	13
5.2.1	Contenido de humedad	13
5.2.2	Densidad a granel	14
5.2.3	Poder calorífico	15
5.3	Propiedades químicas	16
5.3.1	Ph	16
5.3.2	Cenizas	17
5.3.3	Solubilidad a la sosa	18
5.3.4	Sustancias extraíbles	19
5.3.5	Lignina	20
5.3.6	Holocelulosa	21
5.3.7	Alfa-celulosa	22

5.3.8	Taninos	23
5.3.8.1	Determinación de extracto total	24
5.3.8.2	No. de Stiasny	25
5.3.8.3	Taninos hidrolizables	26
6.	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	27
6.1	Propiedades físicas	27
6.1.1	Contenido de humedad	27
6.1.2	Densidad a granel	29
6.1.3	Poder calorífico	30
6.2	Propiedades químicas	32
6.2.1	pH	32
6.2.2	Cenizas	35
6.2.3	Solubilidad a la sosa	36
6.2.4	Sustancias extraíbles	39
6.2.5	Lignina	44
6.2.6	Holocelulosa	45
6.2.7	Alfa-celulosa	47
6.2.8	Taninos	49
6.2.8.1	Determinación de extracto total	51
6.2.8.2	No. de Stiasny	52
6.2.8.3	Taninos hidrolizables	54
7.	CONCLUSIONES	55
8.	BIBLIOGRAFÍA	56

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro 1.	Valores de porcentaje de contenido de humedad	28
Cuadro 2.	Valores de densidad a granel	29
Cuadro 3.	Valores de poder calorífico	31
Cuadro 4.	Valores de pH	33
Cuadro 5.	Comparación de valores de pH	34
Cuadro 6.	Valores de porcentaje de cenizas	35
Cuadro 7.	Valores de porcentaje de solubilidad a la sosa (NaOH) al 1%	37
Cuadro 8.	Comparación de valores de porcentaje de solubilidad a la sosa	38
Cuadro 9.	Valores de porcentaje de extractos ciclohexánicos, acetónicos, metanólicos, acuosos y extractos totales.	40
Cuadro 10.	Comparación de valores de porcentaje de extractos totales con diferentes Solventes	41
Cuadro 11.	Valores de porcentaje de lignina	44
Cuadro 12.	Valores de porcentaje de holocelulosa	46
Cuadro 13.	Valores de porcentaje de alfa-celulosa	47
Cuadro 14.	Comparación de valores de porcentaje de alfa-celulosa	48
Cuadro 15.	Valores de porcentaje de taninos obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica	50
Cuadro 16.	Valores de porcentaje de extracto total obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica	51
Cuadro 17.	Valores de porcentaje de No. de Stiasny obtenido mediante extracción acuosa y etanólica	53
Cuadro 18.	Resultados cualitativos de taninos hidrolizables obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica	54

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.	A) <i>Pinus leiophylla</i> , B) Hojas, C) Conos, D) Corteza	4
Figura 2.	A) <i>Pinus montezumae</i> , B) Conos, C) Corteza, D) Hojas	6
Figura 3.	A) <i>Pinus pseudostrobus</i> , B) Corteza, C) Hojas, D) Semillas, E) Conos	8
Figura 4.	Mapa de la ubicación geográfica de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México	11
Figura 5.	Diagrama de colecta de material en la industria de aserrío de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro.	12
Figura 6.	Diagrama de determinación de porcentaje de contenido de humedad	13
Figura 7.	Diagrama de determinación de densidad a granel	14
Figura 8.	Diagrama de determinación de poder calorífico	15
Figura 9.	Diagrama de determinación de pH	16
Figura 10.	Diagrama de determinación de porcentaje de cenizas	17
Figura 11.	Diagrama de determinación de porcentaje de solubilidad a la sosa	18
Figura 12.	Diagrama de determinación de porcentaje de sustancias extraíbles	19
Figura 13.	Diagrama de determinación de porcentaje de lignina	20
Figura 14.	Diagrama de determinación de porcentaje de holocelulosa	21
Figura 15.	Diagrama de determinación de porcentaje de alfa-celulosa	22
Figura 16.	Diagrama de determinación de porcentaje de taninos acuosos y etanólicos	23
Figura 17.	Diagrama de determinación de extracto total	24
Figura 18.	Diagrama de determinación de No. de Stiasny.	25
Figura 19.	Diagrama de identificación cualitativa de taninos hidrolizables	26
Figura 20.	Resultados de porcentaje de contenido de humedad	28
Figura 21.	Resultados de densidad a granel (g/cm^3)	30
Figura 22.	Resultados de poder calorífico (cal/g)	31
Figura 23.	Resultados de pH	33
Figura 24.	Resultados de porcentaje de cenizas	36
Figura 25.	Resultados de porcentaje de solubilidad a la sosa al 1%	37
Figura 26.	Resultados de porcentaje de extractos ciclohexánicos, acetónicos, metanólicos y acuosos	40
Figura 27.	Resultados de porcentaje de lignina	45
Figura 28.	Resultados de porcentaje de holocelulosa	46
Figura 29.	Resultados de porcentaje de alfa-celulosa	48
Figura 30.	Resultados de porcentaje de taninos obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica	50
Figura 31.	Resultados de porcentaje de extracto total obtenido mediante extracción acuosa y etanólica	52
Figura 32.	Resultados de porcentaje de No. de Stiasny obtenido mediante extracción acuosa y etanólica	53

Resumen

Los residuos maderables utilizados en este estudio se colectaron en el complejo industrial de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, México. Se determinaron las propiedades físicas (contenido de humedad, densidad a granel y poder calorífico) y propiedades químicas (pH, cenizas, solubilidad a la sosa, sustancias extraíbles, lignina, holocelulosa, alfa-celulosa y taninos) de Madera (aserrín, viruta), Corteza y la mezcla Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*. El contenido de humedad inicial de las muestras varió de 33.6 a 56%. Los valores más altos de densidad a granel se presentaron en Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, por otro lado los más bajos se encontraron en las Maderas de *P. leiophylla* y *P. pseudostrobus*, y en la Corteza de *P. montezumae*. Los valores de poder calorífico fueron mayores en la Madera-Corteza de *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*, mientras que los valores más bajos fueron en la Madera de *P. montezumae* y en la Corteza de *P. pseudostrobus*. Las cortezas fueron más ácidas. El pH de la harina libre de extraíbles fue mayor en comparación con la harina original. En general, el contenido de cenizas fue menor en Madera. Los valores más altos de solubilidad a la sosa se encontraron en las Maderas de las tres especies y el valor más bajo obtenido se encontró en la Corteza de *P. pseudostrobus*. Se encontró mayor cantidad de sustancias extraíbles en Corteza y Madera-Corteza a comparación con la Madera de los tres pinos. En general, la Corteza es rica en lignina y la menor concentración fue en Madera. La mayor cantidad de holocelulosa se encontró en madera en comparación con las otras muestras. Se encontró variación del porcentaje de alfa-celulosa en las muestras estudiadas. La mayor cantidad de taninos se obtuvo mediante la extracción etanólica.

ABSTRACT

The wood wastes used in this study were collected in the industrial complex of Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán, Mexico. The physical properties (moisture content, bulk density and calorific value) and chemical properties (pH, ash, soda solubility, extractives, lignin, holocellulose, alpha-cellulose and tannins) in wood (sawdust, chips), Bark and Wood-Bark of *P. leiophylla*, *P. montezumae* and *P. pseudostrobus* were determined. The initial moisture content of the samples ranged from 33.6 to 56%. The highest bulk density values were found in Bark and Wood-Bark of *Pinus leiophylla*, on the other hand the lowest values were found in the *P. leiophylla* and *P. pseudostrobus* Woods and *P. montezumae* Bark. The calorific values were higher in Wood-Bark of *P. montezumae* and *P. pseudostrobus*, while the lowest values were found in *P. montezumae* Wood and *P. pseudostrobus* Bark. The Bark samples were more acidic. The pH in extractives-free woodmeal was higher compared with the original woodmeal. In general, the ash content was lower in Wood. Higher soda solubility values were found in the Woods of the three species and the lowest value obtained was found in the *P. pseudostrobus* Bark. Greater amount of extractives were found in Bark and Wood-Bark compared to the wood of three pine species. In general, the Bark is rich in lignin and the lowest concentration was found in wood. The highest percentage of holocellulose was found in the Wood, compared to the other samples. Variation in the percentage of alpha cellulose in the samples studied was found. The highest concentration of tannin was obtained by the ethanolic extraction.

1. INTRODUCCIÓN

La madera es uno de los recursos naturales más abundantes del planeta y ha tenido siempre un papel muy importante y significativo en la economía humana; para el hombre, desde tiempos inmemoriales ha proporcionado materia prima para suplir diferentes necesidades, como vivienda, vestido, alimento, entre otros insumos y recursos (Eaton and Hale, 1993). También el aprovechamiento energético de la biomasa es una forma de obtener energía renovable basada en la materia orgánica de origen vegetal o animal y de sus procesos asociados. Tradicionalmente, la biomasa forestal y los residuos de los cultivos agrícolas, han sido extensamente utilizados tanto para la producción de calor en los hogares o como combustible en algunos procesos industriales. En la actualidad la generación de energía a través de la biomasa forestal abre la puerta al aprovechamiento sostenible de un recurso que hasta ahora era considerado un residuo no aprovechable o un subproducto. Otro aspecto es la dependencia de los combustibles fósiles se relaciona no solo con la contaminación, sino también con el precio del barril de petróleo y de otros combustibles fósiles y la incidencia de este factor en la economía. Además la biomasa tiene otros aspectos a destacar, como su incidencia positiva en la prevención de los incendios forestales, la mejora del estado de los bosques, y el mantenimiento de población y empleo en el ámbito rural (Alvares *et al.* 2011).

México ocupa el 11° lugar mundial en superficie forestal con aproximadamente 70% del territorio (141.7 millones de ha) y el 26° lugar en producción forestal. En los cinco últimos años la participación del Sector Forestal en la economía nacional ha sido constante, obteniendo una participación promedio de 0.3%; de acuerdo al valor del PIB nacional (SAI - 2001- con datos del INEGI 2001; SEMARNAT 2012).

De acuerdo con la SEMARNAT (2012) los principales estados productores en 2012 fueron: Durango (32.97%), Chihuahua (17.72%), Michoacán (8.11%), Oaxaca (7.32%) y Veracruz (5.24%), que contribuyeron con el 71.37% de la producción total, equivalente a 4.2 millones de m³r. Los principales productos que se obtuvieron durante el año 2012 fueron: la madera para aserrío (escuadría y durmientes) con el 74.0% de la producción (4.4 millones de m³r), los celulósicos con el 8.4% (495.4 mil m³r) y el restante 17.6% (1.0 millones de m³r) se destinó a combustibles, postes, pilotes y morillos y chapa y triplay.

De acuerdo con datos y cálculos a partir de SEMARNAT (2006), 1.836 millones de m³r que corresponden al 28% de la producción total nacional, son residuos. Estos provienen de diferentes procesos de la industria forestal, que se catalogan como: finos, polvo de aserrín, molduras defectuosas, descortezado de trozas para exportación, celulosa, chapa, triplay, postes y combustibles.

Particularmente en la industria de aserrío nacional cuyo consumo de madera es de 4.6 millones de m³r (SEMARNAT, 2006), se generan durante el proceso 1.288 millones de m³r de residuos, distribuidos en 920,000 m³r (20%) de aserrín y 368,000 m³r (8%) de corteza.

Para el Estado de Michoacán, la producción maderable destinada al aserrío (SEMARNAT, 2006), fue aproximadamente de 258,657 m³r y la generación de residuos en forma de corteza y aserrín fue de 72,423.96 m³r.

Los principales géneros y/o grupos aprovechados durante el año 2012 fueron: el pino con 4.7 millones de m³r (79.9%) y el encino con 0.5 millones de m³r (8.8%), los restantes 0.7 millones de m³r (11.3%) corresponden a los otros géneros y/o grupos.

El volumen aprovechable según el Programa de Manejo Forestal Maderable del predio "Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Paragaricutiro" (2009) es de 74,647 m³ volumen total árbol (v.t.a). El 45% del volumen de las especies de los géneros *Pinus* y *Abies* se destina a productos primarios, 28% a secundarios, 15% a celulósicos y 12% son residuos. Tanto de *Quercus* como de otras hojosas, se destina todo su volumen a celulósicos 88%, el restante 12% son residuos. Teniendo así, productos primarios 28,349.6 m³ vta., secundarios 17,639.7 m³ vta. y celulósicos 19,699.9 m³ vta. El cálculo de los residuos indica un valor de 8,957.6 m³ vta. que corresponde al 12% para todos los géneros.

La producción de energía a partir de residuos forestales representa una alternativa de elevado potencial debido a la disponibilidad y características caloríficas de la biomasa residual. Para aprovechar estos residuos con fines energéticos es necesario realizar el estudio de sus propiedades físicas y también químicas, pues la composición química del material es fundamental para poder sugerir posibles usos ya que ella influye en el comportamiento como biocombustibles, por ello se propone realizar la presente investigación.

2. ANTECEDENTES

Poca información fue recabada con relación al conocimiento químico de los residuos de la industria del aserrío de las especies de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*. Algunos reportes que tratan temas sobre química de la madera y/o corteza de especies de este género se citan a continuación.

Cruz (1991) encuentra en albura de *Pinus 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.

Rutiaga (2001) en un análisis químico en la albura y duramen de *Pinus 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.

Rosales y González (2003) determinaron el contenido de compuestos fenólicos de ocho especies de pinos de Durango en las que se encuentran entre ellas el *P. leiophylla*; 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 *et al.* (2004) mencionan las propiedades antibacterianas y bloqueadoras de radicales libres de polifenoles de corteza de siete pinos (*Pinus leiophylla*, *P. ayacahuite*, *P. arizonica*, *P. chihuahuana*, *P. duranguensis* 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. duranguensis*, *P. chihuahuana* y *P. teocote*. Estos resultados muestran que la corteza de pino tiene alternativas de aprovechamiento desde el punto de vista farmacológico.

Rosales *et al.* (2009) realizaron la evaluación química y capacidad antioxidante de extractos polifenólicos de cortezas de *Pinus leiophylla*, *P. cooperi* y *P. teocote*. También evaluaron la concentración de fenoles totales, flavonoides y proantocianidinas en extractos de acetona acuosa 70% (extracto crudo) y extractos semipurificados por partición líquido-líquido con acetato de etilo (extracto orgánico), de cortezas de *P. cooperi*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. teocote*, asimismo se determinó la actividad antioxidante de los extractos por las técnicas del radical ácido 2,2'-azinobis-3-etilbenzotiazolin-6-sulfónico (ABTS•+).

Bernabé *et al.* (2013) realizaron un análisis para determinar los principales componentes químicos de la madera de cinco especies de pino procedentes del municipio de Morelia, Michoacán. Las especies estudiadas fueron *Pinus leiophylla*, *P. michoacana* var. *cornuta*, *P.*

montezumae, *P. oocarpa* y *P. teocote*. En este estudio se determinó en la madera de cada especie el pH, las cenizas, el análisis de las cenizas, las sustancias extraíbles, la holocelulosa, la lignina y los taninos.

Lima (2013) determinó en albura, duramen y corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus* y *Abies religiosa* (Kunth) Cham: pH, solubilidad a la sosa, contenido de cenizas y microanálisis, extractos, lignina, holocelulosa y alfa-celulosa.

3. GENERALIDADES DE LAS ESPECIES

A continuación se mencionan las características generales de las tres especies de *Pinus* (Martínez 1948; Madrigal y Guridi 1990; Madrigal 1992; Martínez 1992).

3.1 *Pinus leiophylla* Schl. et Cham (Figura 1).

Nombre común: Pino chino

Familia: *Pinaceae*

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Clima: Templado



Figura 1. A) *Pinus leiophylla*, B) Hojas, C) Conos, D) Corteza.

3.1.1 Árbol

Fascículos de 5 hojas, vaina decidua, hojas verdes en sus caras internas, cono ovoide tenazmente persistente, igual o menor va de 5 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.

3.1.2. Descripción de la madera

3.1.2.1. 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, vetado pronunciado y brillo bajo. Su densidad es de 0.57 g/cm³ por lo que se considera de densidad media.

3.1.2.2. Características microscópicas: los canales resiníferos tienen un diámetro promedio de 182.5 μm , 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 es de 95.9 y en la tardía 31.1, los valores promedio, longitud es de 3207 μm , grosor de la pared 6.5 μm , diámetro del lumen 16.2 μm , y diámetro 29.3 μm , presenta una sola hilera de punteaduras areoladas, y no presenta trabéculas, traqueidas radiales con bordes aserrados. Los radios son homogéneos y uniseriados, tiene valores promedio de 4.3 rayos por mm, 8.9 células de altura, 222 μm de altura, 24,2 μm de diámetro, los pares de punteaduras en los campos de cruzamiento son de tipo pinoide, parénquima leñoso ausente.

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

3.1.3. 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.

3.2. *Pinus montezumae* Lamb. (Figura 2)

Nombre común: Pino lacio

Familia: *Pinaceae*

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Clima: Templado

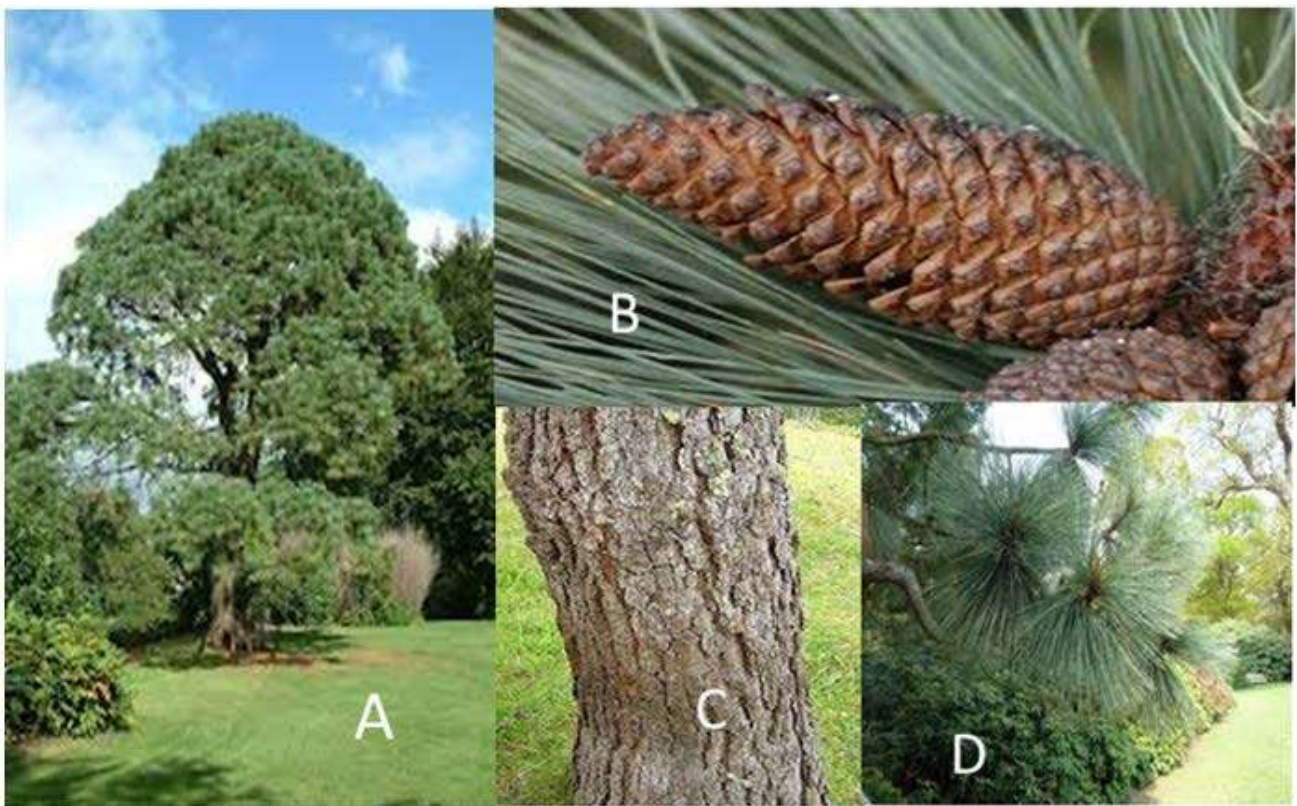


Figura 2. A) *Pinus montezumae*, B) Conos, C) Corteza, D) Hojas.

3.2.1. Árbol

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 oscuro, extendidas o colgantes, apófisis algo aplanada, pedúnculos de 10-15 mm, por lo general quedan unidos a la ramilla al desprenderse el tronco.

3.2.2. Descripción de la madera

3.2.2.1. 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 albura y duramen, en los anillos de crecimiento la madera temprana es de color amarillo clara y madera tardía castaño amarillento, que ocupa de 1/2 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 brillo bajo. Su densidad es de 0.57 g/cm³ por lo que se considera de densidad media.

3.2.2.2. Características microscópicas: Canales resiníferos con un diámetro promedio de 221.2 µm, 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 µm, grosor de la pared 4.8 µm, diámetro del lumen 32.9 µm, y diámetro 42.8 µm, 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 µm de largo y 24.2 µm de diámetro. Los pares de punteaduras en los campos de cruzamiento son de tipo pinoide, no presenta parénquima leñoso.

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

3.2.3. 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*.

3.3. *Pinus pseudostrobus* Lindl. (Figura 3)

Nombre común: se le conoce como pacingo y pino ortiguillo, pino blanco, pino triste, ocote, pino canís y pino real.

Familia: *Pinaceae*

Tipo de vegetación: Bosque de pino-encino

Clima: Templado



Figura 3. A) *Pinus pseudostrobus*, B) Corteza, C) Hojas, D) Semillas, E) Conos.

3.3.1. Árbol

Árbol de corteza lisa durante mucho tiempo y en la vejez es áspero y agrietado. Hojas en grupos de 5, de 17 a 24 cm de longitud, muy delgadas, triangulares y flexibles, de color verde intenso, a veces con tinte amarillento o glauco, finamente aserradas con los diente-cillos uniformes. Las vainas son persistentes, anilladas de 12 a 15 mm (a veces hasta 20), de color castaño oscuro, algo brillantes; yemas oblongo cónicas de color anaranjado, conillos oblongos largamente pedunculados, oscuros, con gruesas escamas provistas de puntas romas. Las ramas son extendidas y verticiladas, ramillas delgadas y frágiles, con largos entrenudos, con tinte azuloso en las partes tiernas.

Los conos son ovoides o largamente ovoides de 8 a 10 cm, a veces más, de color café claro, amarillento o moreno, extendidos, muy levemente encorvados, un poco asimétricos, generalmente en pares; sobre pedúnculo de 10-15 mm de longitud, no se desprende con el cono y con frecuencia queda en la ramilla con algunas escamas basales. Las escamas son delgadas pero duras, desiguales, de 3 a 3.5 cm de largo por 1.5 a 1.8 de ancho, con ápice anguloso; umbo irregularmente cuadrangular; quilla transversal por lo común baja y poco marcada; costilla perpendicular poco visible; apófisis aplanada, en ocasiones saliente y redondeada, cúspide pequeña, deprimida, provista de una punta cónica, frágil y persistente.

La semilla es vagamente triangular, de color oscuro, de unos 6 mm y ala de 23 mm de largo por 6 a 9 mm de ancho.

3.3.2. Descripción de la madera.

3.3.2.1. Características macroscópicas y organolépticas. Madera de color amarillento, sin diferencia entre albura y duramen; de olor resinoso, suave y de textura fina a mediana, peso ligero y la zona de transición entre madera temprana y tardía es abrupta. Brillo bajo a mediano; vetado mediano a pronunciado, dado por los anillos de crecimiento y por los canales resiníferos; su hilo es recto. Las bandas de la madera de verano son angostas de color café pálido; canales resiníferos localizados en la parte exterior del anillo de crecimiento son abundantes. Por lo general cuenta con 3 ó 2 canales resiníferos en la parte media, rara vez con uno interno o externo.

3.3.2.2. Descripción microscópica. Las traqueidas son de diámetro variable (20 a 48 μm), con 34 μm en promedio. Las puntuaciones aeroladas se encuentran en las paredes radiales de las traqueadas, en hileras longitudinales, en el entrecruzamiento de los rayos y en este mismo corte se observan puntuaciones pinoides y fenestradas. Rayos leñosos de dos tipos: uniseriados, que son los más abundantes y fusiformes, con un canal resinífero transversal. La altura total del rayo varía de 75 a 165 μm , con 104 en promedio formados por 1 a 13 células, predominando los de 5. Canales resiníferos en números de 0.6 por mm^2 , con diámetro variable de 90 a 135 μm , siendo 123 en promedio y con epitelio de pared delgada

3.3.2.3. La madera. Es moderadamente liviana, poco resistente, la densidad es de 0.45 g/cm^3 , no es muy durable en forma natural, pero se puede impregnar fácilmente para su preservación, es de fácil trabajabilidad y sin problemas para el secado.

3.3.3. Distribución: en Michoacán se tiene registrado a *Pinus pseudostrobus*, con sus dos formas: *Pinus pseudostrobus* Martínez y *P. pseudostrobus*. Esta especie es de las que presentan mayor variación geográfica en la República Mexicana y parte de Centroamérica; se cree posible la cruza con las especies del grupo *Montezumae*. Tiene un enorme parecido con *Pinus maximinoi* y *P. douglasiana*, sobre todo en sus fascículos y conos, además, se les ha encontrado asociados con mucha frecuencia.

4. OBJETIVOS

4.1 OBJETIVO GENERAL.

Determinar las propiedades físicas y químicas de los residuos maderables de tres especies de coníferas (*Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*) provenientes del aprovechamiento de la industria del aserrío en la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, con fines bioenergéticos.

4.2 OBJETIVOS PARTICULARES

Propiedades físicas.

Determinar:

- Contenido de humedad
- Densidad a granel
- Poder calorífico

Propiedades químicas.

Determinar:

- pH
- Contenido de cenizas
- Solubilidad en sosa al 1%
- Contenido de sustancias extraíbles, obtenidas con solventes de polaridad creciente (ciclohexano, acetona, metanol y agua)
- Contenido de lignina
- Contenido de holocelulosa
- Contenido de alfa-celulosa
- Contenido de taninos

5. Metodología

5.1. Colecta de material

Los residuos maderables de *Pinus leiophylla*, *P. Montezumae*, *P. pseudostrobus* se colectaron en el complejo industrial de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán (Figura 4). Su localización geográfica se encuentra entre los paralelos 19° 21' 00" y 19° 34' 45" de latitud Norte; así como en los meridianos 102° 08' 15" y 102° 17' 30" de longitud Oeste, con respecto al meridiano de Greenwich (CINSP, 2011).



Mapa de ubicación geográfica de la C I. de N.S.J.P Mich, México.

Figura 4. Mapa de la ubicación geográfica de la Comunidad Indígena de Nuevo San Parangaricutiro, Michoacán, México.

La identificación botánica de las especies fue realizada con apoyo del M.C. Miguel Ángel Silva Farías, de la Universidad Intercultural Indígena de Michoacán.

Del complejo industrial de dicha comunidad se recolectaron los residuos directamente de los procesos de transformación que más residuos maderables se generan (sierra principal, descortezadora, astilladora, molino) de cada especie en la salida de los equipos industriales los cuales fueron clasificados mediante la norma UNE-EN 14961-1 (2011).

El muestreo para aserrín, virutas y corteza se realizó de acuerdo con la Norma UNE-CEN/TS 14778-1 (2007).

Las muestras (Aserrín, Corteza y Madera-Corteza) de las tres especies de coníferas, se dejaron secar al aire libre bajo sombra. Posteriormente este material se molió para obtener cuatro fracciones (malla 20, 40, 60 y finos) la malla 40 se utilizó para realizar los análisis químicos. Una vez habilitado el material se almacenó en frascos sellados y etiquetados para su mejor manejo y organización (Figura 5).



Figura 5. Diagrama de colecta de material en la Industria de aserrío de la Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro. **1)** Colecta de material (Aserrín, Corteza, Madera-Corteza) directamente de los equipos de la industria de aserrío de la CINSP. **2)** Secado al aire de material colectado, **3)** Molienda del material, **4)** Tamizado de las muestras.

5.2. Propiedades físicas

5.2.1. Contenido de Humedad (CH)

El (%) CH inicial se determinó con base a la norma UNE-EN14774-1 (2010) (Figura 6).

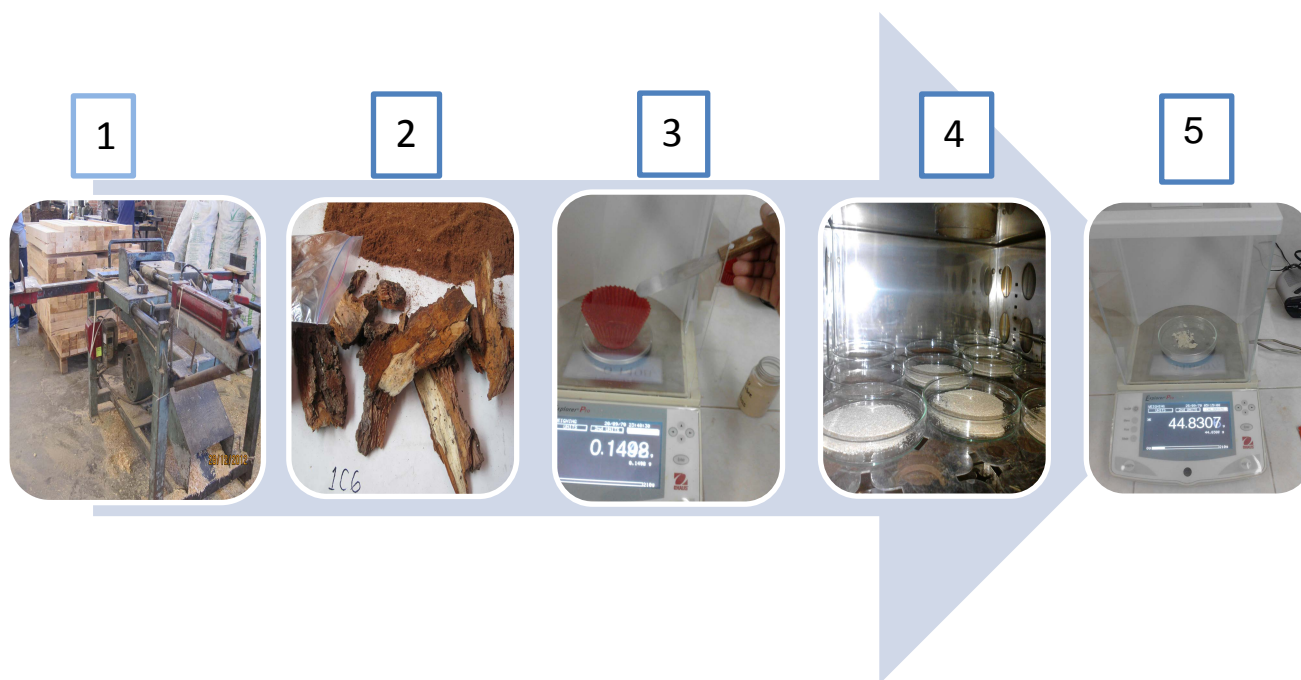


Figura 6. Diagrama de determinación del CH. **1)** Toma de material (aserrín, corteza y madera-aserrín) directamente de los equipos de la industria de aserrío de la CINSP, **2)** Muestra de corteza **3)** Peso inicial de la muestra, **4)** Secado a peso constante a una temperatura de 100 ± 3 ° C, **5)** Peso final de las muestras después de mantenerse a peso constante.

5.2.2. Densidad a granel

La determinación de densidad a granel se determinó mediante la norma UNE-EN 15103, (2010) (Figura 7).

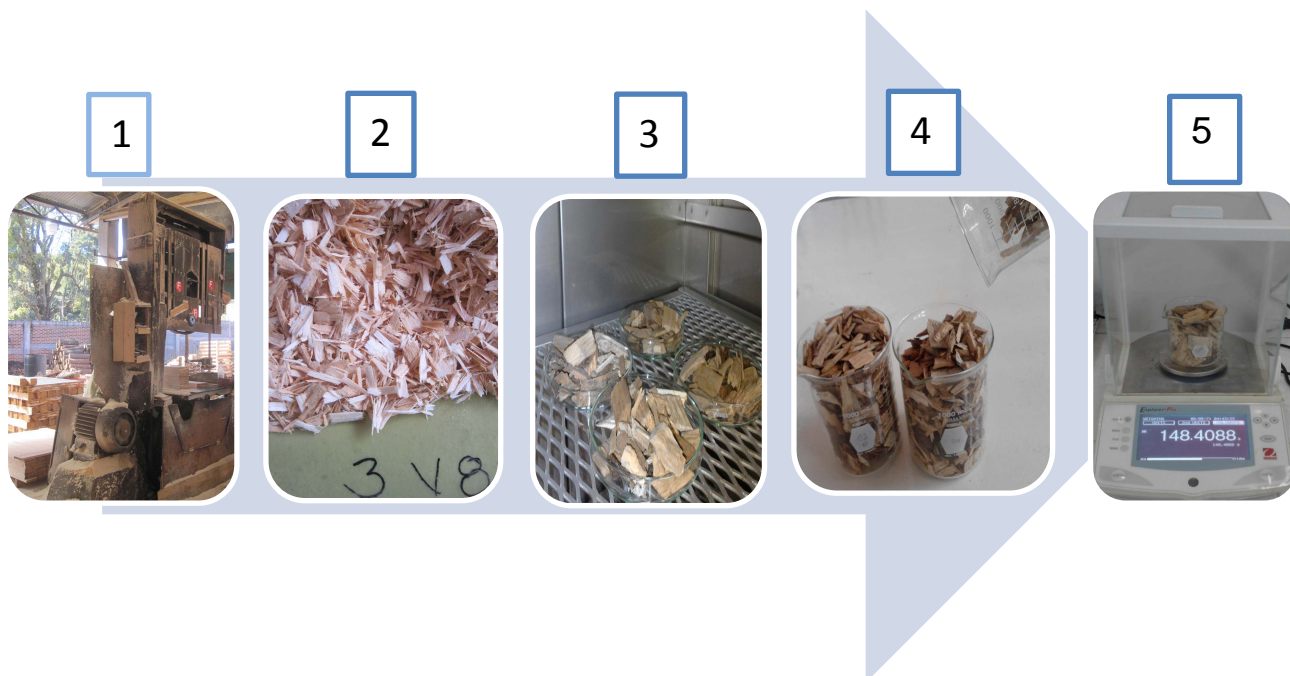


Figura 7. Densidad a granel. **1)** Equipo industrial de donde se tomaron las muestras para la determinación de la densidad, **2)** Muestra (en este caso viruta) original como fue colectada, **3)** Determinación de contenido de humedad de las muestras, **4)** Ejecución de la metodología densidad a granel en un recipiente de volumen conocido, **5)** Peso de la muestra.

5.2.3. Poder calorífico

El poder calorífico se determinó mediante la norma UNE-EN 14918, (2011) usando una bomba calorimétrica 6772, Semiautomática (Figura 8).

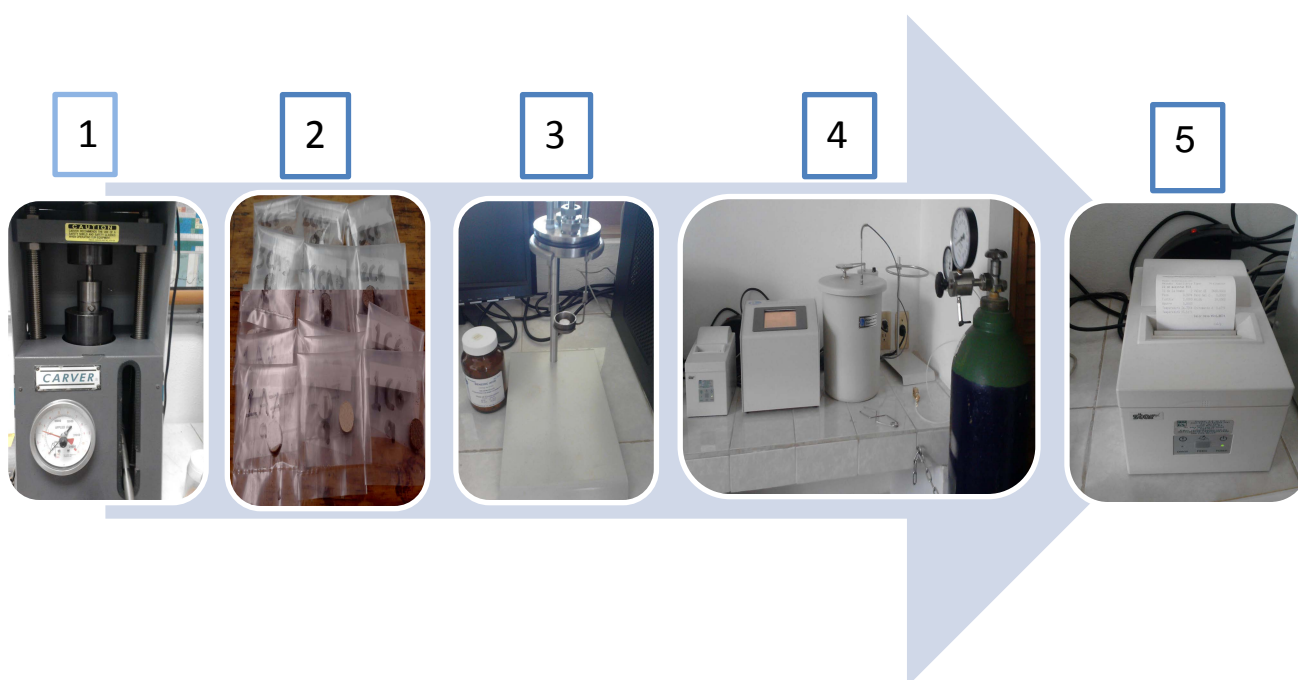


Figura 8. Poder calorífico. **1)** Elaboración de pastilla mediante prensa hidráulica, **2)** obtención de muestras comprimidas, **3)** Uso de ácido benzoico para calibrar el equipo, **4)** Análisis de las muestras en la bomba calorimétrica, **5)** Obtención de resultados de poder calorífico.

5.3. Propiedades químicas

5.3.1. pH

La determinación del pH (Moisture pH;) se realizó de acuerdo a la metodología de Sandermenan y Rothkamm, (1959) (Figura 9).

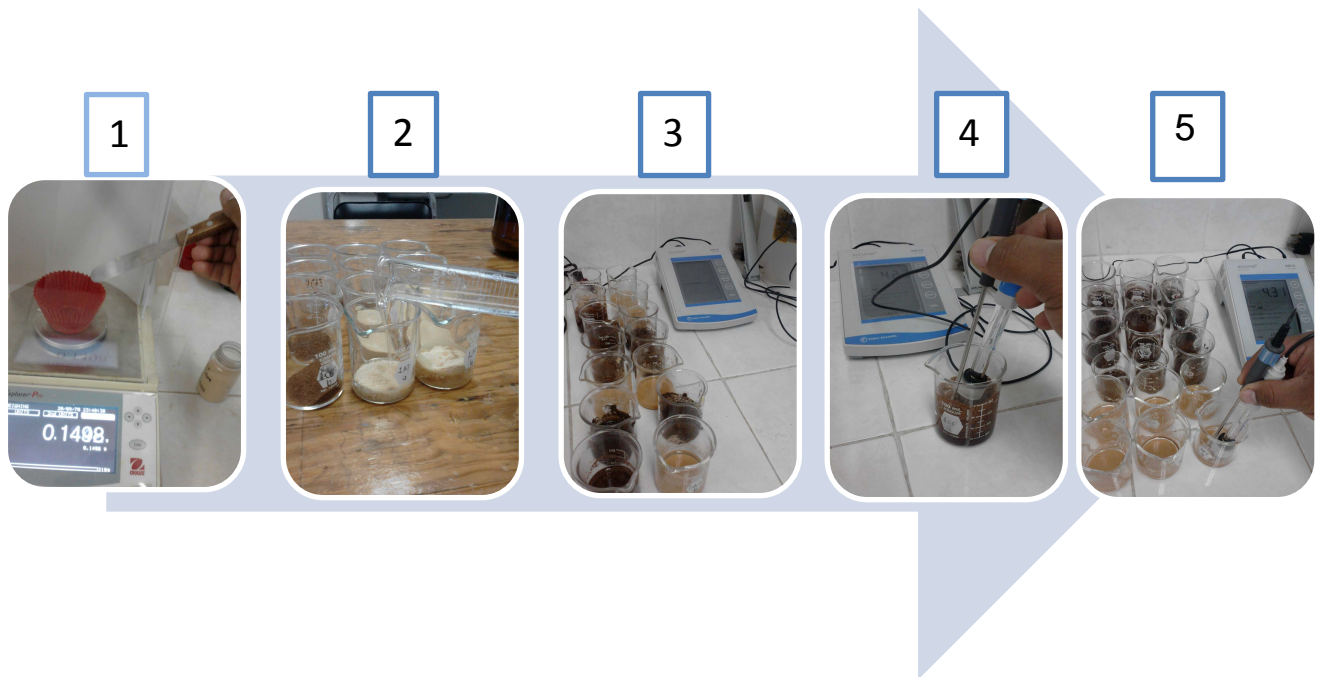


Figura 9. Diagrama determinación de pH. **1)** Peso de la muestra, **2)** muestra + agua destilada, **3), 4) y 5)** Medición del pH a harina de madera y harina libre de extractos.

5.3.2. Cenizas

El contenido de cenizas se efectuó mediante el método propuesto por la norma UNE-EN 14775 (2010). Se llevaron las muestras a combustión en las placas de calentamiento cuidadosamente en crisoles de níquel, para posteriormente calcinar en una mufla a 525 °C (Figura 10).



Figura 10. Diagrama determinación de porcentaje de cenizas. **1)** Peso inicial de la muestra en crisoles de níquel, **2)** Oxidación de la madera en placa de calentamiento **3)** Obtención de cenizas en la mufla a 525 °C, **4)** Cenizas en el desecador absorbiendo la humedad remanente presente en las muestra, **5)** Peso de la cenizas o compuestos inorgánicos.

5.3.3. Solubilidad a la sosa

La determinación de la solubilidad a la sosa al 1% se llevó de acuerdo a la norma T 212 om-98 (TAPPI 2000) (Figura 11).

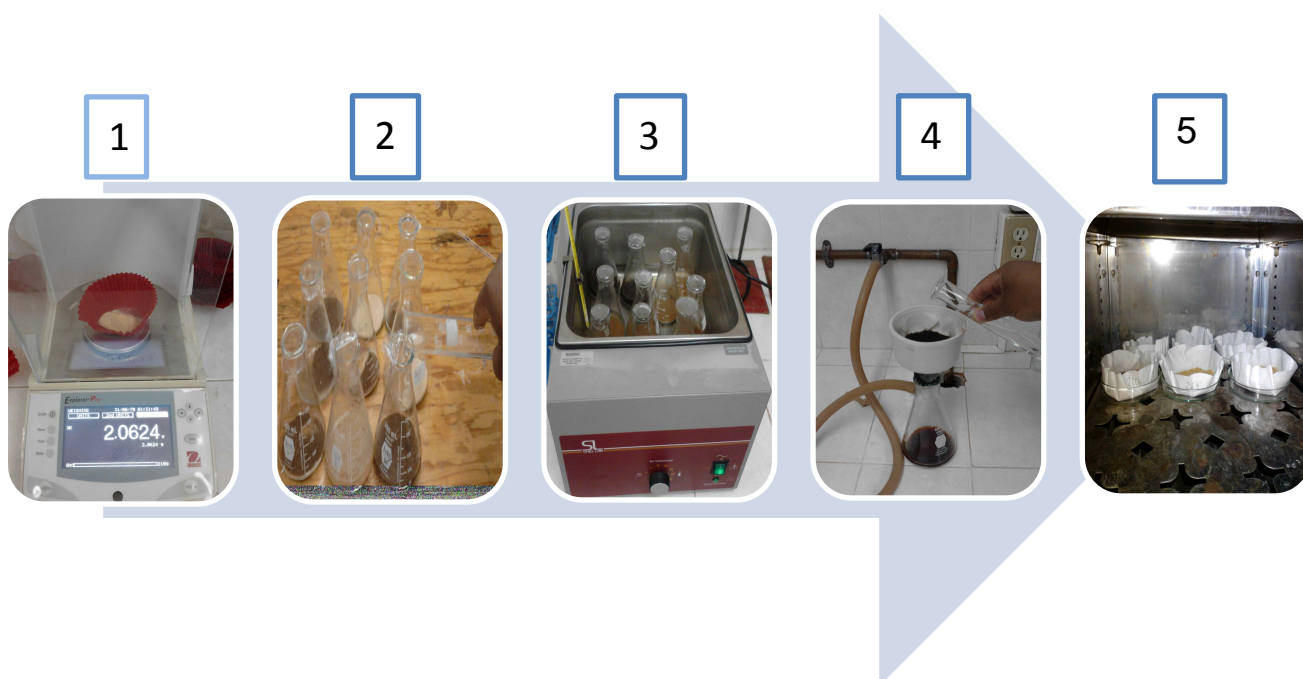


Figura 11. Diagrama determinación del porcentaje de solubilidad a la sosa. **1)** Peso inicial de la muestra, **2)** Muestra + hidróxido de sodio (NaOH) al 1%, **3)** Muestras en baño María a una temperatura de 97- 100 °C, **4)** Lavado, filtrado y adición de ácido acético al 10%, **5)** Peso constante de las muestras en la estufa de secado.

5.3.4. Sustancias extraíbles

Se determinaron mediante extracción sucesiva por 6 H en equipo Soxhlet con solventes de polaridad creciente: ciclohexano, acetona, metanol y agua. En todos los casos para los solventes orgánicos se recuperaron mediante el uso de rotavapor a vacío, los extractos acuosos se recuperaron mediante un equipo de liofilización.

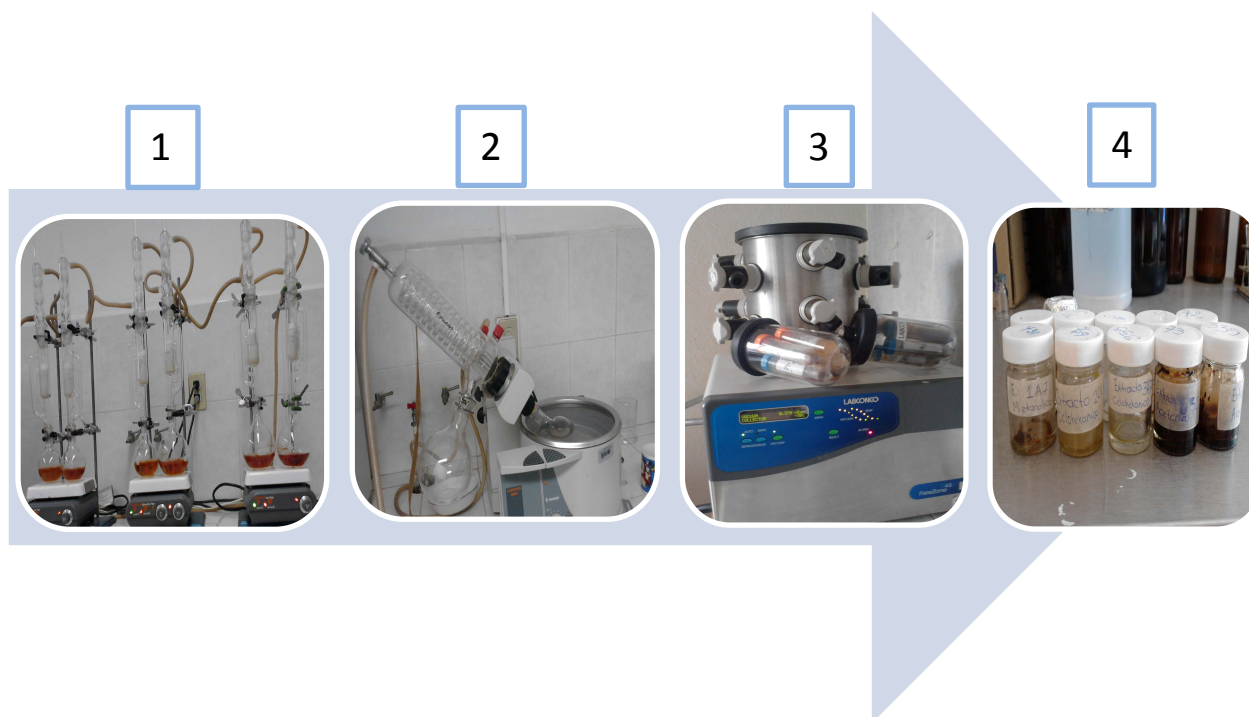


Figura 12. Diagrama de determinación de porcentaje de extractos **1)** Obtención de extractos en equipo Soxhlet, **2)** Concentración en rotavapor de los extractos ciclohexánicos, acetónicos y metanólicos, **3)** Concentración en liofilizador de los extractos acuosos, **4)** Obtención y aislamiento de los extractos ciclohexánicos, acetónicos, metanólicos y acuosos.

5.3.5. Lignina

El contenido de lignina presente en la madera se desarrolló siguiendo la técnica Runkel y Wilke (1951) (Figura 13).

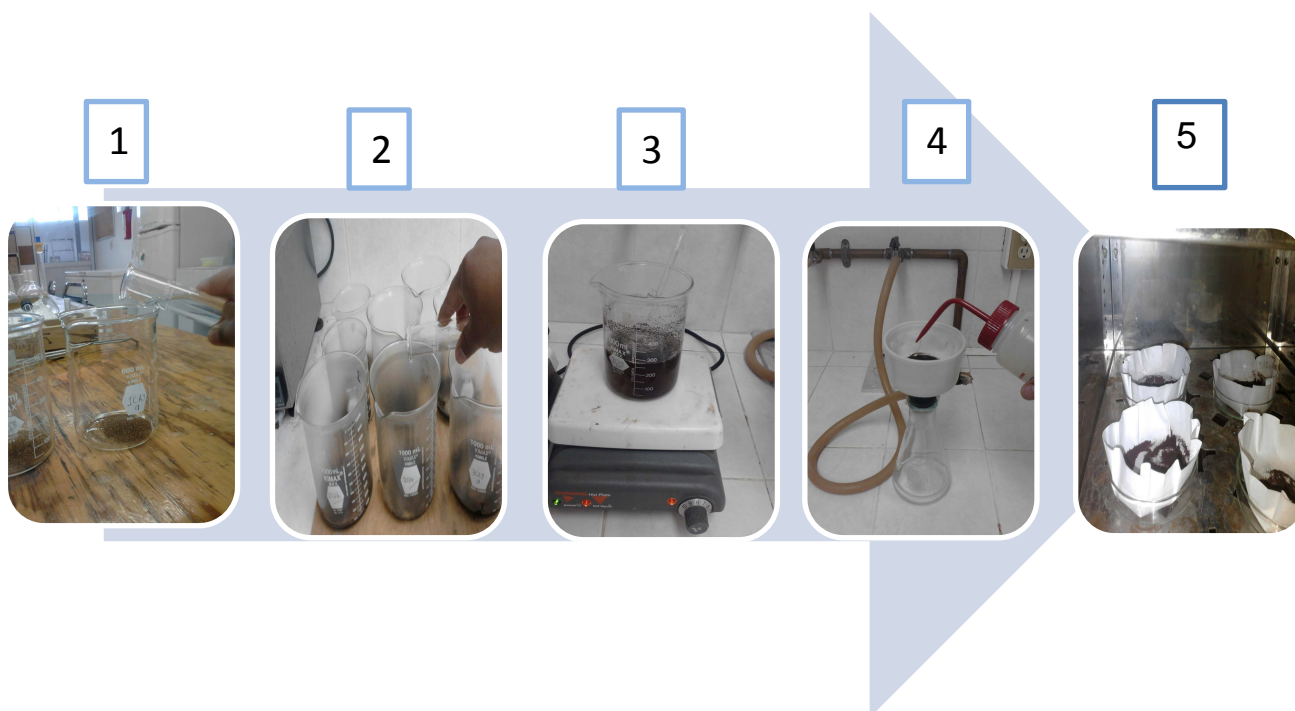


Figura 13. Determinación de porcentaje de lignina. **1)** Muestra de harina libre de extractos + H_2SO_4 al 72% y HBr al 40%, **2)** Reposo de las muestras y agregando 200 mL de agua destilada después del tiempo de reposo, **3)** Muestras en a punto de ebullición, **4)** Filtrado y lavado, **5)** Muestras a peso constante en estufa de secado.

5.3.6. Holocelulosa

La determinación de holocelulosa se realizó de acuerdo a la metodología propuesta por Wise (1946) (Figura 14).

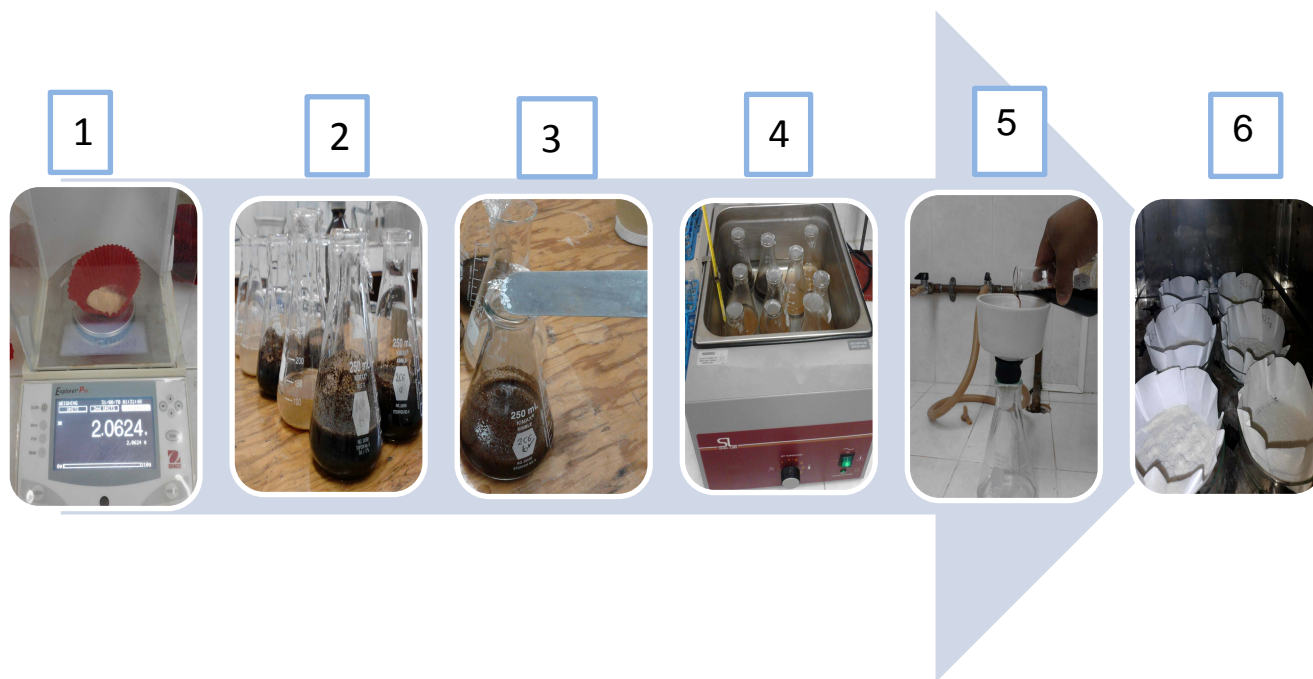


Figura 14. Determinación de porcentaje de holocelulosa. **1)** Peso inicial de la harina libre de extractos, **2)** 2 g de muestra en un matraz Erlenmeyer más agua destilada **3)** Adicionando clorito de sodio más de ácido acético **4)** Muestras a baño María, **5)** Filtrado y lavado, **6)** Muestras a peso constante en estufa de secado a 40°C.

5.3.7. Alfa-celulosa

El contenido de alfa-celulosa (%) se obtuvo mediante la norma D 1103-60 (ASTM 1977) (Figura 15).

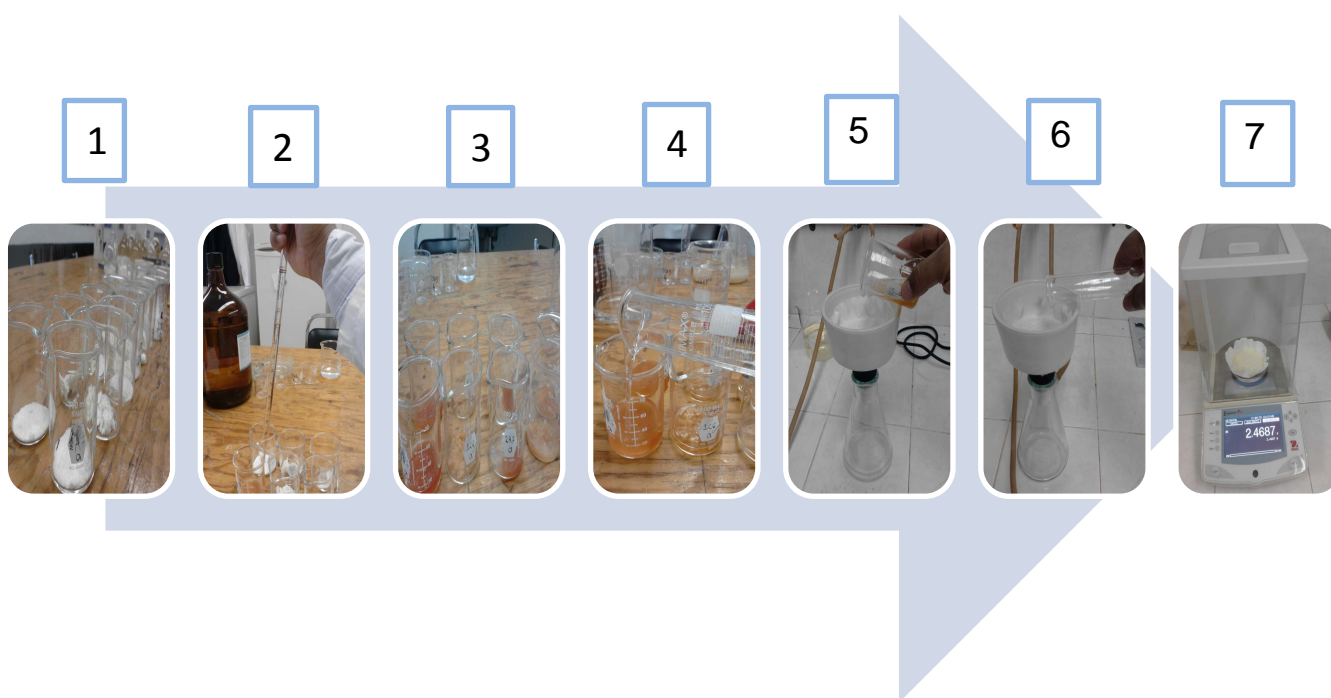


Figura 15. Determinación del porcentaje de alfa-celulosa. **1)** Muestras de holocelulosa, **2)** Adición de hidróxido de sodio (NaOH), **3)** Reposo de las muestras, **4)** Adición de agua destilada **5)** Filtrado **6)** Lavado con hidróxido de sodio y agua destilada más ácido acético al 10% **7)** Peso constante del alfa-celulosa.

5.3.8. Taninos

La determinación del porcentaje de taninos. La obtención para los taninos etanólicos y acuosos, extracto total, No. de Stiasny y Taninos hidrolizables se realizaron mediante la metodología propuesta por (Yazaki y Hillis, 1977; Waterman y Mole, 1994) (Figura 16)

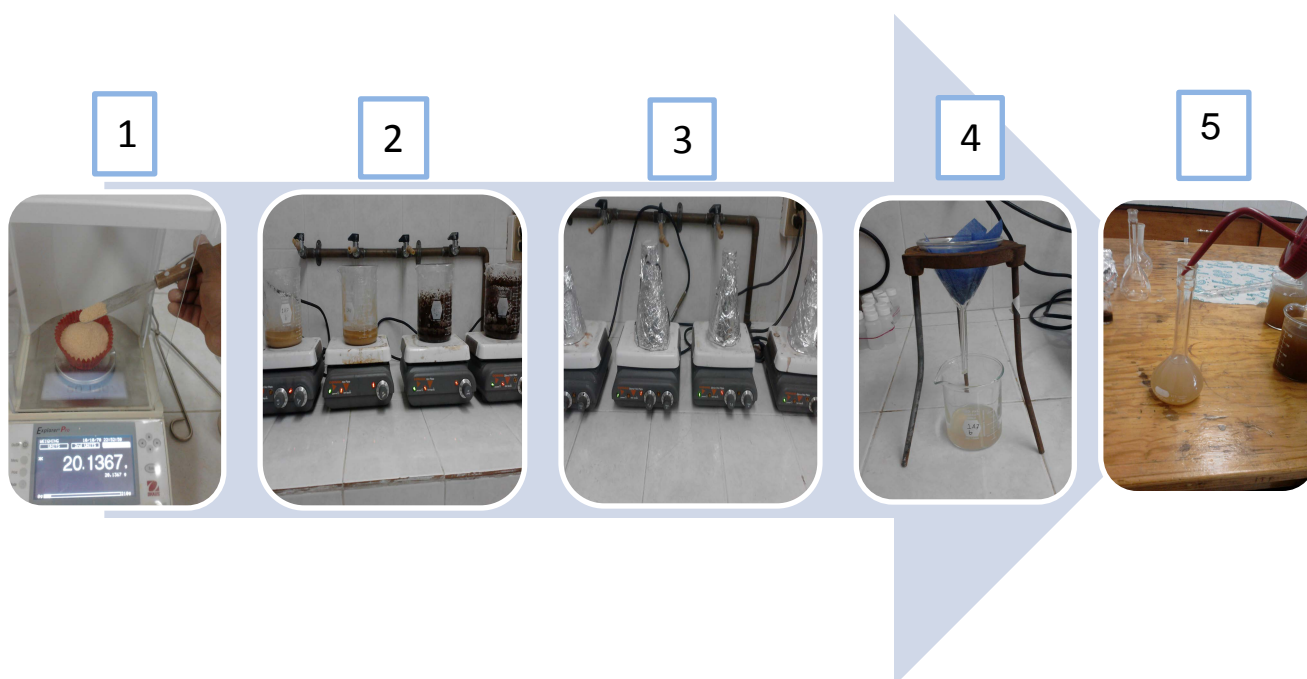


Figura 16. Obtención de taninos acuosos y etanólicos. **1)** Peso húmedo de la muestra, **2)** Obtención de taninos acuosos, **3)** Obtención de taninos etanólicos, **4)** Filtrado de taninos, **5)** Taninos en matraz volumétrico para la obtención del extracto total y No. de Stiasny.

5.3.8.1. Determinación de extracto total

La cantidad de extracto total se determinó por gravimetría: 50 mL se depositaron en un crisol de porcelana y este se colocó en una estufa a 100 ± 3 °C hasta concentrar el sólido. El residuo es lo que se conoce como extracto total de sólidos (Figura 17).

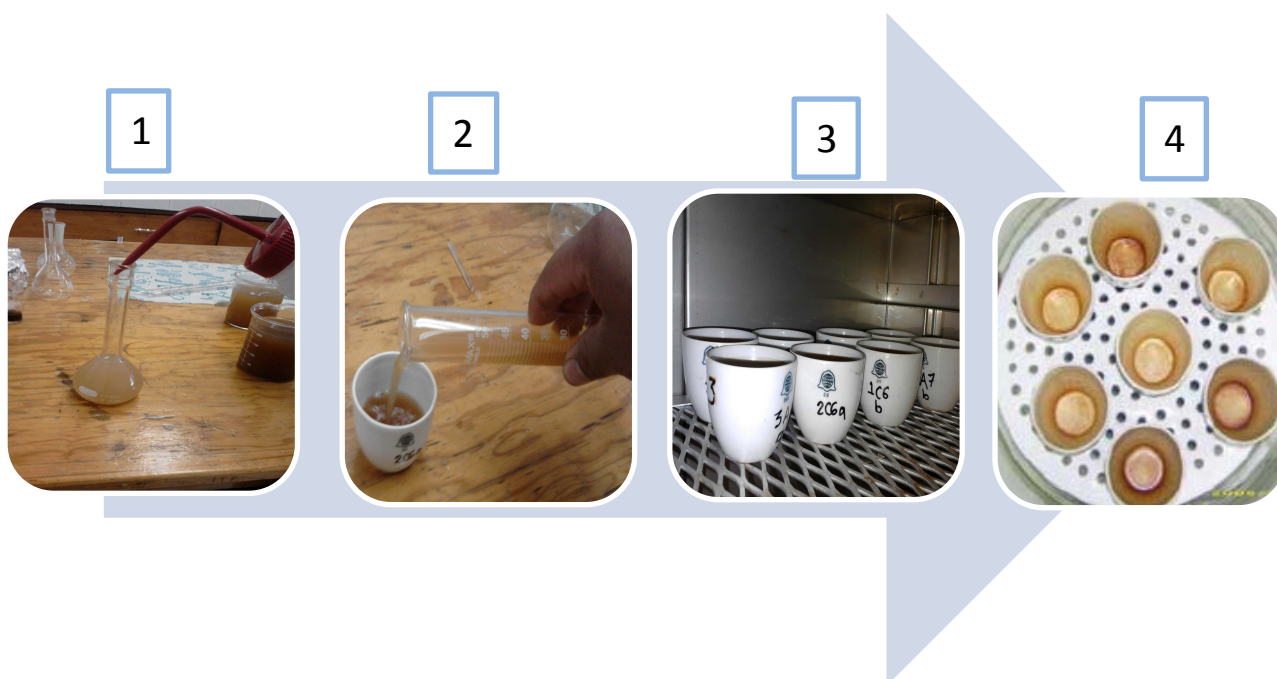


Figura 17. Determinación de extracto total. **1)** Aforación gravimétrica, **2)** Depósito de 50 mL del extracto en crisol de porcelana, **3)** Concentración del extracto en una estufa a 100 ± 3 °C, **4)** Peso contante del extracto total.

5.3.8.2. No. de Stiasny

El No. de Stiasny se determinó con los 50 mL restantes de la aforación gravimétrica, se hicieron reaccionar con formaldehído en medio ácido (HCl) dentro de un matraz de fondo redondo donde permanecieron por un periodo de 30 minutos en ebullición a reflujo, ya frio el licor se filtró con vacío en papel filtro. El precipitado resultante se llevó a una estufa a una temperatura de 100 ± 3 °C, hasta peso constante, para así obtener los taninos condensados (Figura 18).

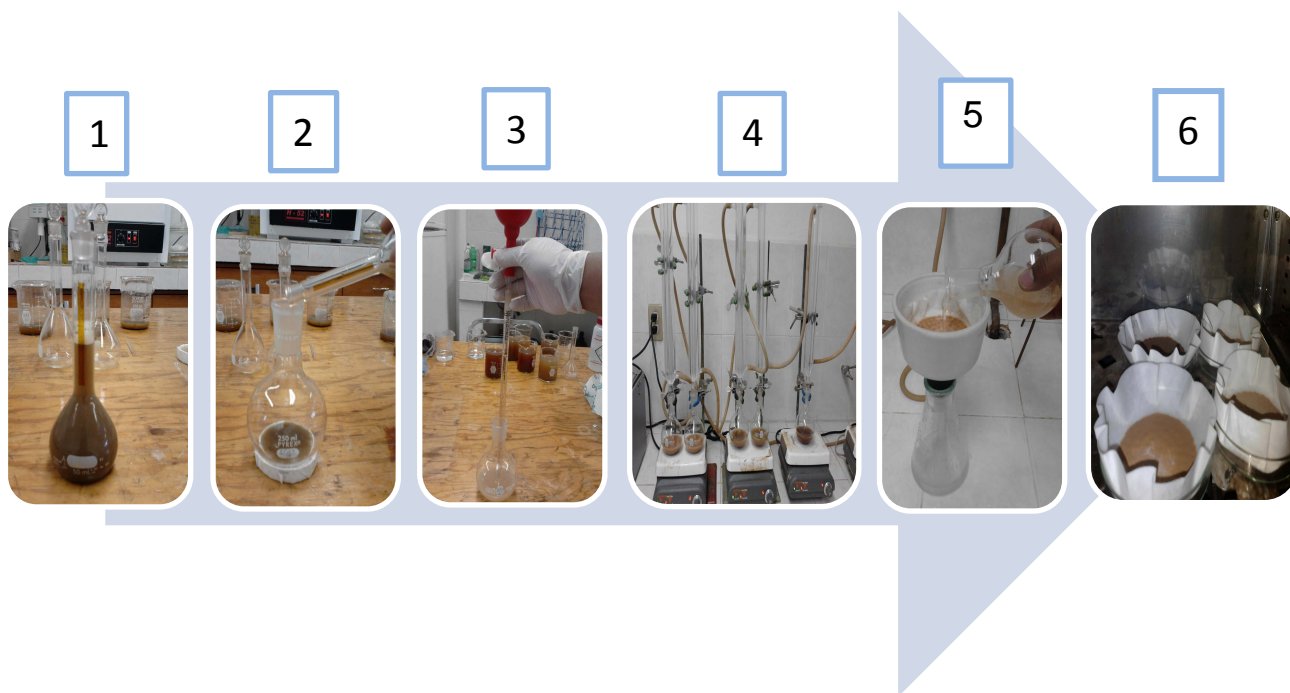


Figura 18. Determinación de No. de Stiasny. **1)** Taninos para el análisis gravimétrico, **2)** Adición de 50 mL de taninos acuosos o etanólicos, **3)** Añadiendo formaldehído y ácido (HCl) **4)** Reflujo de taninos acuosos o etanólicos, **5)** Filtrado y lavado, **6)** Secado a peso constante de taninos en estufa de secado a 100 ± 3 °C.

5.3.8.3. Taninos hidrolizables

Este análisis cualitativo se realizó con 10 mL del residuo del filtrado de No. de Stiasny, se le agregó 1 mL de sulfato férrico al 1%, además se añadieron 0.05 g de acetato de sodio. Si la muestra presenta una coloración azul violeta, indica la presencia de taninos hidrolizables (Figura 19).

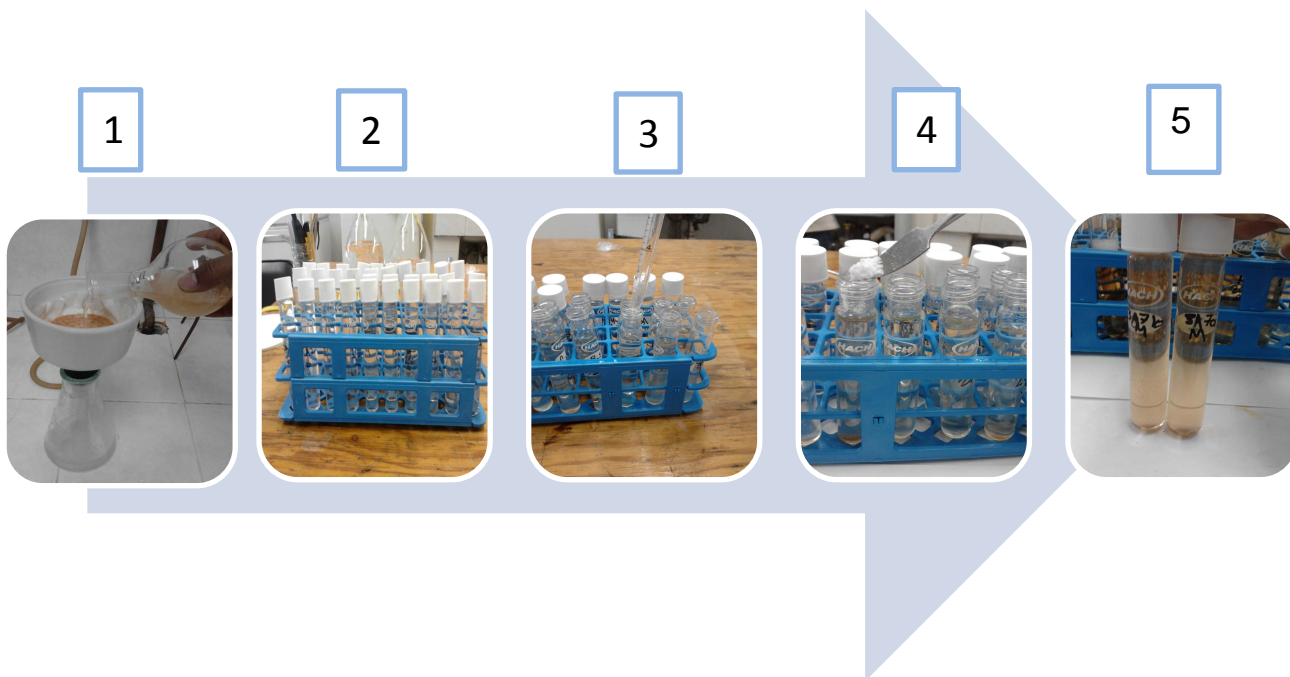


Figura 19. Identificación cualitativa de taninos hidrolizables. **1)** Residuo del No. de Stiasny para el análisis cualitativo, **2)** Muestras del filtrado de taninos acuosos y etanólicos, **3)** Agregando Sulfato Férrico, **4)** Añadiendo acetato de sodio, **5)** Cambio de coloración de las muestras que indican la presencia de taninos hidrolizables.

6. Resultados y Discusión

6.1. Propiedades físicas

6.1.1. Contenido de humedad

La humedad de los residuos maderables se determinó en las muestras tomadas directamente de los equipos del proceso de aserrío de la CINSJP, los valores obtenidos oscilan entre el 36 y 56% en % CH como se muestran en el Cuadro 1 y gráficamente en la Figura 20.

La Madera, Corteza y Madera-Corteza de las tres especies de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*, se encuentran por encima de los valores recomendados por la literatura así mismo el CH de la corteza no cumple con el valor $\leq 10\%$ citado por Obernberger y Thek (2010) para ser utilizada como pelets de la clase A2 (uso en el sector residencial), clase B (uso industrial a gran escala), ni para briquetas $\leq 18\%$ según el estándar Önorm 7135 (2000), pues altos valores de CH afectan el balance de energía (Miranda *et al.* 2009). Se ha encontrado que las maderas de baja densidad por ser más porosas contienen una mayor cantidad de agua que las maderas de alta densidad y la albura por estar conformada por células cuya función es la conducción de agua, presenta un contenido de humedad mayor que el duramen. La albura puede aumentar más del 100% de su masa en agua y hasta 400% en maderas livianas, la madera de pino (*Pinus* spp) puede contener alrededor de 150 % referido a su peso seco. En general en las coníferas ocurre que el contenido de humedad de la albura es mayor que la del duramen (Frühwald, 1986; Harris y Cown, 1991) lo que demuestra que las especies de los *Pinus* contengan un alto contenido de humedad al ser generados los residuos maderables, por otro lado puede ser atribuido a que en las traqueidas del duramen existen resinas que bloquean la conducción de agua, ocasionando una reducción en la permeabilidad de la madera por lo que algunos valores de humedad no presentan altos contenidos de humedad (Wilson y White, 1986).

Cuadro 1. Contenido de humedad de las muestras de Madera, Corteza, Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

% Contenido de humedad	
<i>P. leiophylla</i> M.	49.6 (±1)
<i>P. leiophylla</i> C.	42.5(±1.5)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	44.3(±0.8)
<i>P. montezumae</i> M.	48.9(±0.5)
<i>P. montezumae</i> C.	33.6(±1.2)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	41.9(±1)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	56 (±0.7)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	36.1(±1.3)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	40.8(±0.7)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

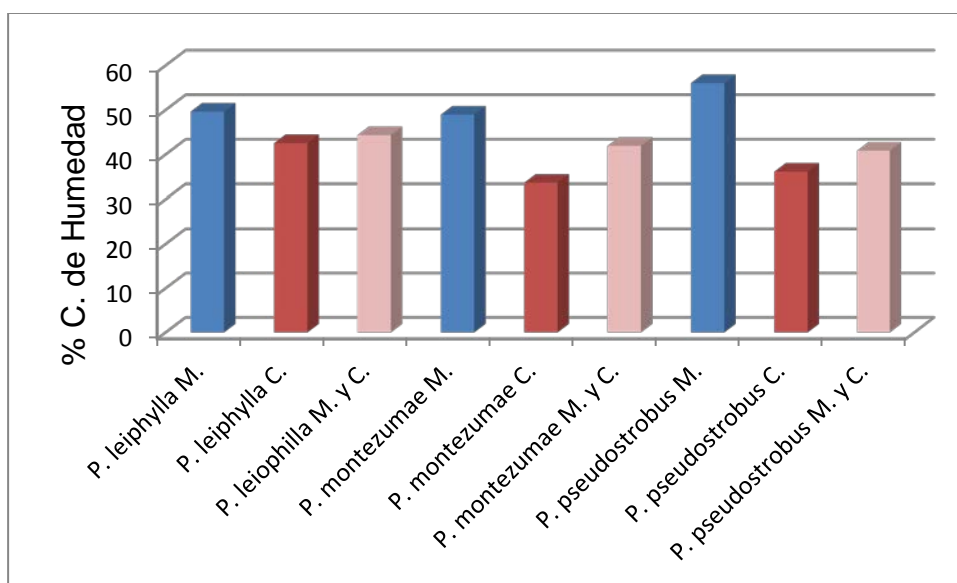


Figura 20. Resultados de porcentaje de contenido de humedad, de Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.1.2. Densidad a granel

Los valores de densidad a granel se presentan en el cuadro 2 y gráficamente en la figura 21. Los valores más altos de densidad a granel se presentaron en corteza y madera-corteza de *Pinus leiophylla*, por otro lado los más bajos se registraron en las maderas de *P. leiophylla* y *P. pseudostrobus* a sí mismo en la corteza de *P. montezumae*. La densidad de la madera es la expresión de la presencia relativa de los distintos elementos celulares que la componen (vasos, traqueidas, fibras, células de parénquima) y esta depende del tamaño de las células, del grosor de la pared celular y de la proporción de los diferentes tipos de tejidos con respecto al volumen total de la madera (Zobel y Tabert, 1984). El uso de las maderas con densidades bajas para la producción directa de energía en forma de calor implica una quema rápida y una menor producción de energía por unidad de volumen, a diferencia de maderas con densidades altas. Así mismo, densidades muy altas implican dificultad para iniciar la combustión del material (Teixeira *et al.* 2002). Por lo tanto, en relación al volumen de Madera, Corteza y Madera-Corteza con el que se cuenta actualmente la baja densidad se relaciona positivamente con el contenido calórico de la madera.

No se dispuso de información de antecedentes sobre la densidad a granel en este tipo de materiales usada en este trabajo.

Cuadro 2. Valores de densidad a granel en Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

Densidad a granel g/cm ³	
<i>P. leiophylla</i> M.	0.19 (±0.005)
<i>P. leiophylla</i> C.	0.30 (±0.004)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	0.31 (±0.009)
<i>P. montezumae</i> M.	0.20 (±0.003)
<i>P. montezumae</i> C.	0.19 (±0.005)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	0.22 (±0.005)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	0.19 (±0.001)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	0.25 (±0.005)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	0.24 (±0.007)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

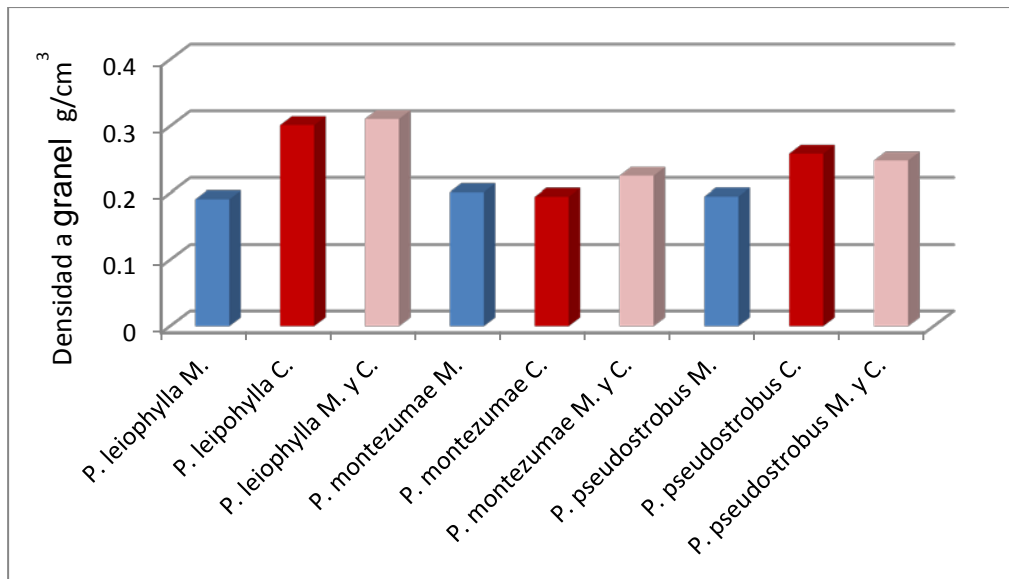


Figura 21. Resultados de densidad a granel (g/cm^3). En Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.1.3. Poder calorífico

Los resultados de poder calorífico se presentan en la Tabla 3 y gráficamente en la Figura 22. Los valores más altos encontrados se presentaron en la madera-corteza de *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*, los valores más bajos registrados se presentaron en la madera de *P. montezumae* y en la corteza de *P. pseudostrobus*. Se observaron diferencias entre Madera, Corteza y Madera-Corteza. El poder calorífico presentado por las especies estudiadas en esta investigación varió de 4290.85 a 4524 cal/g por lo que se encuentran dentro del rango que demostró Islas (1991), donde aseguró que el poder calorífico es un indicador del calor liberado por el combustible al ser quemado, y que este valor para la madera seca puede variar comúnmente entre 3,500 y 5,000 cal/g, por lo tanto siendo altamente influenciado por el contenido de humedad existente del combustible. Debe señalarse que mientras mayor sea el contenido de humedad de la madera, le corresponde un valor menor al poder calorífico, por otro lado Francescato *et al.* (2008) reportaron datos de coníferas similares a los obtenidos en esta investigación, además estos valores son prometedores para el posible uso de los residuos de estas especies en la producción de energía. Por lo anterior se observa que el calor de combustión de la Madera, Corteza y Madera-Corteza de las especies es alto, ya que la leña presenta valores entre 2396.10 y 3594.15 cal/g, según la CINSJP (2009).

Cuadro 3. Valores de poder calorífico en Madera, Corteza y Madera-Corteza, de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

Poder calorífico cal/g	
<i>P. leiophylla</i> M.	4439.74 (±1.1)
<i>P. leiophylla</i> C.	4479.69 (±6.5)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	4469.81(±0.9)
<i>P. montezumae</i> M.	4306.12(±42.5)
<i>P. montezumae</i> C.	4446.32(±53.8)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	4511.98(±21.7)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	4359.14(±20.6)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	4290.85(±47.4)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	4524.39(±66.2)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

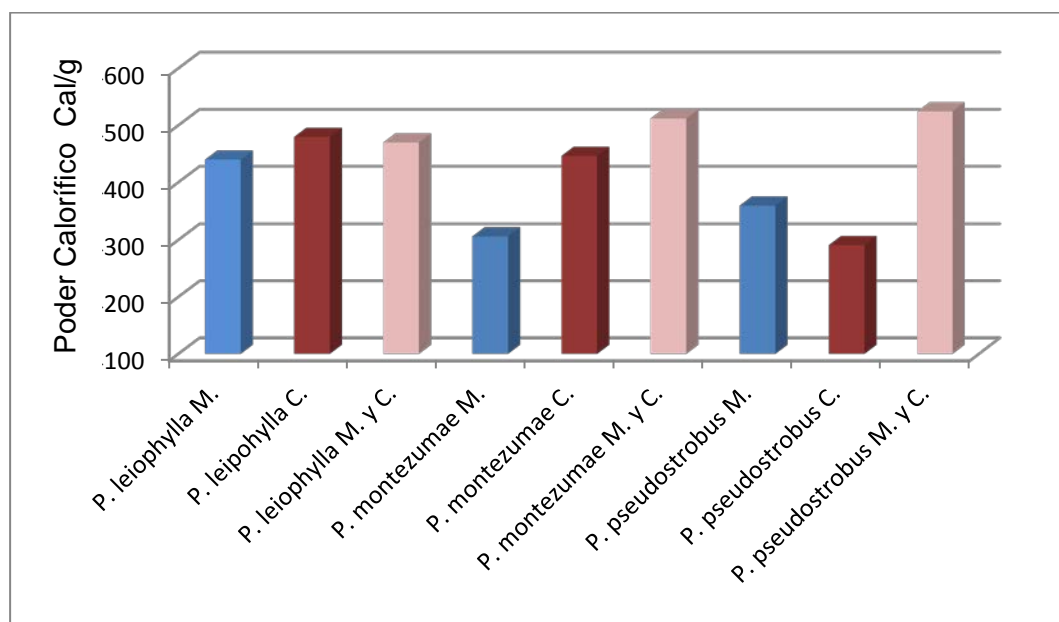


Figura 22. Resultados de poder calorífico en Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.2. Propiedades químicas

6.2.1. pH

Los valores de pH obtenidos se presentan en el Cuadro 4 y gráficamente en la Figura 23. Las cortezas de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* presentaron los valores pH bajos lo que manifiesta una tendencia más ácida. La harina libre de extractos presentó valores mayores de pH en comparación de las muestras de harina con extractos. El valor de pH es una característica que tiene influencia en el uso de la madera, como en la corrosión de metales en contacto con ella, en la fijación de determinados preservantes químicos, en el uso de los residuos maderables como sustratos viveros, entre otros (Fengel y Wegener, 1984). También es conocido que el pH está influenciado por la parte del tronco que se va a analizar, la estación del año, factores climáticos, cantidad y tipos de sustancias extraíbles presentes en la madera y corteza, específicamente por la presencia de ácidos libres y grupos de ácidos, como ácidos resinicos (Kollmann 1959, Fengel y Wegener, 1984; Choon y Roffael, 1990). Estas diferencias pueden ser atribuidas a una mayor cantidad de ácido acético, compuesto de acilo y la interacción entre ellos, como se ha demostrado en algunas especies de latifoliadas (Fengel y Wegener 1984; Volz, 1971). Los valores obtenidos por Bernabé *et al.* (2013) (Cuadro 5) en *P. leiophylla* y *P. montezumae*, son similares a los obtenidos en esta investigación, los valores reportados por Lima (2013) que se encuentran en el (Cuadro 5) demuestran que la corteza de los tres *Pinus* presentan valores bajos de pH al igual que los valores obtenidos en la presente investigación.

Los resultados obtenidos de pH en madera de *P. leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* y en madera-corteza del último mencionado se encuentran alrededor de 4 por lo que pueden ser usados como sustrato prometedor en la producción de plantas forestales (Sánchez *et al.* 2008).

Cuadro 4. Valores de pH en Madera, Corteza y Madera-Corteza, en harina de madera y harina libre de extractos de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

pH	Harina de madera	Harina libre de extractos
<i>P. leiophylla</i> M.	4.09(±0.02)	4.57(±0.1)
<i>P. leiophylla</i> C.	3.29(±0.02)	3.71(±0.007)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	3.46(±0.07)	3.75(±0.05)
<i>P. montezumae</i> M.	4.06(±0.02)	5.01(±0.08)
<i>P. montezumae</i> C.	3.14(±0.007)	3.26(±0.04)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	3.52(±0.02)	3.61(±0.1)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	4.04(±0.04)	4.26(±0.2)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	3.67(±0.01)	3.64(±0.09)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	4.05(±0.06)	4.06(±0.1)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

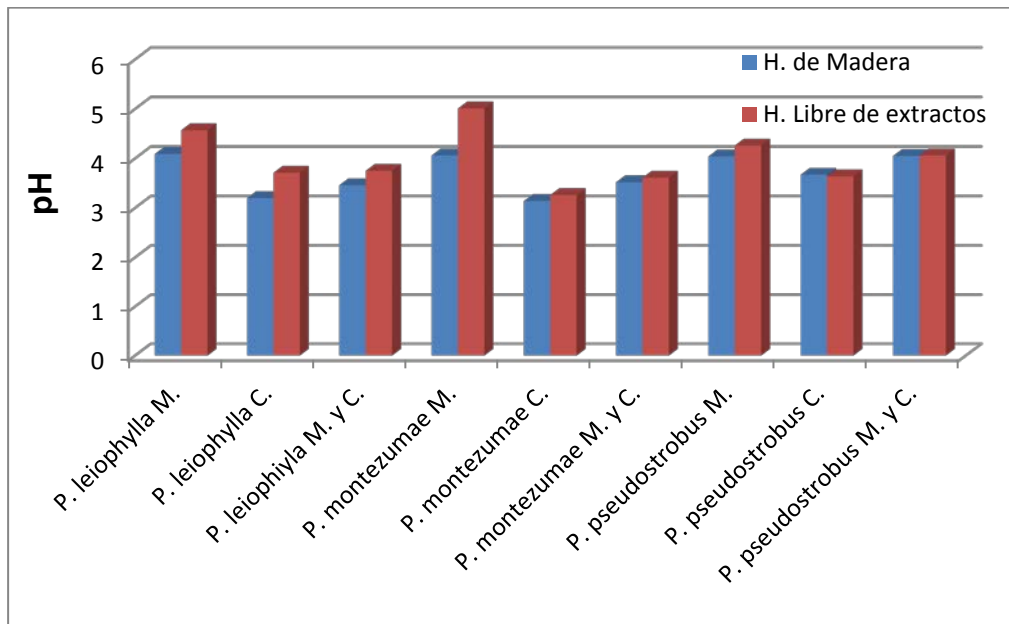


Figura 23. Resultados de pH en Madera, Corteza y Madera-Corteza, en harina de madera y harina libre de extractos, de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

Cuadro 5. Comparación de valores de pH en Madera, Albura, Duramen y Corteza de especies del género *Pinus*.

Especie	pH		Antecedentes
	Harina de Madera	Harina libre de extractos	
<i>Pinus leiophylla</i> Madera	4.09	3.71	Presente Investigación
<i>P. leiophylla</i> Corteza	3.29	4.26	
<i>P. leiophylla</i> Madera y Corteza	3.46	3.64	
<i>P. montezumae</i> Madera	4.06	5.01	
<i>P. montezumae</i> Corteza	3.14	3.26	
<i>P. montezumae</i> Madera y Corteza	3.52	4.57	
<i>P. pseudostrobus</i> Madera	4.04	3.61	
<i>P. pseudostrobus</i> Corteza	3.67	3.75	
<i>P. pseudostrobus</i> Madera y Corteza	4.05	4.07	
<i>P. resinosa</i>	6.00		
<i>P. Sylvestris</i>	5.10		
<i>P. strobus</i>	4.90		
<i>P. pseudostrobus</i> albura	5.5		Rutiaga (2001)
<i>P. pseudostrobus</i> duramen	4-6		
<i>P. teocote</i>	5.35		Bernabé <i>et al.</i> (2013)
<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. leiophylla</i> Albura	5.18		Lima (2013)
<i>P. leiophylla</i> Duramen	5.12		
<i>P. leiophylla</i> Corteza	4.16		
<i>P. montezumae</i> Albura	4.92		
<i>P. montezumae</i> Duramen	4.81		
<i>P. montezumae</i> Corteza	4.23		
<i>P. pseudostrobus</i> Albura	5.40		
<i>P. pseudostrobus</i> Duramen	4.94		
<i>P. pseudostrobus</i> Corteza	4.26		

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

6.2.2. Cenizas

Los valores del porcentaje de cenizas se encuentran en el cuadro 6 y gráficamente en la figura 24. Los valores más bajos de cenizas se presentaron en la madera de las tres coníferas en estudio, el valor más alto se presentó en la madera-corteza de *P. montezumae*. El porcentaje de cenizas de las maderas y cortezas de las tres especies de pinos están por debajo del rango (2.0 a 5.0 %) reportado por Obernberger y Thek (2010), sin embargo las muestras madera-corteza de *P. leiophylla* y *P. montezumae*, se encuentran dentro del rango antes mencionado. Elevado contenido de ceniza del combustible puede afectar el equipo de combustión y a los usuarios del sector residencial por aumentar los procesos de limpieza. Según los porcentajes de ceniza encontrados, se pueden elaborar pelets clase A2 a partir de madera y corteza de *P. leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* por presentar un porcentaje de ceniza ≤ 1.5 y pelets clase B de la madera-corteza de *P. montezumae* por presentar un porcentaje ≤ 3.5 (Obernberger y Thek 2010).

La cantidad de cenizas varía con las especies y dentro de la misma especie, en la estación del año, condiciones del clima, influyen tanto en cantidad como en la composición de las cenizas. La albura es normalmente más rica en ceniza que el duramen, pero más elevada para cortezas (Kollmann 1959).

Cuadro 6. Valores de porcentaje de cenizas de Madera, Corteza y Madera-Corteza en *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

% Cenizas	
<i>P. leiophylla</i> M.	0.23(±0.06)
<i>P. leiophylla</i> C.	1.07(±0.01)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	2.61(±0.1)
<i>P. montezumae</i> M.	0.13(±0.01)
<i>P. montezumae</i> C.	0.64(±0.004)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	5.44(±1.7)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	0.19(±0.1)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	1.49(±0.05)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	1.05(±0.01)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

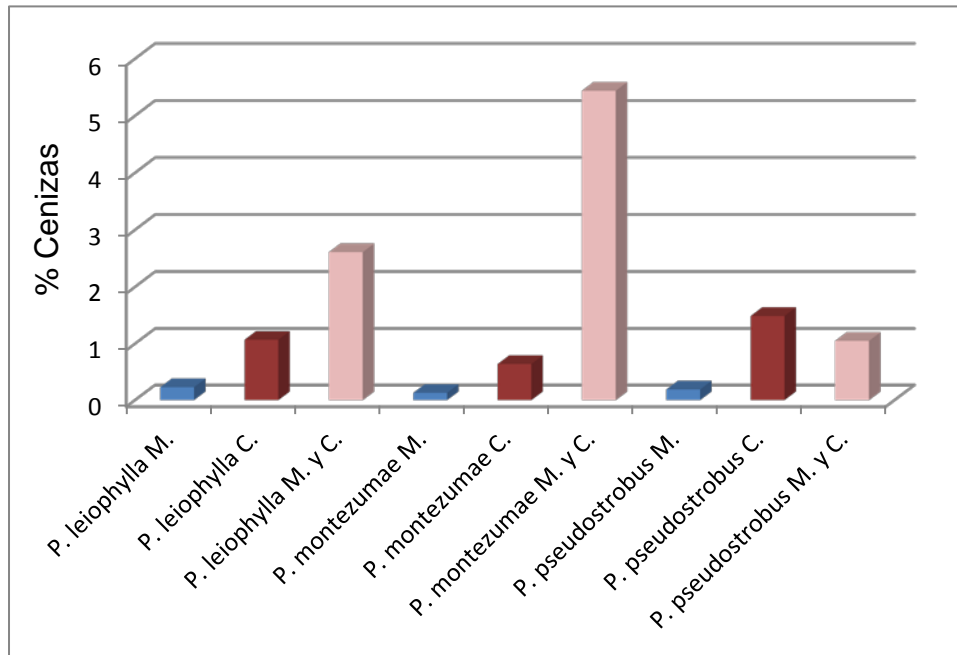


Figura 24. Resultados de porcentaje de Cenizas en Madera, Corteza y Madera-Corteza en *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.2.3. Solubilidad a la sosa

Los porcentajes que se obtuvieron al llevar las muestras a la solubilidad a la sosa (NaOH) al 1% se encuentran reportados en el Cuadro 7 y expresados gráficamente en la Figura 25. Los valores obtenidos más altos de solubilidad se presentaron en las maderas de las tres especies, el valor más bajo obtenido se presentó en la corteza de *P. pseudostrobus*. De la literatura citada comparado con las mismas especies y otras especies del género *Pinus* reportados en el Cuadro 8 los valores obtenidos en esta investigación se encuentran por encima teniendo grandes diferencias. Según la norma utilizada TAPPI (2000), se encuentran entre 10 y 17 %. La solubilidad se relaciona con la presencia de carbohidratos de bajo peso molecular, principalmente hemicelulosas, tejido parenquimático y celulosa degradada. Por lo tanto altos valores de solubilidad a la sosa pueden estar relacionados con la durabilidad natural de la madera (TAPPI, 2000). La durabilidad natural comprende aquellas características de resistencia que posee la madera sin tratamiento químico frente al ataque de hongos, insectos, perforadores marinos y otras influencias, la mayoría de las maderas tienen una durabilidad diferente frente a los diversos organismos que la pueden degradar (Bobadilla *et al* 2005). Por lo tanto los valores altos de solubilidad a la sosa de Madera, Corteza y Madera-Corteza de los tres *Pinus* pueden presentar baja durabilidad natural, así mismo pueden ser susceptibles a los agentes de degradación de la madera anteriormente mencionados.

Cuadro 7. Valores de porcentaje de solubilidad a la sosa (NaOH) al 1% de Madera, Corteza y Madera-Corteza en *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

% Solubilidad a la sosa (NaOH) al 1 %	
<i>P. leiophylla</i> M.	87.24 (± 0.01)
<i>P. leiophylla</i> C.	61.56 (± 1.5)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	65.76 (± 0.2)
<i>P. montezumae</i> M.	87.28 (± 0.08)
<i>P. montezumae</i> C.	67.55 (± 1.2)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	55.44 (± 0.1)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	85.29 (± 0.7)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	49.21 (1.2)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	76.48 (0.7)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

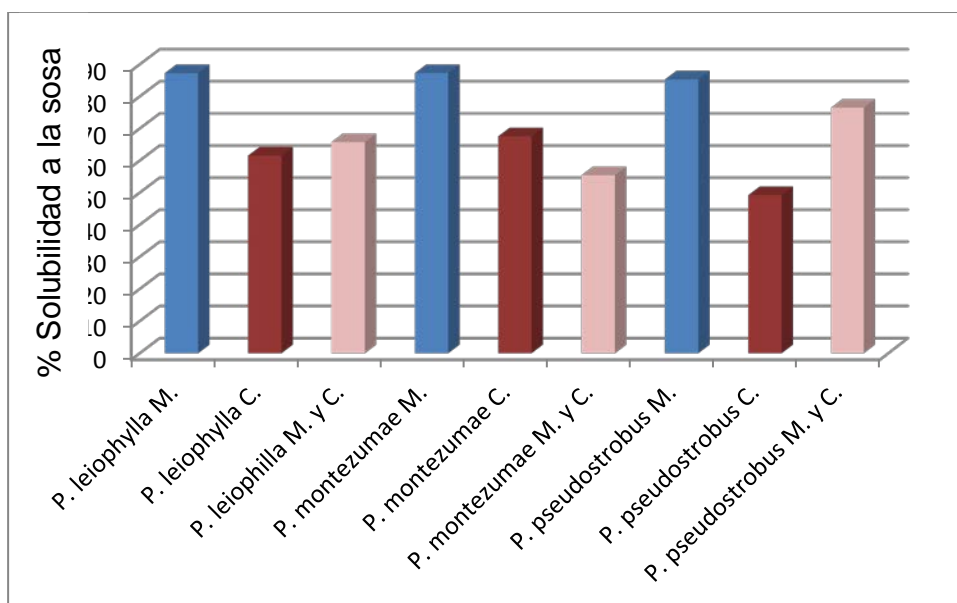


Figura 25. Resultados de porcentaje de solubilidad a la sosa al 1% de Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*.

Cuadro 8. Comparación de valores de solubilidad a la sosa de Madera, Albura, Duramen, Corteza y Madera-Corteza del género *Pinus*.

Especie	% Solubilidad a la sosa	Antecedentes
<i>P. leiophylla</i> M.	87.28	Presente Estudio
<i>P. leiophylla</i> C.	67.55	
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	87.24	
<i>P. montezumae</i> M.	61.56	
<i>P. montezumae</i> C.	85.29	
<i>P. montezumae</i> M. y C.	49.21	
<i>P. pseudostrobus</i> M.	55.44	
<i>P. pseudostrobus</i> C.	65.76	
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	76.48	
<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> Doulg. ex D.	13 (6)	
<i>P. palustris</i> Mill	12 (7)	
<i>P. ponderosa</i> Doulg. ex L.	16 (2)	
<i>P. resinosa</i> Ait	13	
<i>P. sabiniana</i> Doulg.	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. stobus</i> L.	19	
<i>P. insularis</i> Endl	14	
<i>P. merkusii</i> Jungh. & Vr.	17	
<i>P. armandi</i> Franch	19	
<i>P. luchensis</i> Mayr	17	
<i>P. teocote</i>	21.94	Bernabé <i>et al.</i> (2013)
<i>P. michoacana</i>	17.87	
<i>P. leiophylla</i>	25.35	
<i>P. montezumae</i>	22.48	
<i>P. oocarpa</i>	24.46	Lima (2013)
<i>P. leiophylla</i> Albura	5.81	
<i>P. leiophylla</i> Duramen	5.65	
<i>P. leiophylla</i> Corteza	4.14	
<i>P. montezumae</i> Albura	5.84	
<i>P. montezumae</i> Duramen	5.98	
<i>P. montezumae</i> Corteza	3.14	
<i>P. pseudostrobus</i> Albura	5.77	
<i>P. pseudostrobus</i> Duramen	4.63	
<i>P. pseudostrobus</i> Corteza	6.37	

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

6.2.4. Sustancias extraíbles

Los resultados obtenidos de los extractos fueron expresados en porcentaje base seca de la Madera, Corteza y Madera-Corteza se presentan en el Cuadro 9 y gráficamente en la figura 26. En general el porcentaje más bajo se encontró en el extracto metanólico en la madera de *P. pseudostrobus*, el más alto se reflejó en el extracto acetónico de Madera-Corteza de *P. montezumae*. De los extractos ciclohexánicos el valor más bajo registrado se encontró en la madera de *Pinus montezumae*, el más alto en Madera-Corteza de la misma especie. En los extractos acetónicos el valor más bajo encontrado se presentó en la Madera de *P. pseudostrobus* el valor más alto se encontró en Madera-Corteza de *P. montezumae*. Para los extractos metanólicos se encontró que la madera de *P. pseudostrobus* presentó el valor más bajo, en la Corteza de la misma especie se encontró el porcentaje más alto. Finalmente en los extractos acuosos se encontraron en menor cantidad en la Corteza de *P. leiophylla* y en Madera-Corteza de *P. pseudostrobus*, el valor más alto se encontró en la Corteza de *P. pseudostrobus*.

En general los porcentajes de sustancias extraíbles totales (cuadro 9), donde se muestran los valores más altos presentados fue en Madera-Corteza de *P. montezumae* y en Corteza de *P. pseudostrobus*. Generalmente, la albura de las maderas blandas contiene menor contenido de sustancias extraíbles que el duramen Fengel y Wegener (1984). El método de extracción sucesiva con solventes de polaridad creciente llevado acabó en esta investigación, tiene como finalidad, una disgregación o separación de las sustancias solubles de la madera (Fengel y Wegener 1984), para un posterior estudio o análisis más específico de las sustancias extraíbles que componen la madera y corteza; 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 (Aguilar 2006; Téllez *et al.* 2010).

La corteza y madera-corteza de los tres *Pinus* estudiados presentaron valores de porcentajes de sustancias extraíbles altos (Cuadro 9). La corteza al igual que la madera está formada por los componentes típicos de la pared celular, celulosa, lignina y por sustancias extraíbles, que se forman a partir del metabolismo secundario de las plantas y que contienen compuestos variados como terpenos, grasas, ceras, fenoles, azúcares, entre otros, por lo que la corteza se caracteriza por un alto contenido de extraíbles (Rydholm 1965).

Es importante considerar que la cantidad y las variaciones que existen en el contenido de extraíbles presentes en la madera y corteza, se deben a la condiciones de crecimiento; parte del árbol, altura del árbol, médula, duramen y albura, factores ambientales, genéticos, edad del árbol, clima, cantidad de agua suministrada, nutrientes disponibles y época de la corta (Aguilar 2006; Fonseca 2006; Ramos *et al.* 2011), por lo que las variaciones de los valores encontrados en madera, corteza y madera-corteza se presentan

reflejados en el Cuadro10 que compara los valores de las extracciones en el presente estudio y en los antecedentes presentados.

Cuadro 9. Porcentaje de extractos ciclohexánicos, acetónicos, metanólicos, acuosos y extractos totales de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* en Madera, Corteza y Madera-Corteza.

Muestra	Ciclohexano	Acetona	Metanol	Agua	% Extractos totales
<i>P. leiophylla</i> M.	1.12 (±0.06)	1.23 (±0.1)	1.91(±0.5)	2.8(±0.1)	7.07(±1)
<i>P. leiophylla</i> C.	2.53 (±0.2)	3.35(±0.2)	1.7(±0.2)	2.08(±1)	9.66(±0.7)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	2.44(±0.07)	3.98(±0.06)	1.93(±0.07)	2.12(±1.2)	10.48(±1.5)
<i>P. montezumae</i> M.	1.08(±0.2)	1.27(±0.1)	1.5(±0.1)	2.82(±1.1)	6.68(±1.6)
<i>P. montezumae</i> C.	2.19(±0.3)	2.95(±0.2)	1.67(±0.05)	3.5146(±1)	10.33(±0.6)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	4.75(±0.1)	11.02(±0.7)	2.16(±0.1)	2.46(±0.09)	20.41(±1.1)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	1.21(±0.2)	1.12(±0.06)	0.71(±0.1)	3.58(±0.5)	6.63(±1.1)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	1.45(±0.1)	2.98(±0.2)	5.85(±0.3)	6.79(±0.3)	17.09(±1.1)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	1.95(±0.04)	2.03(±0.07)	1.57(±0.01)	2.0(±0.3)	7.55(0.4)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

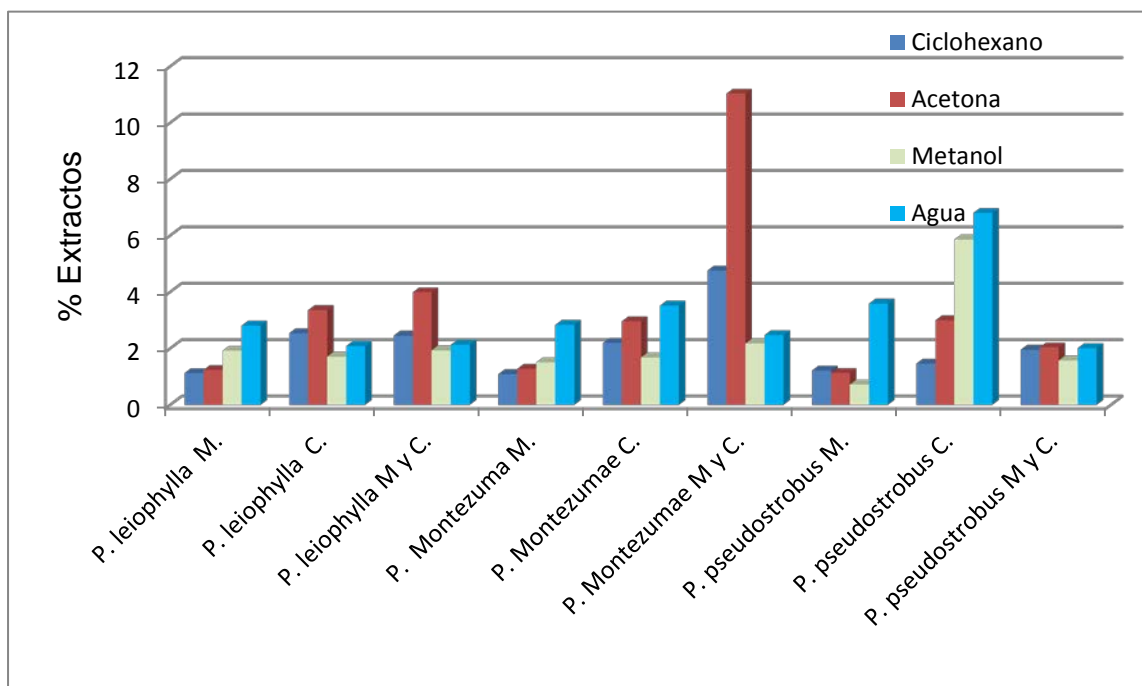


Figura 26. Resultados de porcentaje de extractos ciclohexánicos, acetónicos, metanólicos y acuosos de Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae*, *P. pseudostrobus*.

Cuadro 10. Comparación de valores de porcentaje de sustancias extraíbles totales con diferentes solventes y en otros estudios realizados

Especie	Solventes	% Extractos totales	Antecedentes
<i>P. leiophylla</i> M.	Ciclohexano	7.07	Presente Estudio
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. leiophylla</i> C.	Ciclohexano	9.66	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	Ciclohexano	10.48	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. montezumae</i> M.	Ciclohexano	6.68	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. montezumae</i> C.	Ciclohexano	10.33	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. montezumae</i> M. y C.	Ciclohexano	20.41	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. pseudostrobis</i> M.	Ciclohexano	6.63	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. pseudostrobis</i> C.	Ciclohexano	17.09	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. pseudostrobis</i> M. y C.	Ciclohexano	7.55	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. bankasiana</i> Lamb	Agua caliente	2.9	
	Etanol-Benceno		
<i>P. radiata</i> D. Don	Agua caliente	1.7	
	Etanol-Benceno		

<i>P. strobilus</i> L.	Agua caliente	7.9	Fengel y Wegener (1984)
	Etanol-Benceno		
<i>P. strobilus</i> L.	Agua caliente	10.7	
	Etanol-Benceno		
<i>P. pseudostrobus</i> (Albura)	Éter de petróleo	6.74	Cruz (1991)
	Ciclohexano-Etanol		
<i>P. pseudostrobus</i> (Albura)	Agua caliente	1.9	
	Éter		
<i>P. pseudostrobus</i> (Duramen)	Agua caliente	4.3	Rutiaga (2001)
	Éter		
<i>P. teocote</i>	Ciclohexano	8.15	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. michoacana</i>	Ciclohexano	8.07	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. leiophylla</i>	Ciclohexano	8.19	Bernabé <i>et al.</i> (2013)
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. montezumae</i>	Ciclohexano	7.61	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. oocarpa</i>	Ciclohexano	8.02	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. leiophylla</i> Albura	Ciclohexano	6.26	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. leiophylla</i> Duramen	Ciclohexano	9.73	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. leiophylla</i> Corteza	Ciclohexano	33.73	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. montezumae</i> Albura	Ciclohexano		

	Acetona	7.73	Lima (2013)
	Metanol		
	Agua		
<i>P. montezumae</i> Duramen	Ciclohexano	8.75	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. montezumae</i> Corteza	Ciclohexano	36.32	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. pseudostrobus</i> Albura	Ciclohexano	5.41	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. pseudostrobus</i> Duramen	Ciclohexano	17.28	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		
<i>P. pseudostrobus</i> Corteza	Ciclohexano	15.39	
	Acetona		
	Metanol		
	Agua		

6.2.5. Lignina

Los valores de porcentaje de lignina se presentan en el cuadro 11 y gráficamente en la figura 27. Generalmente los valores más altos de porcentaje de lignina se encontraron en las cortezas de las tres especies. Los valores más bajos obtenidos se presentaron en la madera de las tres especies.

Datos reportados en la literatura para lignina oscilan entre 26 y 28% (Kollmann 1959), 10.2 a 29.8 % (Fengel y Wegener, 1984) y 21 a 33% (Rowell 1954), todos ellos para coníferas y específicamente para el género *Pinus*. Por lo tanto las maderas de los tres *Pinus* investigadas en este estudio se encuentran dentro de los rangos mencionados anteriormente. En general la madera contiene entre 20 y 30% de lignina la cual forma parte de la pared celular y de la lámina media de las fibras de la madera. La lignina es un polímero no tóxico compuesto de unidades de fenil propano como guayacil con enlaces carboxilos e hidroxilos presentándose en las maderas de las coníferas, según la literatura los valores en el contenido de lignina pueden variar dependiendo del método de extracción (Kurth y Smith, 1954; Higuchi *et al* 1967), en esta investigación se encontraron valores altos de lignina en las cortezas (Cuadro11) por lo que se considera que valores altos en contenido de lignina en los materiales incrementa la calidad como combustible, el valor calorífico reportado de la lignina es de 26, 000 a 27,000 J g⁻¹ (Francescato *et al.* 2008).

Cuadro 11. Valores de porcentaje de lignina de Madera, Corteza y Madera-corteza en *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

% Lignina	
<i>P. leiophylla</i> M.	29.57(±0.8)
<i>P. leiophylla</i> C.	51.11(±3.2)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	45.82(±0.7)
<i>P. montezumae</i> M.	29.76(±1.2)
<i>P. montezumae</i> C.	50.3(±0.1)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	53.09(±2.8)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	32.54(±2.1)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	50.46(±0.5)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	48.32(±0.2)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

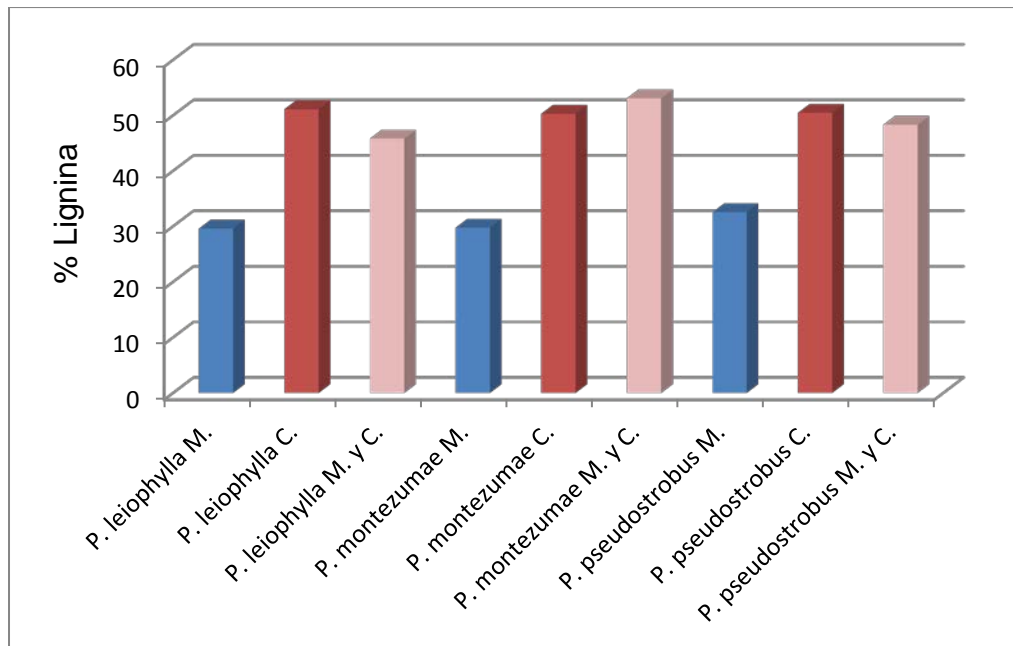


Figura 27. Resultados de porcentaje de lignina de Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.2.6. Holocelulosa

Los valores de porcentaje de holocelulosa se presentan en el cuadro 12 y gráficamente en la figura 28. En el caso de la madera de las tres especies coinciden con los valores registrados en la literatura, los valores más altos obtenidos se presentaron en las maderas de *P. montezumae*, y *P. leiophylla*. Los valores más bajos encontrados se presentaron en las cortezas de las tres especies estos valores se encuentran en un rango que va de 45.84 a 48.32 %. Los datos obtenidos de la literatura establecen parámetros que van de 44 al 71 % de contenido de holocelulosa para madera del género *Pinus* (Rowell 1984), quien los recopila y fundamenta para especies a nivel internacional, los datos obtenidos en la madera de este estudio se encuentran por encima al parámetro indicado. Otra variación es la que señalan Fengel y Wegener (1984) que va del 70 al 74% para el género *Pinus*, por lo tanto los valores obtenidos bajo esta investigación se incorpora al intervalo señalado a diferencia de la madera de *P. montezumae* presentó valores por encima al intervalo mencionado. Se tuvo cuidado al comparar valores entre países y regiones, porque los métodos y las técnicas cambian, además de tener en cuenta la variabilidad de la composición química de la madera (Rowell 1984). El contenido de holocelulosa en la madera abarca del 70 al 90% por ciento del total de las sustancias de la pared celular libre de extractos o material extraño. La presencia de holocelulosa es generalmente mucho más elevada en las maderas duras que en las maderas blandas. Es conocido que el contenido de polisacáridos en la corteza es bajo en relación a la madera (Fengel y Wegener 1984), lo que refleja la variabilidad en la composición química de la madera.

Cuadro 12. Valores de porcentaje de holocelulosa de Madera, Corteza y Madera-Corteza en *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

% Holocelulosa	
<i>P. leiophylla</i> M.	73.25 (± 0.9)
<i>P. leiophylla</i> C.	47.72 (± 5.5)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	58.07 (± 2.4)
<i>P. montezumae</i> M.	76.98 (± 0.2)
<i>P. montezumae</i> C.	48.32 (± 1)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	45.86 (± 2.8)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	71.92 (± 1.3)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	45.84 (± 0.3)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	61.46 (± 2.3)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

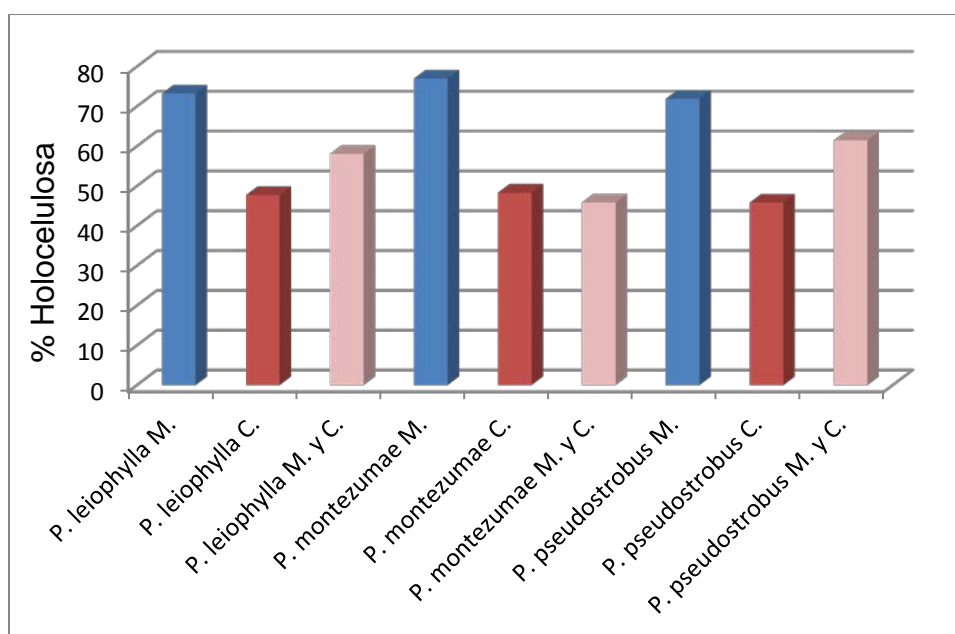


Figura 28. Resultados de porcentaje de holocelulosa de Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.2.7. Alfa-celulosa

Los valores obtenidos de alfa-celulosa se presentan en el cuadro 13 y gráficamente en la figura 29. Se observaron valores diferentes de porcentaje entre Madera, Corteza y Madera-Corteza. Los valores más altos obtenidos se obtuvieron en la madera y corteza de *P. pseudostrobus*. El más bajo en madera-corteza de *P. montezumae*. En general, el alfa-celulosa indica el contenido de celulosa no degradada, de mayor peso molecular. El contenido de alfa-celulosa de algunas maderas americanas, en base al procedimiento utilizado, se ha calculado entre 46 y 53% por lo que los valores encontrados para las especies son en general altos, los valores reportados por Lima (2013) que se muestran en el Cuadro 14 son mayores en comparación a los obtenidos en este estudio. Diferencias de contenido de alfa-celulosa entre albura y duramen de varias especies han sido reportadas por diversos investigadores quienes han encontrado valores menores en duramen que en albura (Campbell *et al.* 1990; Mariana *et al.* 2005; Gao *et al.* 2011).

Cuadro 13. Valores de porcentaje de alfa-celulosa de Madera, Corteza y Madera-Corteza en *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

% Alfa-celulosa	
<i>P. leiophylla</i> M.	62.72(±2)
<i>P. leiophylla</i> C.	57.37(±1)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	57.69(±3.7)
<i>P. montezumae</i> M.	60.03(±1.4)
<i>P. montezumae</i> C.	53.5(±1.2)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	49.6(±1)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	65.45(±1.5)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	64.56(±1)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	52.22(±3.5)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

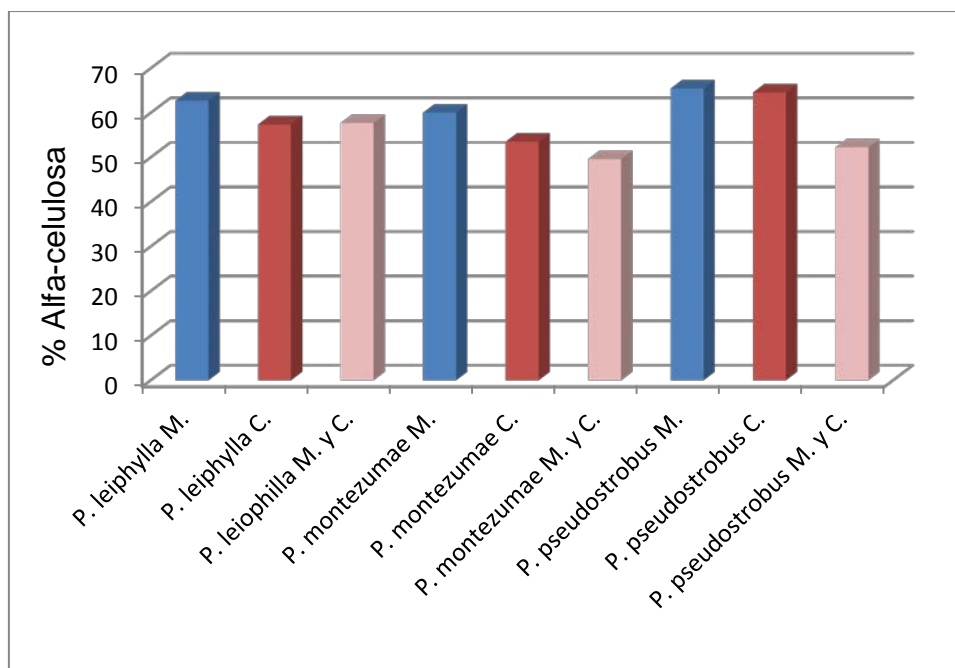


Figura 29. Resultado de porcentaje de Alfa-celulosa de Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

Cuadro 14. Comparación de valores de Alfa-celulosa en Madera, Abura, Duramen, Corteza y Madera-Corteza.

Especie	% Alfa-celulosa	Antecedentes
<i>P. leiophylla</i> M.	60.03	Presente estudio
<i>P. leiophylla</i> C.	53.50	
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	62.72	
<i>P. montezumae</i> M.	57.37	
<i>P. montezumae</i> C.	65.45	
<i>P. montezumae</i> M. y C.	64.56	
<i>P. pseudostrobus</i> M.	49.6	
<i>P. pseudostrobus</i> C.	57.69	
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	52.22	
<i>P. leiophylla</i> Albura	78.12	Lima (2013)
<i>P. leiophylla</i> Duramen	75.40	
<i>P. leiophylla</i> Corteza	72.22	
<i>P. montezumae</i> Albura	81.35	
<i>P. montezumae</i> Duramen	83.22	
<i>P. montezumae</i> Corteza	73.82	
<i>P. pseudostrobus</i> Albura	81.23	
<i>P. pseudostrobus</i> Duramen	78.52	
<i>P. pseudostrobus</i> Corteza	71.93	

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

6.2.8. Taninos

Los valores de taninos obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica se presentan en el cuadro 15 y gráficamente en la figura 30. En general, se encontró mayor cantidad de taninos en la extracción etanólica en las muestras estudiadas en comparación con la extracción acuosa. Particularmente la Corteza y la Madera-Corteza de las tres especies de *Pinus* tanto para la extracción acuosa como en la etanólica presentaron los valores más altos a comparación con la madera de las tres especies. Los altos contenidos de taninos en las cortezas de *Pinus* obtenidos en esta investigación coinciden con los reportados en la literatura (Kollman 1959; Rosales y González 2003; Rosales *et al.* 2009), esto debido a que en la corteza existe un alto contenido de extraíbles en comparación con la madera (Fengel y Wegener 1984). Los valores obtenidos de taninos acuosos de las tres maderas de *Pinus* son bajos y comparables con los reportados por Bernabé *et al.* (2013) que van de 0.06 a 0.11%, además Kollman (1959) menciona que el contenido de taninos específicamente en la madera, corresponden a un promedio de 0.1%, por lo que los valores obtenidos de la madera de las tres especies en esta investigación se encuentran por encima del promedio anteriormente mencionado. Los taninos presentan propiedades antifúngicas, antibióticas, antioxidantes, alelopáticas entre otras, y tienen gran reputación por su actividad en las plantas para el control al ataque de insectos y a enfermedades microbianas; por lo que se están ensayando como sustitutos de los preservantes clásicos de la madera para protegerla de la biodegradación por hongos e insectos, utilizando extractos tánicos que buscan mejorar la durabilidad de las maderas (Van Acker y Stevens, 2000). Por lo tanto, los taninos acuosos y etanólicos derivados de las cortezas de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus* son probablemente potenciales a presentar las propiedades mencionadas anteriormente. Sin embargo, los valores de taninos mediante extracción acuosa y etanólica de Madera, Corteza y Madera-Corteza de los tres *Pinus* obtenidos en esta investigación están por debajo del valor límite de 8% establecido por algunos investigadores como parámetro para definir si la utilización de una madera o corteza es rentable para el aprovechamiento y extracción de los taninos condensados (Rosales *et al.* 2002).

Cuadro 15. Valores de porcentaje de taninos obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica en Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P.pseudostrobus*.

Taninos	Acuosos	Etanólicos
<i>P. leiophylla</i> M.	0.8 (±0.0)	2.23 (±0.25)
<i>P. leiophylla</i> C.	0.94 (±0.18)	5.65 (±0.53)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	1.42 (±0.04)	6.04 (±0.69)
<i>P. montezumae</i> M.	0.64 (±0.04)	1.71 (±0.35)
<i>P. montezumae</i> C.	1.06 (±0.30)	4.89 (±0.51)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	2.19 (±0.50)	6.38 (±0.0)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	0.8 (±0.0)	1.43 (±0.23)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	5.14 (±0.38)	7.28 (±0.0)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	1.56 (±0.16)	1.26 (±0.39)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

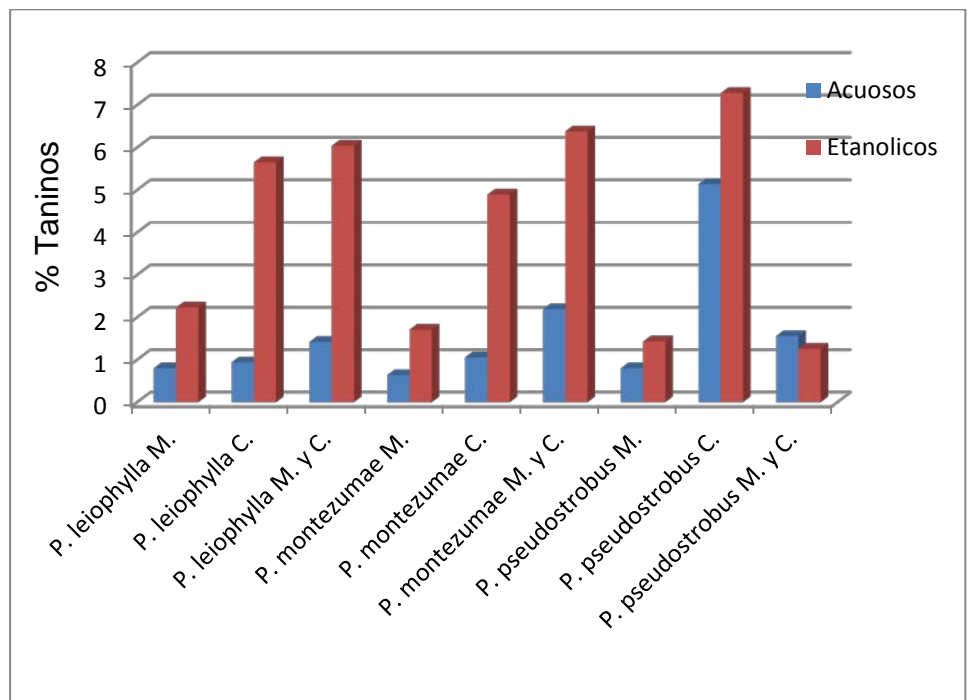


Figura 30. Resultados de porcentaje de taninos obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica en Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.2.8.1. Extracto total

Los valores de extracto total se presentan en el cuadro 16 y gráficamente en la figura 31. Generalmente los taninos obtenidos por extracción acuosa presentaron valores menores de porcentaje de extracto total en comparación con los taninos obtenidos mediante extracción etanólica. Particularmente los taninos extraídos con etanol de Corteza y Madera-Corteza de las tres especies de *Pinus* presentaron los valores más elevados, por otro lado, los valores más bajos se presentaron en la madera de las tres especies tanto en los taninos extraídos con agua como también en los extraídos con etanol. La cantidad de extracto total acuoso y etanólico es comparable con el obtenido en cortezas de otras especies de pino donde también reportan mayor cantidad en extracto total etanólico en comparación con los extractos totales acuosos (Rosales y González 2003). Por otro lado, los valores obtenidos de extracto total acuoso en Madera de *P. leiophylla* y *P. montezumae* son similares a los reportados por Bernabé *et al.* (2013) quien reporta 1.32% para *P. leiophylla* y 1.38% en *P. montezumae*, aunque se ha registrado que diversos parámetros como la edad del árbol, sitio de colecta y solvente de extracción, entre otros, afectan los resultados en los rendimientos de fenoles y en la evaluación química de las especies maderables (Vázquez *et al.* 1987; Waterman y Mole, 1994).

Cuadro 16. Valores de porcentaje de extracto total obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica en Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

Extracto Total	Acuosos	Etanólicos
<i>P. leiophylla</i> M.	2.32 (±0.00)	4.17 (±0.44)
<i>P. leiophylla</i> C.	2.71 (±0.95)	6.91 (±0.11)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	5.18 (±0.39)	7.57 (±0.18)
<i>P. montezumae</i> M.	1.42 (±0.06)	2.62 (±0.55)
<i>P. montezumae</i> C.	2.82 (±0.14)	7.15 (±0.37)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	6.22 (±0.15)	12.02 (±0.0)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	1.96 (±0.00)	3.31 (±0.26)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	10.32 (±0.10)	11.14 (±0.0)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	3.1 (±0.02)	1.93 (±0.67)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

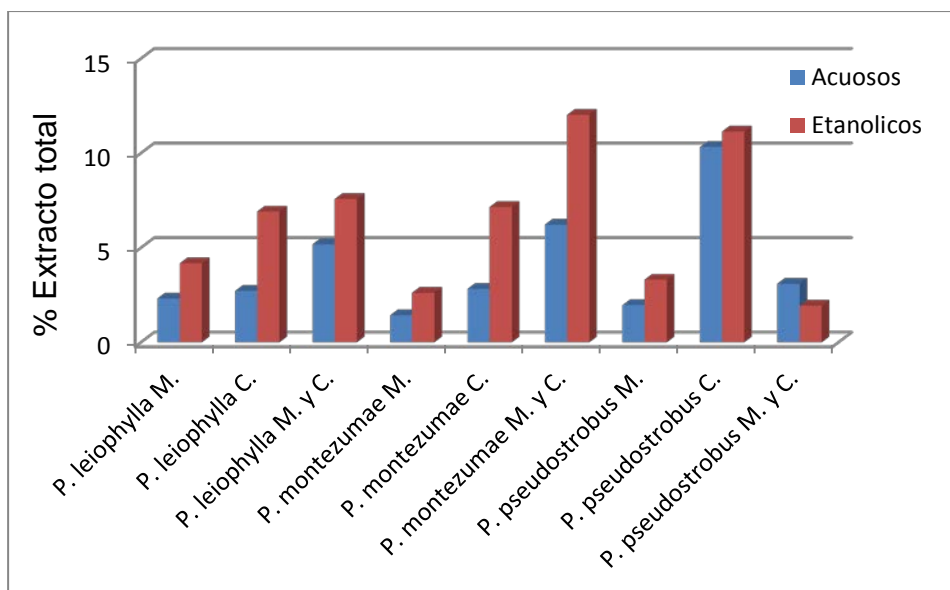


Figura 31. Resultados de porcentaje de extracto total obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica en Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.2.8.2. No. Stiasny

Los valores en porcentaje de No. de Stiasny se presentan en el cuadro 17 y gráficamente en la figura 32. Generalmente los valores más altos de No. de Stiasny se presentaron en los extractos etanólicos a comparación de los extractos acuosos. Particularmente se encontraron los valores más elevados en la Corteza y Madera-Corteza del No. de Stiasny derivado de la extracción etanólica, presentándose una excepción en la Madera-Corteza de *P. montezumae*. Los valores de No. de Stiasny de Madera y Corteza obtenidos en esta investigación se encuentran dentro de los intervalos reportados por Rosales y González (2003) quienes lo determinaron para ocho cortezas del genero *Pinus* estableciendo un intervalo que va de 49 al 85 % en solución etanólica y de 30 a 80% en solución acuosa. Según Rosales *et al.* (2002), un material con un número de Stiasny superior a 65 es una buena fuente de taninos condensados para su posterior aplicación como adhesivos en productos celulósicos o de madera. Por lo tanto, el No. de Stiasny obtenido mediante extracción etanólica de las Cortezas de las tres especies de *Pinus* obtenidos en esta investigación se le atribuyen probablemente las propiedades anteriormente mencionadas. Sin embargo, cuando se trabaja con matrices complejas como la corteza de los árboles, es necesario tomar en consideración no sólo la cantidad de taninos condensados presentes en los extractos liofilizados, sino también la cantidad de material como el extraído de la corteza, ya que esta es la fuente directa de estos metabolitos (Rosales *et al.*, 2002).

Cuadro 17. Valores de porcentaje de No. de Stiasny obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica en Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

No. Stiasny	Acuosos	Etanólicos
<i>P. leiophylla</i> M.	34.2 (± 0.0)	53.4 (± 4.80)
<i>P. leiophylla</i> C.	5.8 (± 5.88)	81.74 (± 6.06)
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	27.4 (± 1.27)	80 (± 11.03)
<i>P. montezumae</i> M.	45.2 (± 4.67)	65.2 (± 0.04)
<i>P. montezumae</i> C.	37.4 (± 8.90)	66.19 (± 0.87)
<i>P. montezumae</i> M. y C.	35.4 (± 8.96)	53.1 (± 0.0)
<i>P. pseudostrobus</i> M.	40.6 (± 0.0)	43 (± 3.72)
<i>P. pseudostrobus</i> C.	49.8 (± 4.21)	65.4 (± 0.0)
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C.	50.2 (± 5.29)	54.48 (± 1.24)

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza

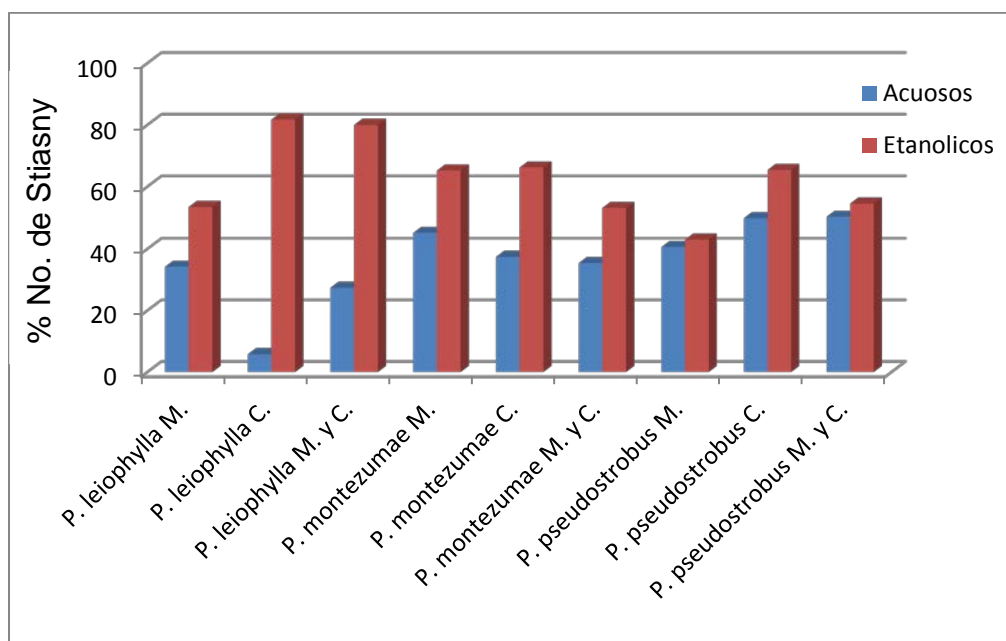


Figura 32. Resultados de porcentaje de No. De Stiasny obtenido mediante extracción acuosa y etanólica en Madera, Corteza y Madera-Corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

6.2.8.3. Taninos hidrolizables

Los resultados cualitativos de taninos obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica se presentan en el cuadro 18. Todas las muestras indicaron la presencia de taninos hidrolizables presentando coloraciones distintas, sin embargo no presentaron la coloración azul violeta indicada por la metodología pero se sabe que cualquier cambio de coloración observada al agregar el acetato de sodio demuestra la presencia de taninos hidrolizables, esto debido a las diferentes concentraciones de taninos hidrolizables en cada una de las muestras (Pedraza, 2006). Los taninos hidrolizables son polifenoles vegetales constituidos por complejas combinaciones de ácido gálico y glucosa, compuestos que se obtienen cuando se les somete a una hidrólisis. Los taninos hidrolizables desempeñan un papel en los mecanismos de protección de la planta contra insectos, hongos de pudrición o como agente alelopático (González, 1996). Sin embargo, también se le atribuyen propiedades farmacéuticas como: agentes anticáncer, antivirales, fotoprotectores, antioxidantes, cicatrizantes, antimicrobianos, e inhibidores de proteasas. Por lo que los taninos hidrolizables que se encuentran en la Madera y Corteza de los *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*, son una probable fuente farmacéutica, además debe considerarse que el exceso de consumo de taninos hidrolizables, se ha reportado como contraproducente por sus propiedades astringentes y tóxicas (Santana *et al* 2002).

Cuadro 18. Resultados cualitativos de taninos hidrolizables obtenidos mediante extracción acuosa y etanólica, en madera, corteza y madera-corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.

Taninos hidrolizables	Acuosos	Coloración	Etanólicos	Coloración
<i>P. leiophylla</i> M.	+	Café-Marrón	+	Marrón
<i>P. leiophylla</i> C.	+	Café-Marrón	+	Marrón oscuro
<i>P. leiophylla</i> M. y C.	+	Café-Rojizo	+	Café-Rojizo
<i>P. montezumae</i> M.	+	Café-Marrón	+	Marrón-Rojizo
<i>P. montezumae</i> C.	+	Café oscuro	+	Café oscuro
<i>P. montezumae</i> M. y C.	+	Verde oscuro	+	Café-Verdoso
<i>P. pseudostrobus</i> M.	+	Marrón	+	Café-Rojizo
<i>P. pseudostrobus</i> C.	+	Marrón	+	Café-Rojizo
<i>P. pseudostrobus</i> M. y C	+	Marrón	+	Café-Rojizo

M= Madera, C= Corteza, M y C= Madera-Corteza
 (+) Indica la presencia de taninos hidrolizables.

7. Conclusiones

Propiedades Físicas

- Los valores de porcentaje de contenido de humedad se encuentran entre 33.6 y 56% por lo tanto son considerablemente altos por lo que se recomienda un pretratamiento de secado, para su uso como biocombustible.
- La densidad a granel fue menor en madera a comparación de la corteza y madera-corteza de *Pinus leiophylla*, *P. montezumae* y *P. pseudostrobus*.
- Los valores de poder calorífico encontrados en esta investigación son altos en relación a los valores esperados para las maderas de *Pinus* reportados en la literatura.

Propiedades Químicas

- Se encontró que las cortezas son más ácidas que las maderas
- La harina de madera con extractos presentó valores más ácidos en comparación con la harina libre de sustancias extraíbles.
- Los valores más bajos de cenizas se presentaron en las maderas de las tres coníferas dichos valores se encuentran entre 0.13 y 0.23%, el valor más alto se presentó fue de 5.44% en la madera-corteza de *P. montezumae*.
- Se encontró alta solubilidad a la sosa en Madera, Corteza y Madera-Corteza de los tres *Pinus* por lo tanto alta solubilidad puede estar relacionada con la baja durabilidad natural.
- Las cortezas de las tres especies estudiadas de *Pinus* contienen mayor cantidad de extractos a comparación con la madera de las mismas especies.
- Generalmente los valores más altos de porcentaje de lignina se encontraron en la corteza y madera-corteza a comparación de la madera de los tres *Pinus*, por lo tanto la propiedad de valores altos en contenido de lignina en los materiales incrementa la calidad como combustible.
- Se encontró mayor cantidad de holocelulosa en la madera que en la corteza
- Los valores más altos de alfa-celulosa se presentaron en la madera de los tres *Pinus*
- Los valores más altos de taninos se presentaron en los extraídos con etanol a comparación de los extraídos con agua y particularmente se encontraron en mayor cantidad en la Corteza y Madera-Corteza de los tres *Pinus*.
- Los extractos totales obtenidos mediante extracción acuosa presentaron valores menores en comparación con los taninos extraídos con etanol.
- Generalmente el No. de Stiasny fue mayor en la extracción etanólica a comparación de la acuosa, particularmente los valores más elevados se presentaron en la corteza de los tres *Pinus*.
- Se encontraron taninos hidrolizables en la madera y corteza de los tres *Pinus*, así mismo estos taninos son una probable fuente farmacéutica.

8. Bibliografía

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 Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México. 38p.

Alvares Vergel, R., Blanco González, Colonia Vuelta J., Fernández Bustamante A., Fernández Martínez C., García de la Fuente M., García Fernández L., González Álvarez R., Roces Díaz J. García Rubio J. V. (2011). Estrategia Regional de Aprovechamiento Sostenible de la Biomasa Forestal del Principado de Asturias. Instituto de Recursos Naturales y Ordenación del Territorio. Universidad de Oviedo.

ASTM (American Section of the International Association for Testing Materials). (2000) Annual book of ASTM standards. (Designation D 1104-56, Reapproved 1978). West Conshohocken, PA. EUA

Bernabé Santiago, R., L.E. Ávila Calderón y J.G. Rutiaga Quiñones. (2013). Componentes químicos de la madera de cinco especies de pino del municipio de Morelia, Michoacán. *Madera y Bosques* 19(2): 21-35.

Bobadilla E., A. Pereyra O., Silva F., Stehr A. M. (2005). Durabilidad Natural de la Madera de Dos Especies aptas para la Industria de la Construcción. *Revista Floresta*. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Nacional Autónoma de México. 419-228.

Campbell A. G., W. Kim J., and P. Koch. (1990). Chemical Variation in lodgepole pine with sapwood/heartwood, stem height and variety. *Wood Fiber Sci* 22: 22-30.

CINSP (Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro). (2011). Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. [Internet] disponible en <https://www.comunidadindigena.co.mx>. (Visitada el día 14 de marzo del 2013).

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

Choon K., K. and E. Roffael (1990). The acidity of five hardwood species. *Holzforschung* 44 (1): 53-58.

Eaton R. and Hale, M. (1993). *Wood: Decay, pests and protection*. Chapman and Hall. London. 546p.

Fengel D. and Wegener, G. (1984). *Wood Chemistry, Ultrastructure, Reactions*. Walter de Gruyter. Berlín, Germany. 415 p.

- Fonseca M., M. R. (2006). Determinación de la Composición Química de la madera de pino (*Pinus maximinoi* H.E. moore) procedente de la finca Rio Frio, Tactic, Alta Verapaz. Tesis Bach. Ciudad de Guatemala. GT: Universidad de San Carlos de Guatemala. 154p.
- Francescato V., Antonini, E., Bergomi, L. Z., Metschina, C., Schnedl, C., Krajnc, N., Koscik, K., Grandziuk P., Nocentini, G. y Stranieri S. (2008). Wood Fuels Handbook. AIEL- Italian Agriforety Energy Association. Legnaro, Italy.
- Frühwald, A. (1986). Technological properties of Wood from tres in polluted regions. IAWA Bulletin. 7 (4): 389-397.
- Gao H., L. Zhang y S. Liu Q. (2011). Energy resources and systems: Volume 2. Springer Science + Business Media B. V.
- González L. R., F. (1996). Preservación de madera con taninos. Madera y Bosques 2(2): 67-73.
- Harris J., M. y D. Cown J. (1991) Basic wood properties. In: Properties and uses of new Zealand radiate pine, vol. 1 Wood properties . kininmonth J. A., Whitehose
- Higuchi, T. Ito, Y., Shimadam, M. y Kawanara, I. (1967). Chemical Properties of bark lignins. Cellulose Chem. Technol. 1: 585-595.
- Islas S., F. (1991). Dendroenergía en México: problemática y perspectiva. Tesis profesional. Universidad Autónoma Chapingo. División de Ciencias Forestales. Chapingo, México. 214 p.
- Kollmann F. (1959). Tecnología de la Madera y sus Aplicaciones. Ministerio de Agricultura. Instituto Forestal de Investigaciones y experiencias, Madrid.
- Kurh, E. F., and J. Smith E. (1954). The Chemical Nature of Douglas-Fir bark. Pulp Paper Mag. Canadá. 55: 125.
- Lima Rojas L. (2013). Evaluación de la composición química y propiedades físicas de madera y corteza de cuatro coníferas para la producción de bioenergía. Tesis de Maestría en Ciencia Forestales. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Autónoma de Nuevo León. Linares, Nuevo León, México.
- Mariana S., M. Torres, A. Fernández, and E. Morales. (2005). Effects of Eucalyptus hearwood in Kraft pulping. Tappi J 4: 8-10.
- Madrigal Sánchez X, Guridi Gómez LI (1990) Los Arboles Municipio de Morelia. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. México. Ciencia Nicolaita.

- Madrigal Sánchez X (1992). Claves de Identificación de Coníferas Silvestres del Estado de Michoacán. Boletín Divulgativo. No. 58. México, DF. 100p.
- Martínez M. (1948). Los Pinos Mexicanos, Ed. 2. México City: Universidad Autónoma de México.
- Martínez M. (1992). Los Pinos mexicanos. 3ª Edición. Ediciones BOTAS. México. 340p.
- Martínez Sánchez M. T. (1999). Características anatómicas macroscópicas de la madera de 11 especies de genero *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.
- Miranda M. T., J. I. Arranz, S. Rojas and I. Montero, (2009). Energetic Characterization of densified residues from Pyrenean oak forest. *Fuel*, 88(11): 2106 -2112.
- Obernberger I. and G. Thek (2010) The pellet Handbook. First ed. London-Washington DC: Earthscan, 2010. 593p.
- Önorm 7135, M. (2000), Compressed Wood or compressed bark in natural state-pellets and briquettes, Requirements and test specifications, Österreichisches Normungsinstitut (Ed.), Vienna, Austria.
- Pedraza Bucio F., E. (2006). Composición química de la corteza de 4 especies de eucalipto y evaluación de las propiedades de sus extractos tánicos. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Michoacán, México.
- Programa de Manejo Forestal Maderable del predio “Comunidad Indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro” (2009).
- Rowell R., M. (1984). The Chemistry of Solid Wood. American Chemical Society. Washinton, D. C. U.S.A., 614p.
- Ramos Pantaleón D, Ávila Calderón L.E.A., Ochoa Ruiz HG, Rutiaga Quiñones JG (2011) Contenido de sustancias extraíbles en la madera de *Enterolobium cyclocarpum* (Jacq.) Griseb. (Leguminosae). *Ciencia Nicolaita*, 53: 7-19.
- Rosales M. Galindo, A. & González, R.F. (2002). Taninos condensados en la corteza de *Pinus chihuahuana* y *P. durangensis*. *Información Tecnológica* 13(1): 39-42.
- Rosales Castro M, González Laredo R. F. (2003). Comparación del contenido de compuestos fenólicos en la corteza de ocho especies de pinos. *Madera y Bosques* 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 Mexicano de Tecnología de Productos Forestales. (Memorias en extenso) Pachuca, Hidalgo. México.

Rosales Castro M, González Laredo R. F., Rocha Guzmán N E, Gallegos Infante J A, Peralta Cruz Javier y J Karchesy J. (2009). Evaluación química y capacidad antioxidante de extractos polifenólicos de cortezas de *Pinus cooperi*, *P. engelmannii*, *P. leiophylla* y *P. teocote*. Madera y Bosques 15(3): 87-105.

Rutiaga Quiñones J. G. (2001). Chemische und Biologische Untersuchungen Zum Verhalten dauerhafter Holzarten und ihrer Extrakte gegenüber holzabbauenden Pilzen. Buchverlag. München

Runkel R. O. H., Wilke, K. D. (1951). Zur Kenntnis des thermoplastischen Verhaltens von Holz. Holz Roh Werkstoff. 9: 260-270p.

Rydholm S. (1965). Pulping Processes. New York, Interscience Publishers, 126p.

SAI -2001- elaborado con datos del INEGI (2001). Consejo Civil Mexicano para la Silvicultura Sostenible (CCMSS).

Sánchez Córdova, T., A. Aldrete, V. M. Cetina Alcalá y J. López Upton. (2008). Caracterización de medios de crecimiento compuestos por corteza de pino y aserrín. Madera y Bosques 14(2):41-49.

Santana Romero J., L. Calderón Martínez C. F., Martínez Luzardo F., Pérez R. M., Martha Montalvo Duquesne M., Ávila Cabrera A. M., Y Codorniu Hernández E. (2002). Biodistribucion y Farmacéutica de Taninos de *Pinus caribaea* Morelet y *Casuarina equisetifolia* en ratones. Instituto Superior de Ciencias y Tecnologías Nucleares. Revista Cubana Farmacéutica, 36(2):112-20.

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

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2006). Anuario Estadístico de la Producción Forestal. [Internet]. Disponible en [https:// www.cnf.gob.mx](https://www.cnf.gob.mx). [Visitada el 8 de diciembre del 2013].

SEMARNAT (Secretaria de Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2012). Anuario Estadístico de la Producción Forestal. [Internet]. Disponible en [https:// semarnat.gob.mx](https://semarnat.gob.mx). [Visitada el 22 de abril del 2014].

TAPPI. (Professional organization dedicated to the pulp and paper industries). (2000). Tappi Test Methods. TAPPI Press. Atlanta.

- Teixeira A., M. A. Moura B. y A. López L. (2002). Quantificacao e caracterizacao energética da madeira e casca de especies do cerrado. *Ciencia Forestal*, Santa María, V. 12, n. 1, 71-80.
- Téllez Sánchez C. Ochoa Ruiz H. G., Sanjuán Dueñas R, Rutiaga Quiñones JG (2010). Componentes químicos del duramen de *Andira inermis* (W. Wright) DC. (*Leguminosae*) *Revista Chapingo Serie Ciencias Forestales y del Ambiente*. 16(1): 87-93.
- UNE-CEN/TS 14778-1. (2007). EX. Biocombustibles sólidos. Muestreo. Parte 1: Métodos de muestreo. AEN/CTN 164 Biocombustibles sólidos CONFEMADERA, AENOR, Grupo 19, Madrid, España, Sept. 2007, 29 p.
- UNE-EN 14774-1. (2010). Biocombustibles sólidos. Determinación del contenido de humedad. Método de secado en estufa. Parte 1: Humedad total. Método de referencia. AEN/CTN 164 Biocombustibles sólidos CONFEMADERA, AENOR, Grupo 9, Madrid, España, Jul. (2010), 10 p.
- UNE-EN 14775. (2010). Biocombustibles sólidos. Método para la determinación del contenido en cenizas. AEN/CTN 164 Biocombustibles sólidos CONFEMADERA, AENOR, Grupo 9, Madrid, España, Sept. 2010, 10 p.
- UNE-EN 14918. (2011). Biocombustibles sólidos. Determinación del poder calorífico. CIEMAT – AEN/CTN 164 Biocombustibles sólidos CONFEMADERA, AENOR, Grupo 35, Madrid, España, Feb. 2011, 60 p.
- UNE-EN 14961-1. (2011). Biocombustibles sólidos. Especificaciones y clases de combustibles. Parte 1: Requisitos generales. CIEMAT – AEN/CTN 164 Biocombustibles sólidos CONFEMADERA, AENOR, Grupo 32, Madrid, España, Feb. 2011, 53 p.
- UNE-EN 15103. (2010). Biocombustibles sólidos. Determinación de la densidad a granel. AEN/CTN 164 Biocombustibles sólidos CONFEMADERA, AENOR, Grupo 11, Madrid, España, Nov. 2010, 13 p.
- Van Acker J. & M. Stevens. (2000). Increased biological durability differs for traditional wood preservation and new non-biocidal systems (NBS). The International Research Group on Preservation Wood.31 Anual Meeting. Kona. Hawai. USA.
- Vázquez G., G. Antorrena, C. Parajó. (1987). Studies on the utilization of *Pinus pinaster* bark. *Wood Science and Technology* 21: 65-74.
- Volz K., R. (1971). *Holz-Zentralbl.* 97p.
- Waterman, P. y S. Mole. (1994). Analysis of phenolic plant metabolites: Methods in Ecology. Blackwell Scientific Publications. Boston, 238 p.
- Wilson K. y D. J. White B. (1986). The anatomy wood: Its diversity and variability. Stobart y Son LTD, London, great Britian. 306p.

Wise 1946, In; Sanjuán Dueñas, R. (1991). Guía práctica para la especialidad en celulosa y papel I. Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Guadalajara.

Yazaki Y, Hillis WE. Polyphenolic extractives of *Pinus radiata* bark. *Holzforschung* 1977;31:20-25.

Zobel, B. y J. Talbert. (1984). *Applied Forest Tree Improvement*. John Wiley & Sons. New York.