



UNIVERSIDAD MICHOCANA DE SAN NICOLÁS DE  
HIDALGO

FACULTAD DE INGENIERÍA EN TECNOLOGÍA DE LA  
MADERA



COMPONENTES QUÍMICOS DE MADERA Y CORTEZA DE *Eucalyptus cinerea*  
F. Muell. ex Benth.

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE INGENIERO EN  
TECNOLOGÍA DE LA MADERA

PRESENTA:

ROCÍO ALDAPE GARCÍA

DIRECTORA DE TESIS:

M.C LUZ ELENA ALFONSINA ÁVILA CALDERÓN

MORELIA, MICHOACÁN, FEBRERO 2020



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

Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo



Of. No. 0227/2020

Morelia, Mich., a 19 de febrero de 2020

Asunto: Aprobación de Tesis

**P. Ing. Rocío Aldape García**

Egresada de la Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera.

Presente.

En atención a su solicitud de aprobación de tema, me permito comunicarle que ha sido aceptado su Tema de Tesis titulado: "**Componentes químicos de madera y corteza de Eucalyptus cinérea F. Muell. ex Benth**", propuesto para presentar Examen Recepcional de Ingeniero en Tecnología de la Madera, que se desarrollará bajo el siguiente **ÍNDICE**:

CONTENIDO.

ÍNDICE DE FIGURAS.

ÍNDICE DE CUADROS.

- 1.- INTRODUCCIÓN.
- 2.- ANTECEDENTES.
- 3.- MARCO TEÓRICO.
- 4.- OBJETIVOS GENERAL.
- 5.- MATERIALES Y MÉTODOS.
- 6.- DISEÑO EXPERIMENTAL.
- 7.- ANÁLISIS Y DISCUSIÓN.
- 8.- CONCLUSIONES.
- 9.- RECOMENDACIONES.
- 10.- LITERATURA.
- 11.- ANEXO.

Para tal efecto fungirá como Directora de Tesis, la M.C Luz Elena Alfonsina Ávila Calderón.

Atentamente



**Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones**  
Director

JGRQ/aaa

# Índice

	Página
Contenido	i
Índice de figuras	iii
Índice de cuadros	vi
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Marco teórico	5
3.1 Distribución geográfica	5
3.2 Descripción botánica	5
3.3 Condiciones de adaptación	6
3.4 Usos generales de los eucaliptos	7
3.5 Clasificación taxonómica del <i>Eucalyptus cinerea</i>	9
3.6 Distribución geográfica	10
3.7 Descripción botánica	10
3.8 Condiciones de adaptación	13
3.9 Usos	13
4. Objetivo general	15
4.1 Objetivos particulares	15
5. Materiales y métodos	16
5.1 Origen del material	16
5.2 Métodos	18
5.2.1 Determinación del contenido de humedad	18
5.2. 2 Medición del pH	18
5.2.3 Determinación del contenido de cenizas	19
5.2. 4 Obtención de extraíbles	19
5.2. 5 Determinación del contenido de lignina	20
5.2. 6 Determinación de holocelulosa	21
5.2. 7 Determinación de $\alpha$ -celulosa	22
6. Diseño experimental	23
7. Análisis y discusión	25
7.1 pH	26
7.2 Cenizas	29
7.3 Extraíbles	36
7.4 Solubilidad en ciclohexano	40
7.5 Solubilidad en acetona	42
7.6 Solubilidad en metanol	45
7.7 Solubilidad en agua caliente	47
7.8 Determinación de lignina	50
7.9 Determinación de holocelulosa	53

7.10 Determinación de $\alpha$ -celulosa	56
8. Conclusiones	59
9. Recomendaciones	60
10. Literatura	61
11. Anexo	66

## Índice de figuras

	Página
Figura 1. Árbol de <i>Eucalyptus cinerea</i>	9
Figura 2. <i>Eucalyptus cinerea</i> A) Hojas (CONAFOR, 2010), B) Semillas (McDonald, 2019), C) Tronco	12
Figura 3. Localización del municipio de Villa Victoria en el Estado de México.	16
Figura 4. Diagrama general del proceso para la determinación de la composición química de <i>Eucalyptus cinerea</i> .	17
Figura 5. A) Molino Willey, B) Molienda, C) Obtención del contenido de humedad.	18
Figura 6. Medición de pH con potenciómetro.	19
Figura 7. A) Determinación del contenido de cenizas, B) Análisis de las muestras de cenizas, C) Espectrómetro electrónico de barrido.	19
Figura 8. A) Equipo Soxhlet para la determinación del contenido de extraíbles, B) Material filtrado, C) Extractos, D) Evaporación del solvente resultante, E) Harina libre de extraíbles.	20
Figura 9. 1) Harina libre de extraíbles en ácido sulfúrico, 2) Soluciones de las muestras sometidas a ebullición, 3) Muestras a la estufa, 4) Lignina a peso constante.	21
Figura 10. A) Muestras en una solución de ácido acético y clorito de sodio, B) Baño María, C) Holocelulosa.	22
Figura 11. Solución de hidróxido de sodio cubriendo la harina libre de extraíbles, 2) $\alpha$ - celulosa.	22
Figura 12. Efecto del material sobre el pH	27
Figura 13. Efecto del número del árbol sobre pH	27
Figura 14. Efecto de los árboles y el material sobre el pH	28
Figura 15. Efecto del material sobre el porcentaje de cenizas	30
Figura 16. Efecto del número de árbol sobre el porcentaje de cenizas	31
Figura 17. Efecto de los árboles y el material sobre el porcentaje de cenizas	31
Figura 18. Micrográficas de compuestos inorgánicos. Albura. A) Árbol 1, B) Árbol 2, C) Árbol3. Corteza. D) Árbol 1, E) Árbol 2, F) Árbol 3	33

Figura 19 A..	Compuestos inorgánicos observados por medio de un espectrómetro de rayos X conectado a un microscopio electrónico de barrido. Albura. A) Árbol 1, B) Árbol 2, C) Árbol 3.	34
Figura 19 B.	Compuestos inorgánicos observados por medio de un espectrómetro de rayos X conectado a un microscopio electrónico de barrido. Corteza. D) Árbol 1, E) Árbol 2, F) Árbol 3	35
Figura 20	Efecto del material sobre el porcentaje de extraíbles totales.	38
Figura 21.	Efecto del número de árbol sobre el porcentaje de extraíbles totales.	38
Figura 22.	Efecto de los árboles y el material sobre el porcentaje de extraíbles totales	39
Figura 23.	Efecto del material sobre la solubilidad en ciclohexano	40
Figura 24.	Efecto del número de árbol sobre la solubilidad en ciclohexano.	41
Figura 25.	Efecto de los árboles y el material sobre la solubilidad en ciclohexano	41
Figura 26.	Efecto del material sobre la solubilidad en acetona	43
Figura 27.	Efecto del número de árbol sobre la solubilidad en acetona	43
Figura 28.	Efecto de los árboles y el material sobre la solubilidad en acetona.	44
Figura 29.	Efecto del material sobre la solubilidad en metanol	45
Figura 30.	Efecto del número de árbol sobre la solubilidad en metanol	46
Figura 31.	Efecto de los árboles y el material sobre la solubilidad en acetona	46
Figura 32.	Efecto del material sobre la solubilidad en agua caliente	48
Figura 33.	Efecto del número de árbol sobre la solubilidad en agua caliente	48
Figura 34.	Efecto de los árboles y el material sobre la solubilidad en agua caliente	49
Figura 35.	Efecto del material sobre la lignina	51
Figura 36.	Efecto del número de árbol sobre la lignina	51
Figura 37.	Efecto de los árboles y el material sobre la lignina	52
Figura 38.	Efecto del material sobre la holocelulosa	54
Figura 39.	Efecto del número de árbol sobre la holocelulosa.	54
Figura 40.	Efecto de los árboles y el material sobre la holocelulosa	55

Figura 41.	Efecto del material sobre la $\alpha$ -celulosa	57
Figura 42	Efecto del número de árbol sobre la $\alpha$ -celulosa	57
Figura 43.	Efecto de los árboles y el material sobre la $\alpha$ -celulosa	58

## Índice de cuadros

	Página
Cuadro 1. Propiedades físicas y mecánicas del género <i>Eucalyptus cinerea</i> determinado por el Instituto de Investigación Tecnológica, adscrito a la Escuela Politécnica de Sao Paulo	12
Cuadro 2. Matriz de repeticiones en cada tratamiento	23
Cuadro 3. Composición química de tres arboles de E. cinérea	25
Cuadro 4. Anova para el pH	26
Cuadro 5. Prueba Tukey para la medición de pH	28
Cuadro 6. Anova para el porcentaje de cenizas	30
Cuadro 7. Prueba de Tukey para el porcentaje de cenizas	32
Cuadro 8. Compuestos inorgánicos presentes en los análisis de cenizas	36
Cuadro 9. Anova para la cantidad total de extraíbles	37
Cuadro 10. Prueba de Tukey para el porcentaje de extraíbles totales	39
Cuadro 11. Anova para la solubilidad en ciclohexano	40
Cuadro 12. Prueba de Tukey para la solubilidad en ciclohexano	42
Cuadro 13. Anova para la solubilidad en acetona	42
Cuadro 14. Prueba de Tukey para la solubilidad en acetona	44
Cuadro 15. Anova para la solubilidad en metanol	45
Cuadro 16. Prueba de Tukey para la solubilidad en metanol	47
Cuadro 17. Anova para la solubilidad en agua caliente	47
Cuadro 18. Prueba de Tukey para la solubilidad en agua caliente	49
Cuadro 19. Anova para el contenido de lignina	50
Cuadro 20. Prueba de Tukey para la lignina	52
Cuadro 21. Anova para el contenido de holocelulosa	53
Cuadro 22. Prueba de Tukey para la holocelulosa	55
Cuadro 23. Anova para el contenido de $\alpha$ -celulosa	56
Cuadro 24. Prueba de Tukey para la $\alpha$ -celulosa	58

## Agradecimientos

A Dios por estar siempre en mi camino y ponerme a las personas que me amo tanto, por hacerme sentir fe.

A mis papás Raúl, papito te quiero gracias por hacerme sentir firme, segura y animarme a continuar y no decaer. A mi mamá Ma. Rocío eres un gran ejemplo para mí, verte como te esfuerzas día con día me transmites fuerza, dedicación y mucho amor, les agradezco con toda mi alma por todo el apoyo incondicional que me dan siempre, por estar conmigo en los momentos buenos y difíciles, en cada paso y en cada miedo, las gracias no me son suficientes, los amo infinitamente.

A mi hermano Jorge, gracias por tu cariño, por tu sinceridad, sé que cuento contigo porque siempre he pensado que somos un equipo, te llevo en el corazón a donde quiera que voy. Te quiero y espero que también logres grandes cosas.

A mi maestra y asesora M. C. Luz Elena Alfonsina Ávila Calderón de verdad le agradezco por todas sus enseñanzas, tengo mucho que aprender de usted, por toda su ayuda, por su paciencia, por la confianza que me brindó. Es alguien a quien puedo admirar como maestra, como persona, como mamá.

A mis sinodales, M.C. Nancy Eloisa Rodríguez Olalde, Dra. Nelly Flores Ramírez, Dra. Fabiola Eugenia Pedraza Bucio y Dr. José Guadalupe Rutiaga Quiñones por todos sus consejos que de la manera más amable y profesional brindaron su apoyo para poder completar y mejorar este trabajo. Igualmente, gracias por sus conocimientos que me fueron brindados a través de mis años de formación académica.

A mi novio Rodolfo, agradezco por todo que haces por mí siempre, me animas, me dejas ser yo misma, me fortaleces, me alegras, me das paz, gracias por iluminarme cada vez que miras, espero que en un futuro podamos seguir alcanzando más metas y sueños juntos. Valoro tu esfuerzo, me has enseñado a no rendirme, a ser fuerte, a crecer, a ser perseverante, te amo profundamente y con todo mi corazón.

A mi buen amigo Héctor, gracias por tu apoyo, por tu amistad, por la confianza, tus conocimientos, has sido un guía importante para mí, no solo para la realización de este trabajo sino también en este camino llamado Vida. Cuenta conmigo siempre. Te deseo el mejor de los éxitos

A mis amigos Eréndira, Luis, Jerson, Salathiel, Vianney, Lulú por su amistad que ha perdurado a pesar del tiempo y la distancia, siempre me apoyan, me dan ánimos y tantos momentos divertidos que espero tenerlos siempre. Siento que tengo oro por tenerlos junto a mí.

A mi abuelito Daniel que nos cuida desde el cielo, seguiré tu consejo de seguir estudiando, te mando un beso en la frente hasta donde estés. A mi abuelita Ofe por ser tan fuerte, tan bonita y por tener una alegría que nos abraza a todos. Los quiero mucho.

A ustedes Denisse, Mayra, Liz, que me animaron cada vez que las veía, aunque siempre fuera corre y corre, gracias por sus palabras de ánimos me impulsaban siempre.

A ti Ade gracias por hacerme sentir que podía lograr esta meta, tus consejos, tu ayuda en el laboratorio, tu amabilidad la siento en todo momento, gracias por tu confianza

A mis maestros y que me ayudaron tanto el laboratorio, Luis Fernando Pintor y Nicolás, me salvaron muchas veces, siempre proporcionándome todo lo que pudiera necesitar para la realización de mis experimentos, lo que me faltara con confianza podía sentir su ayuda.

A todos mis maestros de mi facultad les doy mis más sinceros agradecimientos y reconocimiento, fue una gran experiencia mis años cursarlos con ustedes.

Al personal académico, por proporcionarme la información y ánimos cada vez que iba a informarme.

Gracias a todos!

## Resumen

El eucalipto tiene importancia a nivel internacional porque numerosas especies plantadas como exóticas producen mucha madera en poco tiempo (alrededor de 7 años). Crece rápidamente, produce la madera adecuada para la fabricación de papel y presenta la ventaja de establecerse sin problemas en lugares muy degradados (Walter, 1977). La madera, de colores más claros en eucaliptos, no posee mucha diferencia entre la albura y el duramen, muestra colores rosados, blanco-cremosos o amarillentos, puede ser brillante y oleosa además de que puede llegar a ser semidura a dura, por lo general es fácil de trabajar, se pule y se lustra bien y el vetado es poco destacado. El *Eucalyptus cinerea* es un árbol pequeño o mediano que puede alcanzar alturas de 10-20 m, de tronco no siempre derecho y copa cilíndrica, angosta; con una corteza de coloración parduzca en la parte exterior e internamente de un tono canela, rugoso, fibroso, persistente y hendida (Cozzo, 1955), posee amplia albura blanco- grisácea hasta gris-castaño, con duramen tardío rosado hasta castaño-amarillento. Es semipesada, con P.E 0.6 (una de las más livianas del género), semidura a blanda, poco resistente, de escasa duración puesta a la intemperie. Puede constituir un excelente material para pasta de papel y cajonería (Cozzo, 1955).

En este estudio se presentan los resultados de las características químicas de la madera y la corteza de eucalipto dólar como una contribución al conocimiento de las especies de plantaciones comerciales. Para esta investigación se derribaron tres ejemplares bien conformados y libres de defectos. El material se astilló y trituroó en un molino Wiley y se clasificó con una malla 40. Se determinaron pH, cenizas, extraíbles, holocelulosa, alfa-celulosa y lignina. Las determinaciones se hicieron por duplicado. La madera presentó un contenido de cenizas de 0,7-0.8% y la corteza de 0,7%. El pH fue ácido de 3,8 a 5,3. Los extraíbles variaron de 2,7% a 21,2%. El contenido de holocelulosa fue de 77,8% a 96,3%, la alfa-celulosa de 38,8% a 79,2% y la lignina de 26,8% a 32,2 %. De acuerdo con Fengel y Wegener (1983) y Rowell (2005) estos valores se encuentran en el rango para otras especies de latifoliadas de clima templado.

Palabras clave: lignina, holocelulosa, alfa-celulosa, extraíbles, cenizas.

## Abstract

Eucalyptus is important internationally because many species planted as exotic produce a lot of wood in a short time (around 7 years). It grows rapidly, produces the right wood for papermaking and has the advantage of establishing itself without problems in very degraded places (Walter, 1977). The wood, lighter colors in eucalyptus, does not have much difference between sapwood and heartwood, shows pink, white-creamy or yellowish colors, it can be bright and oily besides it can become semi-hard to hard, usually It is easy to work, polishes and polishes well and the grain is not very prominent. The *Eucalyptus cinerea* is a small or medium-sized tree that can reach heights of 10-20 m, with a not always straight trunk and cylindrical, narrow crown; with a brownish-colored crust on the outside and internally of a tan, rough, fibrous, persistent and cleft tone (Cozzo, 1955), it has broad white-grayish to gray-brown sapwood, with late pink to brown-yellowish heartwood. It is semi-heavy, with P.E 0.6 (one of the lightest of the genus), semi-hard to soft, not very resistant, of short duration set in the open. It can be an excellent material for paper pulp and drawers (Cozzo, 1955).

In this study, the results of the chemical characteristics of wood and dollar eucalyptus bark are presented as a contribution to the knowledge of commercial plantation species. For this investigation, three well-formed and defect-free specimens were shot down. The material was splintered and crushed in a Wiley mill and classified with a 40 mesh. pH, ash, removable, holocellulose, alpha-cellulose and lignin were determined. The determinations were made in duplicate. The wood had an ash content of 0.7-0.8% and the bark of 0.7%. The pH was acidic from 3.8 to 5.3. The extractables varied from 2.7% to 21.2%. The holocellulose content was 77.8% to 96.3%, alpha-cellulose 38.8% to 79.2% and lignin from 26.8% to 32.2%. According to Fengel and Wegener (1983) and Rowell (2005) these values are in the range for other species of temperate broadleaf.

# 1. Introducción

La madera es un conjunto de células dispares, las cuáles en un vegetal vivo cumplen tres funciones elementales: conducción de savia, transformación y almacenamiento de productos y sustancias de reserva, así como la función de sostén o soporte vegetal en los troncos, raíces, y ramas de árboles y arbustos desprovistos de su corteza, incluyendo coníferas, latifoliadas (especies dicotiledóneas), así como a las palmeras y especies herbáceas arborescentes (especies monocotiledóneas) (Kollmann, 1959).

Los eucaliptos son árboles procedentes de Australia, Tasmania y Nueva Guinea; su enorme diversidad lo ha convertido en un símbolo importante de la biota de Australia, las variedades con las que cuenta es entre 500 a 600 especies diferentes, las cuales tienen la capacidad de desarrollarse en diferentes tipos de hábitats, suelos, pluviosidad y de temperatura, poseen una gran resistencia a las latitudes y altitudes extremas. El género *Eucalyptus* se refiere a los pétalos protectores y se deriva de las palabras griegas “*eu*”, que significa bien y “*kalypteim*”, que significa cubierto (Granados *et al.*, 2007).

Un gran problema que enfrenta nuestro país es la deforestación, debido a la extracción clandestina o ilegal, incendios, plagas, etc. Por ello, se ha tratado de atender y conservar los bosques de manera continua a través de programas de reforestación. Aunque las estimaciones varían, la superficie total de plantaciones forestales en el mundo alcanza entre 120 y 140 millones de hectáreas (Martínez *et al.*, 2006). Lo que es menos dudoso es el aumento de las nuevas plantaciones (forestación) tanto en los países templados como en los tropicales. Debido a la productividad y rentabilidad económica, ha llamado la atención de los dueños de las plantaciones de eucaliptos, preferencialmente en los climas templado-cálido y tropicales, ya que son aproximadamente de 30-40 especies que son cultivadas alrededor del mundo por su cualidad de rápido crecimiento, rusticidad, características tecnológicas y desarrollo vegetativo; sin embargo, esta manera de cultivar el eucalipto también ha sido atribuido a que en el país o lugar en donde se planea cosechar, desde otra perspectiva, dirigido hacia plantas nativas, no se cuentan con programas de reforestación o con las investigaciones suficientes que ayuden a un aprovechamiento óptimo. Por otro lado, si se tiene la iniciativa y el fomento de la búsqueda de la información acerca de: los usos, conservación, preservación y una explotación del recurso de manera adecuada, aportaría a un avance y cuidado importante para las especies nativas.

En México, en el año de 1906, se introdujeron 400 especies del género *Eucalyptus*, *Acacia* y *Tamarix*, pero no fue que hasta 1960 que la Comisión Forestal brindó apoyo para las plantaciones de Michoacán para ayudar con la reforestación en el

estado y en el país, ya que son consideradas rústicas, y de crecimiento rápido y con plasticidad ecológica. Con fines ornamentales, en el municipio de Morelia se han registrado 14 especies diferentes en sus viveros (López, *et al.*, 2003).

Sólo en Sudamérica ha alcanzado el número de 60 especies cultivadas, destinadas a diferentes usos, sin embargo, se estima que hay plantaciones comerciales de eucaliptos que abarcan alrededor de 4 millones de hectáreas en 58 países y regiones, incluyendo Australia; otros 50 tienen plantaciones experimentales u ornamentales. Las primeras grandes plantaciones se iniciaron en Brasil (1904); en la actualidad, este país tiene más de un millón de hectáreas de plantaciones de eucaliptos. Más de 100 países por todo el mundo cultivan eucaliptos en plantaciones, países como México, España, Portugal, Marruecos, Argentina, los Estados Unidos y muchos otros (Granados y López, 2007). Crece rápidamente, produce la madera adecuada para la fabricación de papel y presenta la ventaja de establecerse sin problemas en lugares muy degradados (Walter, 1977).

El eucalipto tiene importancia a nivel internacional, porque numerosas especies plantadas como exóticas producen mucha madera en poco tiempo (alrededor de 7 años). Esta propiedad reviste un gran valor, de allí es donde la escasez de madera se agudiza cada vez más mientras se acelera el crecimiento de la población. El uso de especies introducidas ofrece en la mayoría de los casos ventajas contra otras especies nativas, comparándolas en velocidad de crecimiento y turnos de aprovechamiento más cortos, que son fundamentales para desarrollar proyectos forestales financieramente viables (White y Martin 2002).

Los eucaliptos se han vuelto famosos y de gran importancia ya que sus hojas poseen glándulas que secretan diferentes aceites, las cuales producen su perfume característico. Entre los aceites esenciales, destacan: Cineol, felandrene, terpineol, eudesmol, acetato de eudesmyl, piperitone, las cuales son muy utilizadas y apreciadas en la industria y el campo de la medicina (FAO, 1981).

De acuerdo con la literatura consultada, no es suficiente el conocimiento sobre aprovechamiento de los eucaliptos en México con propósitos industriales. En este trabajo se realizó la caracterización química básica de la madera y de la corteza de *Eucalyptus cinerea* con la finalidad de disponer de información para proponer usos benéficos y aprovechamiento integral de la madera de *Eucalyptus* para la obtención de nuevos productos.

## 2. Antecedentes

Raya (1999) determinó la eficacia de los extractos naturales de las hojas frescas de *Eucalyptus cinerea*, *Eucalyptus terrecornis* Sm y *Nerium oleander* L., para proteger la madera de *Quercus scytophyla* Liemb. contra el ataque de *Lyctus* sp.

Orozco (2002) desarrolló un protocolo para la obtención y establecimiento de suspensiones celulares de *Eucalyptus cinerea*, en el cual encontró que las suspensiones de este eucalipto ofrecen una herramienta importante para la propagación de esta especie vía embriogénesis somática, para realizar estudios de biorreactores con células vegetales, producción de metabolitos secundarios y procesos de biotransformación.

Coello (2006) realizó la composición química del duramen y la albura de tres especies de eucalipto, en dos diferentes alturas del fuste, en la cual encontró que la mayor cantidad de extraíbles se encuentra en la parte baja del árbol. En relación a los solventes utilizados, la mayor proporción de extraíbles se obtuvo en acetona y metanol.

Rodríguez (2006) trabajó en el estudio de la madera de *Eucalyptus citriodora* como materia prima para la obtención de pulpa celulósica por procesos químicos, al sulfato o Kraft y a la Sosa, así como el blanqueo de la misma con una secuencia que utiliza cloro y libre de cloro.

Hernández (2006) determinó de forma experimental el comportamiento de tres especies de eucaliptos como alternativa de absorción de lixiviados. Al realizar el promedio de las concentraciones de los elementos analizados, se determinó en *E. cinerea* que la especie acumuló Calcio (Ca), Hierro (Fe) y Magnesio (Mg). Debido al rendimiento de la especie *Eucalyptus cinerea* se hizo la recomendación de ser posible, optar por realizar una nueva investigación enfocada al diseño de un lecho de absorción para lixiviados basado en esta especie.

Pedraza (2006) realizó pruebas para determinar las propiedades químicas de forma general en la corteza de cuatro especies de eucaliptos, así mismo analizó las propiedades de los extractos hidrófilos de las mismas. Las cuatro especies presentaron taninos hidrolizables.

Martínez (2007) determinó las composiciones químicas básicas e índices de la calidad de la pulpa para papel en material celulósico de 4 especies de eucalipto de una plantación experimental. Los resultados indicaron que la calidad de la pulpa es viable para que las especies de eucalipto sean materia prima para obtener pulpa celulósica.

Sebei *et al.*, (2015) determinaron la composición química y actividades antibacterianas de siete especies de aceites esenciales de *E. maideni*, *E. astrengens*, *E. cinerea*, *E. bicostata* los cuales mostraron la mayor actividad antibacteriana contra *Listeria ivanovii* y *Bacillus cereus*. Los aceites pueden tener aplicaciones potenciales en alimentos y productos farmacéuticos.

Grichi *et. al.*, (2016) concluyeron que el aceite de eucalipto posee una fuerte fitotoxicidad contra las malezas por la inhibición del crecimiento de las plántulas y la alteración de la maquinaria fotosintética. Por lo tanto, podría ser útil para desarrollarse como bioherbicida con fines de manejo de malezas. De hecho, el uso del aceite de *Eucalyptus cinerea* como agente alelopático será un modo de control de malezas ecológico, más económico, práctico y eficaz. Sin embargo, se requieren más estudios para explorar la cascada exacta de eventos que son responsables de la acción inhibidora del crecimiento del aceite esencial de *E. cinerea*.

Bernstein *et al.*, (2017) realizaron una investigación de la variación estacional en los síntomas de daño foliar, contenido mineral y atributos postcosecha del follaje cortado de *Eucalyptus silver dollar* (*E. cinerea*). En este estudio, evaluaron los síntomas de daños en las hojas en las plantaciones de eucalipto *cinerea*, estudiaron las variaciones estacionales y de ubicación en la ionómica de hojas sanas y dañadas. Los resultados muestran que los síntomas de daños en las hojas parecen ser causados por factores ambientales más que por el contenido de nutrientes. Por lo tanto, un régimen nutricional óptimo probablemente mejore el crecimiento y el rendimiento, pero podría no afectar la apariencia de los síntomas de daño.

### 3. Marco teórico

Clasificación taxonómica del *Eucalyptus spp.* (CONAFOR, 2010; SEMARNAT, 2013)

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Subfamilia: Myrtoideae

Tribu: Eucalypteae

Género: *Eucalyptus* L'Hér.

#### 3.1 Distribución geográfica

Los eucaliptos son originarios de Australia, dominando el 95% del área boscosa del país, además de otras regiones adyacentes, muchos de estos eucaliptos se encuentran naturalmente en la gran extensión de tierra de Papua Nueva Guinea hacia el norte de Australia, y ciertas especies se presentan en algunas de las islas en la parte oriental del archipiélago indonesio. Son árboles austro-malayos, con una dispersión natural que se extiende desde 7°N a 43°39' S.

#### 3.2 Descripción botánica

Es un árbol perennifolio de alto porte, en su país de origen pueden alcanzar hasta los 100 metros de altura, sin embargo, fuera de su hábitat natural, por lo general, las especies cultivadas, llegan a crecer hasta 20 metros, pero puede llegar a los 60 metros de altura.

Una manera de poder identificar a los eucaliptos es por su corteza, la cual es: áspera, quebradiza, tersa y se desprende anualmente en capas que constituye el "ritidoma", es la masa compleja externa de las capas sucesivas generadoras; pueden variar de color, textura o configuración, y el relieve exterior de su superficie.

La mayoría de las hojas de los eucaliptos varían, por ello debe prestarse mucha atención para su identificación. Una gran cantidad de especies de eucaliptos, las hojas juveniles, por lo general son: blandas, suaves al tacto, dispuestas en pares, casi siempre sin peciolo, muestran formas alargadas, peltadas, reniformes, acorazonadas, etc. Su color suele ser claro, gris azulado o verde claro. Por otro lado, las hojas adultas son duras o leñosas al tacto, lisas y brillantes. Siempre son alternas, pecioladas, y de forma elíptica y lineal hasta casi ovalada y de colores verdes hasta grisáceas, tienen una nervadura central que se reconoce fácilmente, desde la cual divergen las sucesivas nervaduras laterales y cruzan la hoja hasta unirse con la nervadura intramarginal, que sigue el contorno del borde de la hoja (Cozzo, 1955).

La madera, de colores más claros en eucaliptos, no posee mucha diferencia entre la albura y el duramen, muestra colores rosados, blanco-cremosos o amarillentos, puede ser brillante y oleosa además de que puede llegar a ser semidura a dura, por lo general es fácil de trabajar, se pule y se lustra bien, el veteado es poco destacado. Por el contrario, existe el grupo de eucaliptos de madera oscura, la albura y el duramen se encuentran bien distinguidos y presentan tonalidades rojizas o moradas, llegan a ser pesadas a muy pesadas, este conjunto, es difícil de trabajar y puede presentar problemas de hundimiento o alabeo a la hora de secarla; carece de veteado o casi no pueden percibirse; en cuanto a la textura de esta madera es fina, pequeña y quebradiza.

La especie prolifera con éxito en espacios abiertos y suelos profundos. Debido a que su sistema radicular se desarrolla ampliamente, gusta de seguir la humedad, no obstante, se adapta bien a suelos con escasez de agua.

### 3.3 Condiciones de adaptación

Los eucaliptos pueden adaptarse en muchos tipos de hábitats, desde el nivel del mar hasta 2,300 metros. Las condiciones del suelo donde pueden desarrollarse estos árboles son desde ácidos hasta alcalinos, pero deben cumplir con la condición de que el suelo debe estar bien drenado, además de no encontrarse en zonas muy húmedas; de hecho, los eucaliptos llegan a crecer en condiciones desérticas hasta templadas, no soportan muy bien los climas fríos y por lo general demandan mucha luz, por lo cual, deben estar preferentemente en espacios abiertos.

### 3.4 Usos generales de los eucaliptos

Gracias a su rápido crecimiento los eucaliptos han sido introducidos en muchos países y por ello se ha podido desarrollar una gran gama de productos gracias al aprovechamiento del árbol, desde su madera hasta pasar por las ramas y hojas que brindan diferentes beneficios para la salud. A continuación, se presentan los usos más comunes del género *Eucalyptus*:

- Fabricación de tableros, postes, pilotes, durmientes, pisos, muebles, cajones, parquets, mangos de herramientas, palas, hachas.
- Propósitos ornamentales.
- Aprovechamiento de las hojas para elaborar aceites esenciales muy utilizados con fines farmacéuticos, perfumería, solventes, fijadores o quitamanchas.
- Biocombustible. La cantidad de poder calorífico de la madera oscila entre los 18390- 20000 kJ/kg y por ello se produce leña y carbón.
- Obtención de mieles.
- Apeas de mina.
- Sujeción de taludes
- Para elaboración de tableros de fibras.

De su celulosa pueden fabricarse múltiples productos de uso cotidiano: sanitarios, pañales e higiénicos; derivados como el celofán o la cola de empapelar; fórmica y otros laminados, papeles especiales, filtros, papeles electrónicos; así como elaboración de fibras textiles como el rayón. La demanda de productos derivados de la madera de eucalipto sigue siendo, a nivel internacional, la que muestra un mayor crecimiento sostenido (Martínez *et al.*, 2006).

Las especies del género *Eucalyptus* producen algunos metabolitos secundarios de interés comercial tales como los aceites esenciales, con aplicaciones industriales, medicinales, farmacológicas y en el control biológico de plagas. Entre sus metabolitos de interés se encuentran terpineno, cimeno, pineno, timol, carvacrol, cineol, eudesmol, macrocarpales o sideroxilonaes (Orozco, 2002).

La gama de compuestos químicos que pueden ser obtenidos está basada en la estructura lignocelulósica de estos materiales, y en especial de la madera, de esta se pueden obtener productos empleados en: levaduras para producción de vitaminas, proteínas, y grasas; furfural para la producción de plásticos, solventes e intermediarios químicos, xilosa ,celulosa, alcoholes (etílico, butílico, isopropílico), polioles (glicerol, etilen-glicol, anticongelante, propilen-glicol), cetonas (acetona para hacer explosivos, esmalte para uñas, y muchos otros productos), ácidos (acético, láctico, butírico), intermediarios químicos (hidroximetil furfural, ácido

levulínico), lignina, mezclas de compuestos fenólicos (para la producción de adhesivos sintéticos), benceno y otros compuestos aromáticos (para la producción de solventes, tintes, y otros compuestos (Hernández, 2006).

### 3.5 Clasificación taxonómica del *Eucalyptus cinerea* (Stevens, 2001)

Nombre científico: *Eucalyptus cinerea* F. Muell. ex Benth.

Nombre común: eucalipto dólar.

Conocido por otros nombres: Silver Dollar Gum, Argyle Apple, Mealy Stingybark

Reino: Plantae

División: Magnoliophyta

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Subfamilia: Myrtoideae

Tribu: Eucalypteae

Género: *Eucalyptus*

Especie: *Eucalyptus cinerea*



**Fig. 1.** Árbol de *Eucalyptus cinerea*.

La clasificación, de acuerdo al sistema APG III, es la siguiente:

Clase: Equisetopsida

Subclase: Magnoliidae

Superorden: Rosanae

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Eucalyptus*

Especie: *Eucalyptus cinerea* F. Muell. exBenth.

De acuerdo al sistema de Cronquist (1981), la clasificación botánica se lista de la siguiente manera:

División: Magnolipsida

Clase: Magnoliopsida

Subclase: Rosidae

Orden: Myrtales

Familia: Myrtaceae

Género: *Eucalyptus*

Tribu: *Eucalypteae*

Especie: *Eucalyptus cinerea* F. Muell. exBenth.

### 3.6 Distribución geográfica

Originario de la región montañosa de Nueva Gales del Sur y de Victoria 33° a los 37° de latitud, cerca de Tumul y Berrima, en el Distrito de Bathurst, en asociación con *E. dives*, entre los 150 y 1.100 m sobre el nivel del mar (Mangieri y Milan, 1958).

### 3.7 Descripción botánica

Árbol pequeño o mediano que puede alcanzar alturas de 10-20 m, de tronco no siempre derecho y copa cilíndrica, angosta; con una corteza de coloración parduzca en la parte exterior e internamente de un tono canela, rugoso, fibroso, persistente y hendida (Cozzo, 1955).

El follaje juvenil está formado por hojas de color verde azulado, son opuestas, ovadas, sésiles, no pecioladas o cortamente pecioladas, redondeadas y pequeñas de aproximadamente de 3-4 mm por 4-6 cm, las hojas adultas también son opuestas, linear- lanceoladas, afiladas en el extremo superior con peciolo corto, miden de 1-2 cm por 5-8 cm conservando la superficie foliar glauca y con un fuerte olor a cineol. Por lo general, en la zona de Australia es más común que el árbol conserve el follaje juvenil. Las nervaduras son bien notables en la cara superior; las

secundarias divergen en ángulo de 45° o algo menor con respecto a la central; las terciarias son anastomosadas. (Manguieri y Milan, 1958).

Las flores son subseciles o brevemente pediceladas y están dispuestas en umbelas axilares trifloras, sostenidas por un pedúnculo a veces muy suavemente comprimido por lo general florecen en la temporada de verano. Los pimpollos miden más o menos de 5-6 mm de diámetro, con el opérculo cónico, algo convexo y apiculado, con el tubo del receptáculo obcónico tan largo como el opérculo; las anteras con ovoides, con las tecas paralelas y una glándula bien notable en el tercio superior; todos los estambres son fértiles y se hallan doblados en el botón floral (Mangieri y Milan, 1958).

Los frutos son pequeños, midiendo cerca de 8 mm de diámetro, son cónicos, se encuentran separados del tubo del receptáculo por un pequeño canalículo, poco pedicelados; de 3-4 valvas exertas y triangulares, en su interior contienen las semillas de color oscuro y rugosas.

Se piensa que este ejemplar tiende a tener un desarrollo lento, pero esto ha ocurrido dado que las condiciones fueron poco apropiadas, por lo que a futuro estos árboles presentan enfermedades y poca resistencia, sin embargo, generalmente es una especie vigorosa y de crecimiento muy rápido, se ha demostrado que las plantaciones jóvenes de este eucalipto, que miden alrededor de 0.30 m de altura, forman un fuste derecho y que al paso del tiempo es propensa a inclinarse cuando se encuentra en su etapa juvenil. No obstante, se debe tener en cuenta que esta planta cuenta con un ligero grado de toxicidad.

En Australia forestalmente se le tiene aprecio a la variedad multiflora que se caracteriza por tener un tipo de corteza “stringybark”, con flores que se agrupan en un número de 5-8 y un follaje verde azulado de forma lanceolada que predomina mucho en los árboles grandes de las hojas maduras. La madera es de características aun poco conocidas; posee amplia albura blanco- grisácea hasta gris-castaño, con duramen tardío rosado hasta castaño-amarillento. Es semipesada, con P.E 0.6 (una de las más livianas del género), semidura a blanda, poco resistente, de escasa duración puesta a la intemperie. Puede constituir un excelente material para pasta de papel, para cajonería (Cozzo, 1955).

En el cuadro 1 aparece información complementaria acerca de las propiedades físico-mecánicas de *E. cinerea*. Presenta una alta resistencia al ataque de enfermedades y parásitos como la de las hormigas podadoras, dado que es un problema importante para los propietarios de las plantaciones porque es algo complicado de eliminar ya que significa pérdidas económicas al tratar de combatirlo.



**Fig. 2.** *Eucalyptus cinerea* A) Hojas (CONAFOR, 2010), B) Semillas (McDonald, 2019), C) Tronco

**Cuadro 1.** Propiedades físicas y mecánicas del género *Eucalyptus cinerea* determinado por el Instituto de Investigación Tecnológica, adscrito a la Escuela Politécnica de Sao Paulo.

Características físicas	Retracción	Peso específico aparente (15% UMID)		0.60
		Contracciones EM%	Radial	4.5
			Tangencial	14.9
			Volumétrico	22.9
Coeficiente de contracción (%)			0.52	
Características mecánicas	Compresión Axial	Límite de resistencia (Kg/Cm)	Madera verde	275
			Madera a 15% de humedad	410
		Coeficiente de influencia de humedad (%)		4.3
		Coeficiente de calidad 0/100 D. a 15% de humedad		6.9
	Flexión Estática	Límite de resistencia (Kg/Cm)	Madera verde	697
			Madera a 15% de humedad	826
		Relación L/F		18
	Módulos de elasticidad Kg/Cm madera	Flexión	Módulo	102.800
			Límite de propor.	210
		Compresión	Módulo	86.100
			Límite de propor.	253
	Choque	Trabajo absorbido (W EM Kg X MT)		2.7
		Coeficiente de resistencia (R.)		0.42
		Cuota dinámica (R.) -(D2)-		1.16
	Tensión cortante		(Kg/Cm)	88
	Dureza Janka			392
Tracción normal de las fibras		64		
Agrietamiento		7.7		

### 3.8 Condiciones de adaptación

El árbol *E. cinerea*, se le reconoce cierta aptitud forestal, dada su rusticidad ante los factores climáticos adversos, frío y sequía (Cozzo, 1955). Este eucalipto posee una gran fortaleza a las heladas, soportando temperaturas de hasta -12 °C, a pesar de ser un árbol resistente debe tenerse cuidado cuando se presentan temporadas de sequías o altas temperaturas alrededor de los 30 °C o más, ya que pueden volverse sensibles al soportar estos grados, mientras que las oscilan alrededor de 625 y 1.125 mm crece naturalmente en suelos pobres, pero debe tener un buen drenado, también puede adaptarse a zonas escarpadas o en colinas, sobre los bordes de los cursos de agua con el fin de moderar la erosión, a los alrededores pueden encontrarse rocas, arena, con arcillas y granito. El pH del suelo debe ser neutro (6.6- 7.5) a levemente alcalino (7.6-7.8). No es apto para crecer en terrenos destinados a la producción agrícola (Manguieri y Milan, 1958).

### 3.9 Usos

Las hojas de la especie de *E. cinerea*, por su color plateado tan característico ha sido muy utilizada con propósitos ornamentales, siendo plantada en parques, plazas y jardines que no requieren cuidados tan especiales; incluso por sus copas que generalmente son densas, eso ayuda para restringir los ruidos de los carros al colocarlas a lo largo de las carreteras, las ramas más bajas se mantienen a nivel del suelo las cuales se emplean con la finalidad de cortinas rompe vientos.

Las hojas son sometidas a destilación para poder aprovechar sus aceites esenciales y dada su fragancia, se vuelve atractivo para las abejas que ayudan a la polinización. El destilado de las hojas (3,5 % en base seca) de *E. cinerea* contiene mayor contenido de aceites esenciales y mayor concentración de 1,8 cineol comparado con otras especies del mismo, el mayor contenido de 1,8 cineol en dicho aceite (72,42 %) (Orozco, 2002). En Argentina, con fines comerciales, las ramitas son muy apreciadas por la forma y el color de las hojas, así que son arregladas de tal forma que se elaboran adornos florales; inclusive se han sembrado parcelas para conseguir este objetivo (Cozzo, 1955). Por otro lado, las hojas disponen de beneficios usados en medicina tradicional, preparándose una infusión con las hojas para tratar problemas respiratorios y para activar la circulación (Soliman *et al.*, 2014) sugieren el uso potencial del aceite volátil de *E. cinerea* en el tratamiento de infecciones respiratorias superiores y la intoxicación alimentaria además de su uso como un agente antioxidante natural. La raíz es empleada en infusiones que se bebe para el tratamiento contra la poliquistosis mamaria, la zona aérea se utiliza para curar problemas en la piel como la sarna (CONAFOR, 2010).

Este eucalipto puede emplearse en la producción de pasta para papel, aunque, por otro lado (Clermont *et al.*, 2002), presentan un estudio comparativo de especies de *Eucalyptus* y su respuesta al pulpado NSSC (método semi-químico al sulfito neutro), en el cual llegaron a la conclusión de que las características químicas y microscópicas del *E. cinerea* hacen que no sea una especie apta para la fabricación de pulpa para papel.

## 4. Objetivo general

Determinar la composición química de la madera y corteza de la especie *Eucalyptus cinerea* F. Muell. ex Benth con fines de aprovechamiento comercial, proveniente de una plantación comercial ubicada en Villa Victoria, estado de México.

### 4.1 Objetivos particulares

Determinar los componentes químicos estructurales y accesorios a través de los análisis de:

- Contenido de humedad.
- pH.
- Contenido de cenizas.
- Extraíbles totales, solubles en solventes orgánicos y en agua caliente.
- Contenido de lignina.
- Contenido de holocelulosa.
- Contenido de  $\alpha$ -celulosa.

Realizar el análisis de varianza estadístico de los componentes químicos entre tres ejemplares de la especie y entre el tipo de material (albura, duramen y corteza).

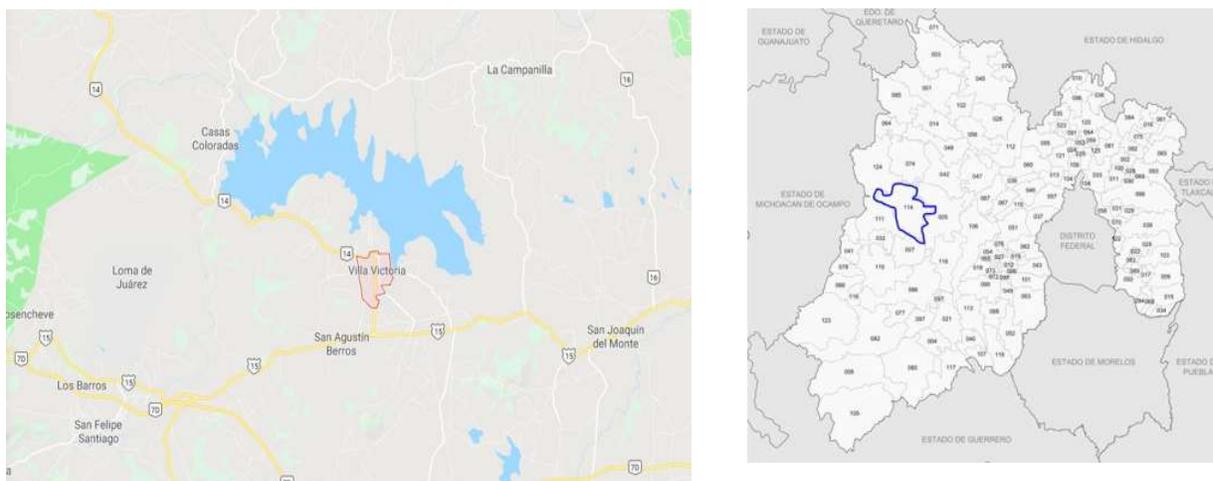
## 5. Materiales y métodos

### 5.1 Origen del material

Los ejemplares de *Eucalyptus cinerea* fueron colectados en el Rancho el Carmen, ubicado en la colonia Jesús María en Villa Victoria, estado de México. El municipio de Villa Victoria forma parte de la región VIII, con cabecera en Valle de Bravo, perteneciente al distrito judicial y rentístico con cabecera en Toluca. Sus coordenadas son las siguientes: Al Norte 19°34', al Sur 19°17' de latitud norte, al Este 100°91' de longitud oeste, sus límites y colindantes son los siguientes: Al Norte con el municipio de San Felipe del Progreso, al Sur con los municipios de Villa de Allende y Amanalco de Becerra, al Oriente con los municipios de Ixtlahuaca de Rayón y Almoloya de Juárez y al Poniente con el municipio de Villa de Allende. (Plan Municipal de Desarrollo Urbano de Villa Victoria, 2004).

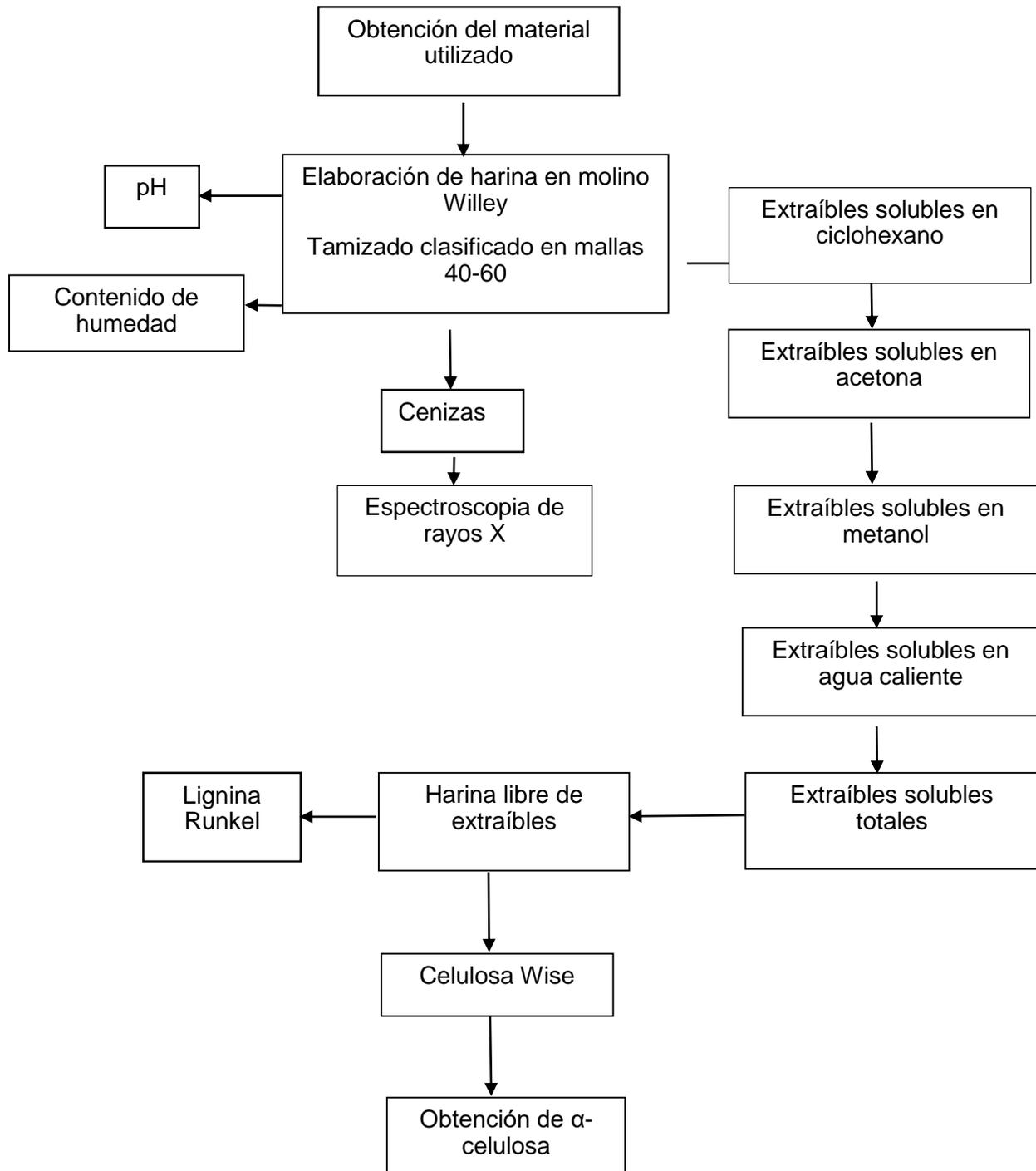
El Municipio de Villa Victoria cuenta con una extensión superficial de 419.35 km<sup>2</sup> la cual representa el 1.89% del territorio del Estado de México, y ocupa el décimo lugar en cuanto a extensión territorial.

La configuración superficial del terreno de la municipalidad es anfractuosa, pues cuenta con planicies, elevaciones orográficas, lagos y bordos, así como valles y tierras de cultivo, está enclavado dentro de la provincia geológica del Eje Volcánico, que se caracteriza por el predominio de rocas volcánicas cenozoicas que datan del terciario y cuaternario; tiene pequeños montículos monogénicos producidos por una sola emisión de actividad con materiales que crearon su edificio de volcanes en miniatura, los cuales arrojaron escaso material que integró pequeñas crestas a su alrededor sin llegar a construir conos. Respecto a las características edafológicas: predominan los suelos Andosol, Acrisol, Feozem. (SNIM, 2010).



**Fig. 3.** Localización del municipio de Villa Victoria en el Estado de México

En la figura 4. Se observa la metodología empleada para la realización del trabajo realizado para la especie analizada.

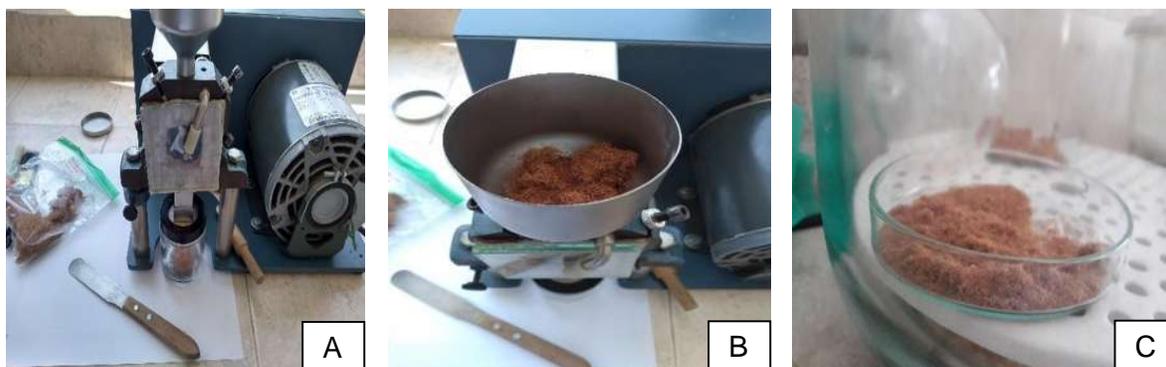


**Fig. 4.** Diagrama general del proceso para la determinación de la composición química de *Eucalyptus cinerea*.

## 5.2 Métodos

### 5.2. 1 Determinación del contenido de humedad

Para preparar el material, de acuerdo con la norma T 257 (TAPPI, 2000) en la que se describe que la madera debe molerse a un tamaño de partícula fino, pasando por una malla de 0.4 mm (malla 40). Dado que los extraíbles de la madera son solubles en solventes neutros y no se consideran para las pruebas siguientes, estos materiales deben de eliminarse para poder comenzar el análisis químico, por esa razón se siguió la norma T 264 cm-97 (TAPPI, 2000), y utilizando una estufa convencional, marca NOVATECH, modelo HS45-50. Las determinaciones se hicieron por duplicado.



**Fig. 5.** A) Molino Willey, B) Molienda, C) Obtención del contenido de humedad.

### 5.2. 2 Medición del pH

Para la determinación del pH, primero se tomó la lectura inmediatamente al comenzar la prueba, después a los 5 minutos, 4 horas, 24 horas y 48 horas respectivamente en la harina de madera, midiéndose con un potenciómetro marca HANNA, todo ello se realizó de acuerdo al método de Sandermann y Rothkamm (1959).

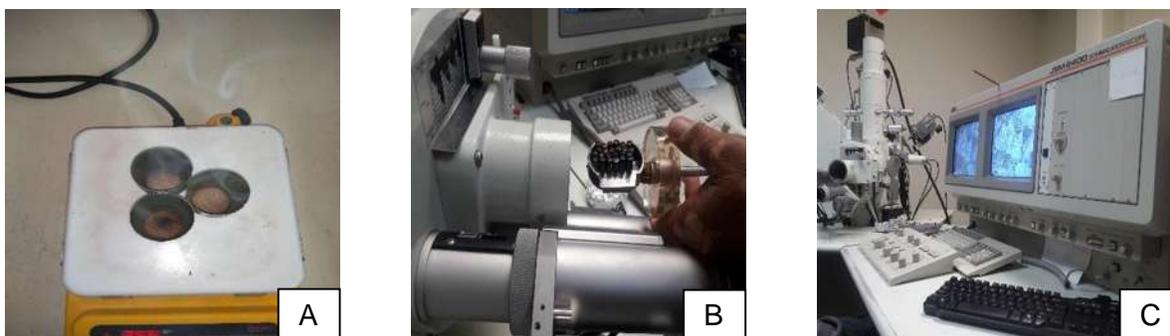


**Fig. 6.** Medición de pH con potenciómetro.

### 5.2. 3 Determinación del contenido de cenizas

El contenido de cenizas, se obtuvo de la harina de madera libre de humedad, llevándola a quemar en crisoles de níquel sobre unas placas de calentamiento, después se calcinaron en una mufla de marca LINDBERG, modelo 51894, a una temperatura de 525 °C como lo indica la norma T 211 om-93 (TAPPI, 2000).

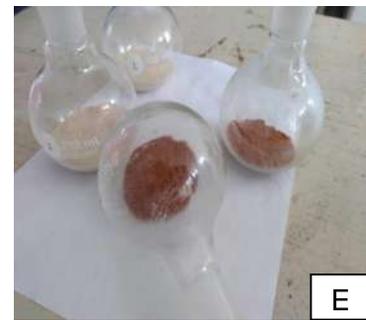
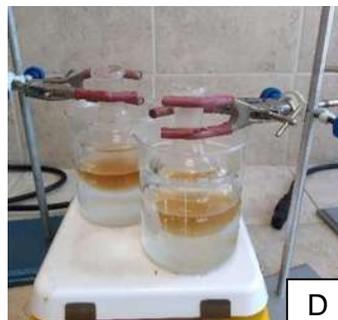
Después se realizó un análisis de las cenizas, en un espectrómetro de rayos X, que va conectado a un microscopio electrónico de barrido marca Jeol, modelo JSM-6400. Las determinaciones se hicieron por triplicado.



**Fig. 7.** A) Determinación del contenido de cenizas, B) Análisis de las muestras de cenizas, C) Espectrómetro electrónico de barrido.

### 5.2. 4 Obtención de extraíbles

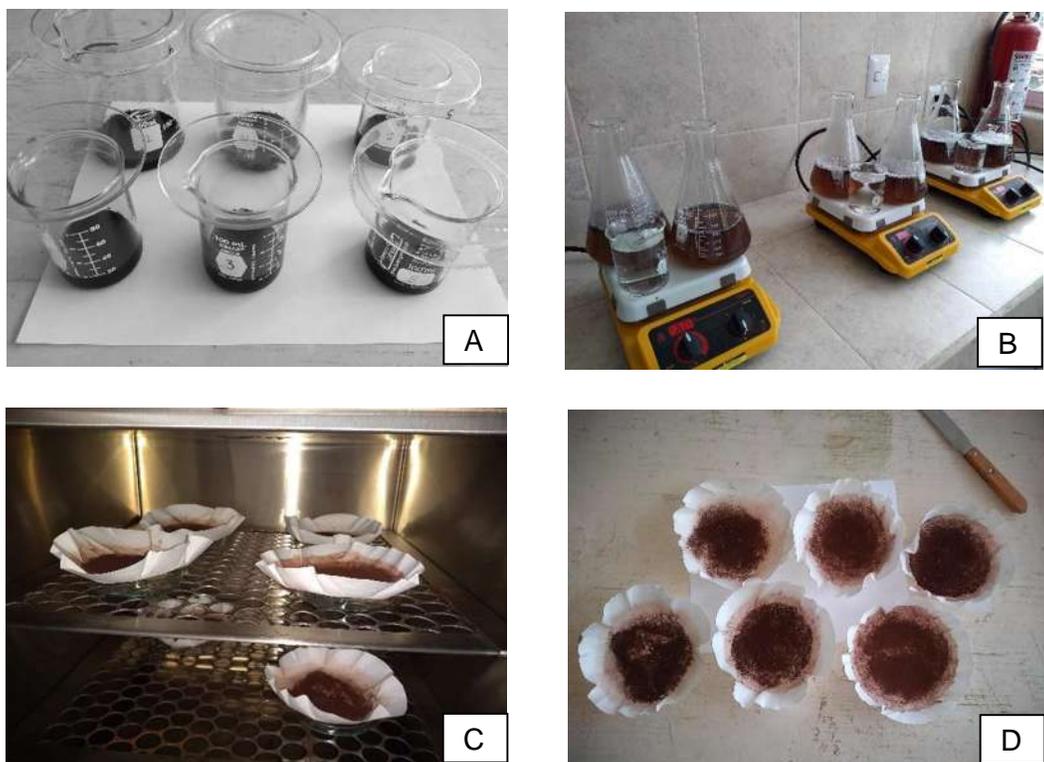
Las sustancias extraíbles se determinaron por medio del uso de solventes de forma secuencial y de polaridad creciente: ciclohexano, acetona, metanol y agua caliente. Realizando el ciclo de extracción en un equipo Soxhlet por un tiempo de 4 horas, se tomó lectura de la hora y el número de los reflujos obtenidos. Al finalizar esta prueba se obtuvo “madera libre de extraíbles”, los matraces de balón o fondo plano que se usaron, pasaron a un desecador para obtener su peso constante.



**Fig. 8.** A) Equipo Solxlet para la determinación del contenido de extraíbles, B) Material filtrado, C) Extractos, D) Evaporación del solvente resultante, E) Harina libre de extraíbles.

### 5.2.5 Determinación del contenido de lignina

En esta prueba se optó seguir el método de TAPPI T 222 om-98 (2000), para obtener lignina "Klason"; se empleó, la harina libre de extraíbles a la cual se agregó ácido sulfúrico al 72%, se agitó con cuidado, posteriormente se dejó reposar por dos horas, pasado ese tiempo, se adicionó 300 ml de agua destilada y pasó a hervirse por 4 horas, a continuación, la muestra se filtró y lavó con agua destilada hirviendo hasta obtener un pH neutro, finalmente se llevaron a la estufa para conseguir el peso constante.



**Fig. 9.** 1) Harina libre de extraíbles en ácido sulfúrico, 2) Soluciones de las muestras sometidas a ebullición, 3) Muestras a la estufa, 4) Lignina a peso constante.

## 5.2. 6 Determinación de holocelulosa

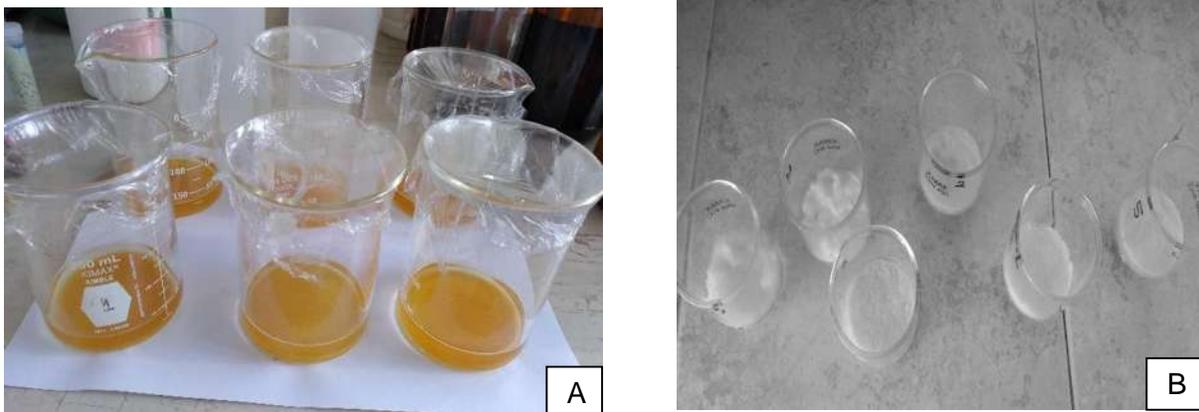
Para la obtención de holocelulosa se empleó el método de Wise (1946). Al igual que en la prueba de lignina, fue necesario usar harina libre de extraíbles. Las muestras se colocaron en matraces Erlenmeyer, se les adicionaron 0.3 gr. de clorito de sodio en 32 ml de agua, así como 10 gotas de ácido acético. Los matraces se procuraron tener tapados, así como permanecer en baño María a una temperatura de 75 °C por una hora, después de haber pasado la hora, se agregaron 2 gotas de ácido acético y 0.3 gr de clorito de sodio, agitando con cuidado para luego dejar a reposar, este procedimiento se repite cada hora, hasta concluir con un tiempo de 4 horas en total. Luego, las muestras se enfrían y después se colocan en filtros de vidrio para poder aplicar vacío para cuando el material se separe, pueda ser lavado con agua destilada fría y 20 ml de acetona hasta tener un pH neutro; para terminar, los filtros se pasan a la estufa en la cual se secan a una temperatura de 40 °C.



**Fig. 10.** A) Muestras en una solución de ácido acético y clorito de sodio, B) Baño María, C) Holocelulosa.

### 5.2. 7 Determinación del contenido de $\alpha$ -celulosa

En cuanto a la obtención del contenido de  $\alpha$ -celulosa se utilizó el método estándar de ASTM D1 103-60 (1997), el cual consiste en emplear la holocelulosa obtenida en la prueba previamente realizada la que fue colocada en matraces, después se le adicionaron 10 ml de NaOH al 17.5%, tratando de cubrir por completo la muestra, luego, cada 5 minutos se tuvo que ir añadiendo NaOH de a 5 ml hasta completar 25 ml, se dejó reposar por 30 minutos. Al terminar el tiempo, se agregaron a los vasos 33 ml de agua destilada y pasó de nuevo a reposar por una hora. A continuación, la holocelulosa pasó a ser lavada, aplicando vacío en unos filtros de vidrio con 100 ml de una solución de sosa al 8.3%, 15 ml de ácido acético y abundante agua destilada, con un papel indicador se utilizó para saber el pH, de esta manera al llegar a ser neutro, finalmente estaba listo a ser llevado a la estufa, hasta obtener su peso constante.



**Fig. 11.** Solución de hidróxido de sodio cubriendo la harina libre de extraíbles, 2)  $\alpha$ -celulosa.

## 6. Diseño experimental

Se adoptó un diseño experimental factorial 2 x 3 dando un total de seis tratamientos, con dos réplicas. En el cuadro 2 se puede observar la matriz.

**Cuadro 2.** Matriz de repeticiones en cada tratamiento.

<b>Material</b>	<b>Árbol 1</b>	<b>Árbol 2</b>	<b>Árbol 3</b>
<b>Albura</b>	2	2	2
<b>Duramen</b>	2	2	2
<b>Corteza</b>	2	2	2

Los datos de los componentes químicos obtenidos en cada tratamiento fueron sometidos a un análisis de varianza (ANOVA), usando el paquete estadístico

$$Y_{ijk} = \mu + \tau_i + \beta_j + (\tau\beta)_{ij} + \epsilon_{ijk}$$

Statistica versión 7.0 Statsoft el modelo estadístico factorial utilizado fue el siguiente:

Donde:

$Y_{ij}$  = Representa la observación correspondiente al nivel (i) del factor A y al nivel (j) del factor B.

$M$  = Media general.

$\tau_i$  = Efecto producido por el nivel i-ésimo de cada árbol

$\beta_j$  = Efecto producido por el nivel j-ésimo del material (madera y corteza).

$(\tau\beta)_{ij}$  = Efecto producido por la interacción entre el i-ésimo del número de árbol y del material

$\epsilon_{ijk}$  = Error asociado al experimento y a las observaciones

En los casos en que el ANOVA mostrará significancia en la prueba de F, se realizará la prueba de Diferencia Significativa Honesta (DSH) de Tukey con un nivel de confianza del 99% ( $\alpha=0,01$ ), partiendo de las hipótesis planteadas a continuación:

Con el fin de determinar si hay diferencias entre los árboles

$H_0$ : efecto del número de árbol (A) = 0

$H_1$ : efecto del número de árbol (A)  $\neq$  0

Para el efecto del material

$H_0$ : efecto del tipo de material (B) = 0

$H_1$ : efecto del tipo de material (B)  $\neq$  0

Para probar la interacción de los factores

$H_0$ : efecto de interacción (AB) = 0

$H_1$ : efecto de interacción (AB)  $\neq$  0

## 7. Análisis y Discusión

Los resultados obtenidos en los estudios químicos de los tres árboles de *Eucalyptus cinerea* son presentados en el cuadro 3.

**Cuadro 3.** Composición química de tres arboles de *E. cinerea*.

	Árbol 1			Árbol 2			Árbol 3		
	Albura			Duramen			Corteza		
	A	B	C	A	B	C	A	B	C
pH <sup>1</sup> .	4.81 (± 0.18)	4.39 (± 0.47)	4.29 (± 0.36)	5.15 (± 0.05)	5.66 (± 0.24)	5.22 (± 0.01)	3.79 (± 0.04)	3.84 (± 0.05)	3.74 (± 0.11)
Cenizas <sup>1</sup>	0.76 (± 0.09)	0.78 (± 0.05)	0.80 (± 0.09)	0.62 (± 0.01)	0.70 (± 0.08)	0.67 (± 0.02)	0.70 (± 0.16)	0.82 (± 0.18)	0.62 (± 0.07)
Extraíbles totales <sup>1</sup>	5.19 (± 0.27)	5.28 (± 0.15)	6.49 (± 0.08)	7.55 (± 0.01)	6.43 (± 0.03)	7.23 (± 0.02)	23.56 (± 0.30)	22.39 (± 0.63)	17.56 (± 0.30)
Ciclohexano <sup>1</sup>	0.09 (± 0.06)	0.05 (± 0.01)	0.28 (± 0.05)	0.17 (± 0.04)	0.23 (± 0.05)	0.26 (± 0.02)	9.95 (± 0.10)	5.54 (± 3.12)	7.22 (± 0.40)
Acetona <sup>1</sup>	1.50 (± 0.22)	0.98 (± 0.11)	1.99 (± 0.18)	3.02 (± 0.10)	2.02 (± 0.04)	2.10 (± 0.14)	3.98 (± 0.07)	4.32 (± 0.22)	3.34 (± 0.08)
Metanol <sup>1</sup>	3.01 (± 0.18)	2.61 (± 0.11)	3.15 (± 0.20)	3.39 (± 0.09)	3.13 (± 0.04)	3.90 (± 0.13)	3.89 (± 0.02)	3.81 (± 0.02)	2.82 (± 0.03)
Agua caliente <sup>1</sup>	0.59 (± 0.37)	1.65 (± 0.13)	1.07 (± 0.01)	0.97 (± 0.09)	1.04 (± 0.02)	0.97 (± 0.02)	5.74 (± 0.25)	8.71 (± 2.29)	4.18 (± 0.15)
Lignina <sup>2</sup>	27.03 (± 0.74)	27.06 (± 1.49)	30.11 (± 1.79)	26.87 (± 1.07)	26.54 (± 2.43)	27.00 (± 0.18)	36.49 (± 0.07)	28.77 (± 4.51)	31.28 (± 3.41)
Holocelulosa <sup>2</sup>	95.93 (± 0.54)	97.06 (± 0.68)	95.96 (± 0.07)	93.41 (± 0.83)	94.65 (± 0.01)	94.74 (± 0.34)	74.09 (± 0.66)	79.51 (± 3.32)	79.88 (± 0.32)
α-celulosa <sup>2</sup>	80.91 (± 0.72)	79.18 (± 5.75)	77.64 (± 3.07)	63.76 (± 3.89)	68.58 (± 0.57)	71.86 (± 3.88)	34.66 (± 0.03)	42.69 (± 5.01)	39.01 (± 0.73)

<sup>1</sup> Contenido con base en madera libre de humedad.

<sup>2</sup> Contenido con base en madera libre de humedad y extraíbles.

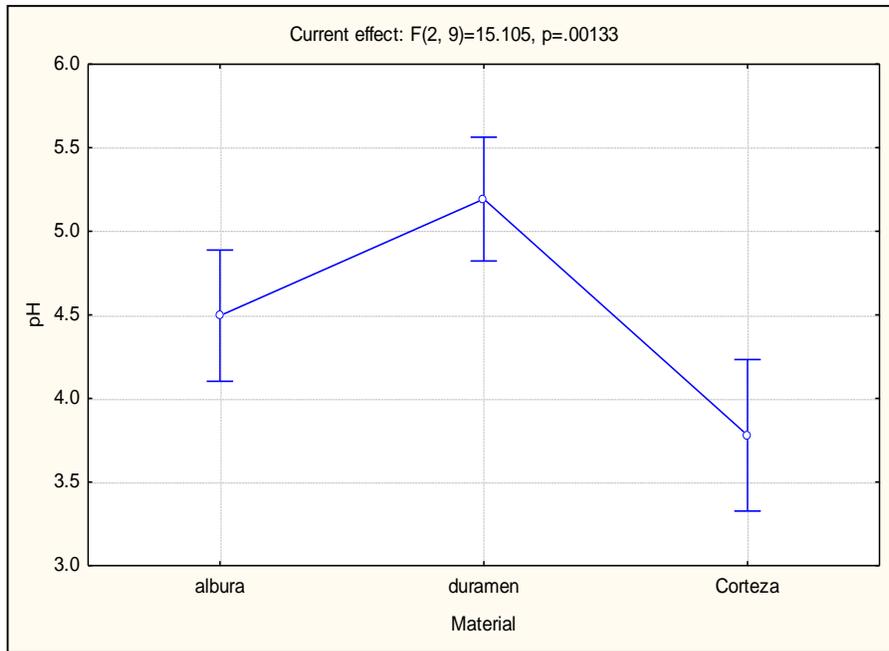
## 7.1 pH.

Los valores de pH de la especie analizada *E. cinerea* van de 4.29 a 4.81 en albura, 5.15 a 5.66 en duramen y 3.74 a 3.79 para corteza, lo que indica condiciones moderadamente ácidas de acuerdo con Fengel y Weneger (1983), siendo la corteza el material más ácido. Por una parte, Coello (2006) reporta valores entre 4.17 a 4.83 en albura, 3.04 a 3.81 en duramen para *E. robusta*. También Martínez (2007) tiene cifras entre 5.08 a 5.66 para *E. camadulensis*. Por otra parte, Pedraza (2006) reporta porcentajes cercanos a los datos obtenidos, en este caso 3.39% en la especie *E. robusta*. Es conocido que el valor de pH está influenciado por la cantidad y tipo de sustancias extraíbles presentes en una muestra de madera, concretamente por la presencia de ácidos libres y grupos ácidos, entre otros (Fengel y Wegener 1989). Así mismo, esta variación se debe a que el grado de acidez de la madera se ve afectado por la localización en el árbol de la madera analizada, la estación, los factores climáticos, la cantidad y el tipo de extraíbles, y por la presencia de grupos ácidos y ácidos libres. (Bernabé Santiago *et al.*, 2013).

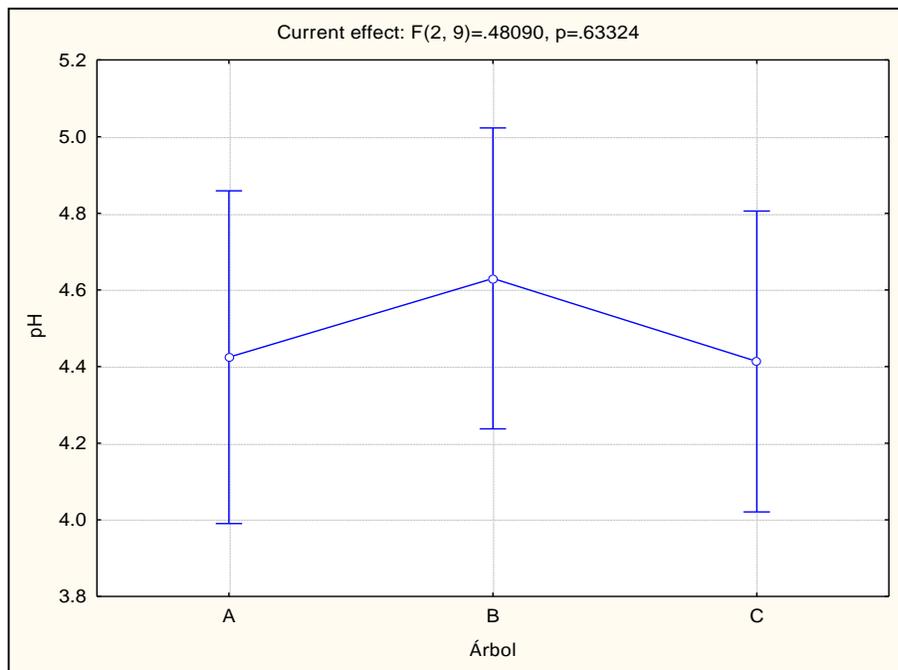
El análisis de varianza (ANOVA) para el valor de pH se muestra en el cuadro 4. Para el factor material, el nivel de significancia calculado (valor-p) es menor a 0.05, por lo tanto, demuestra que es estadísticamente significativo (Figura 12). Caso contrario fue para el factor árbol (Figura 13) y para el efecto combinado de los factores árbol\*material (Figura 14). En el cuadro 5 se presenta la prueba de Tukey.

**Cuadro 4.** Anova para el pH.

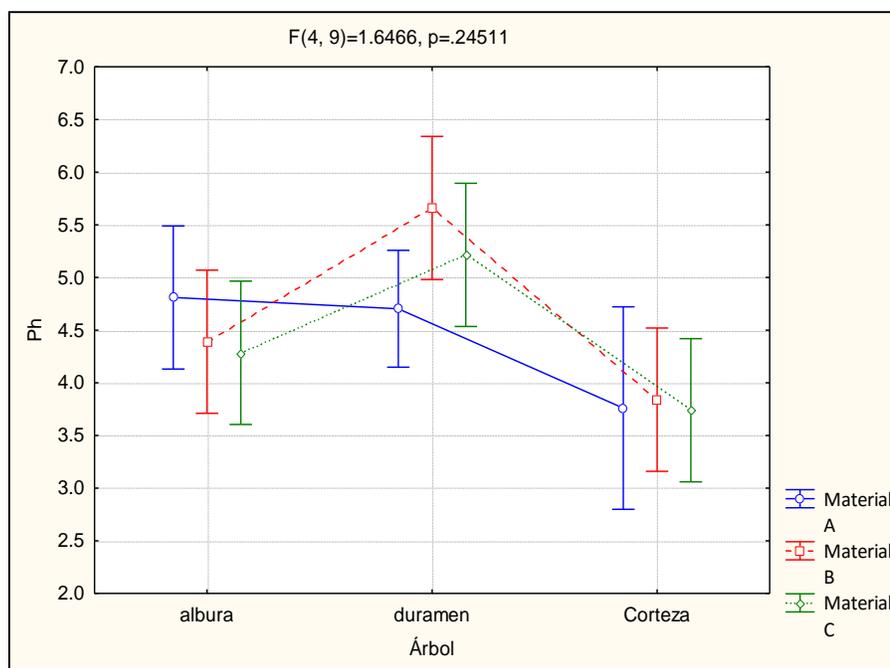
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Material</b>	5.4579	2	2.729	15.105	0.00133
<b>Árbol</b>	0.1738	2	0.0869	0.481	0.633241
<b>Árbol*Material</b>	1.1899	4	0.2975	1.647	0.24511
<b>Error</b>	1.626	9	0.1807		



**Fig. 12.** Efecto del material sobre el pH



**Fig. 13.** Efecto del número de árbol sobre el pH



**Fig. 14.** Efecto de los árboles y el material sobre el pH

**Cuadro 5.** Prueba Tukey para la medición de pH.

	Material	Árbol	pH	1	2
9	Corteza	C	3.74	****	
7	Corteza	A	3.76	****	****
8	Corteza	B	3.84	****	
3	albura	C	4.28	****	****
2	albura	B	4.39	****	****
4	duramen	A	4.70	****	****
1	albura	A	4.81	****	****
6	duramen	C	5.21	****	****
5	duramen	B	5.66		****

## 7.2 Cenizas

El contenido de cenizas de la madera de *E. cinerea*, presenta valores en albura de 0.76% a 0.80% en albura., similares a los reportados por Martínez (2007) de 0.73% a 0.74%. para *E. camaldulensis*. En duramen, el rango encontrado en *E. cinerea* es de 0.62% a 0.70% mientras que Coello (2006) obtuvo valores de 0.43% a 0.50% para *E. citriodora*. Finalmente, en la corteza de *E. cinerea* se obtuvieron valores de entre 0.62% a 0.82% que son menores en comparación con los obtenidos por Pedraza (2006) que presentó valores de 1.18% para *E. robusta*.

Los componentes minerales de los vegetales varían mucho entre las diferentes especies, entre los distintos árboles de una misma especie e incluso dentro de un mismo árbol (Sanjuán, 1997). Los componentes inorgánicos de la madera se encuentran en una proporción de alrededor de 1% del peso de la madera; este rango varía en las diferentes especies y aun en las distintas partes del tronco. En la albura se encuentran más componentes inorgánicos que en el duramen (Ávila, 2012). Los porcentajes obtenidos en albura coinciden con lo consultado en la literatura.

Al realizar el análisis de los compuestos químicos inorgánicos presentes de *E. cinerea* (Figura 18), los elementos localizados para albura, son los siguientes: Silicio calcio, cloro, fosforo, magnesio, manganeso, potasio, cobre y rubidio, siendo estos dos últimos materiales de menor cantidad comparado con los demás. En cuanto a la corteza se encuentran los elementos: Silicio, calcio, cloro, fosforo, potasio, magnesio, manganeso, potasio. El silicio se encuentra en menor proporción, presentándose trazas en cada una de las muestras, por el contrario del potasio, es el elemento que se encuentra en mayor cantidad.

El calcio, potasio, magnesio, manganeso, sodio y fósforo, de acuerdo a Fengel y Wegener (1983), son elementos esenciales para el desarrollo y crecimiento de las plantas.

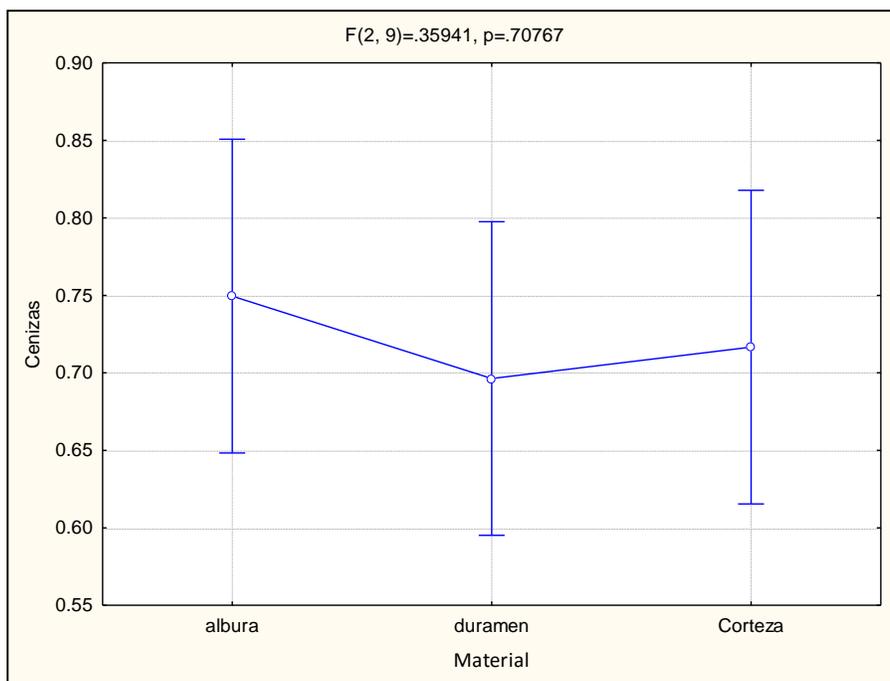
De acuerdo con Pedraza (2006), los elementos químicos en las cenizas de corteza en la especie *E. citriodora* contiene: magnesio, silicio, azufre, calcio, cobre, manganeso y potasio, los cuales, presentan análisis y compuestos muy similares comparando los resultados con *E. cinerea*, a excepción del cloro y flúor.

El análisis de varianza (ANOVA) correspondiente al porcentaje del contenido de sustancias inorgánicas (cenizas) de la harina (cuadro 6), indica que no hubo diferencia estadística significativa sobre cada uno de los tres factores. Las figuras 15, 16, 17 muestran dichos resultados. En la prueba de Tukey para las cenizas se observa que ninguna de las medias resultantes tiene diferencia significativa (Cuadro 7.).

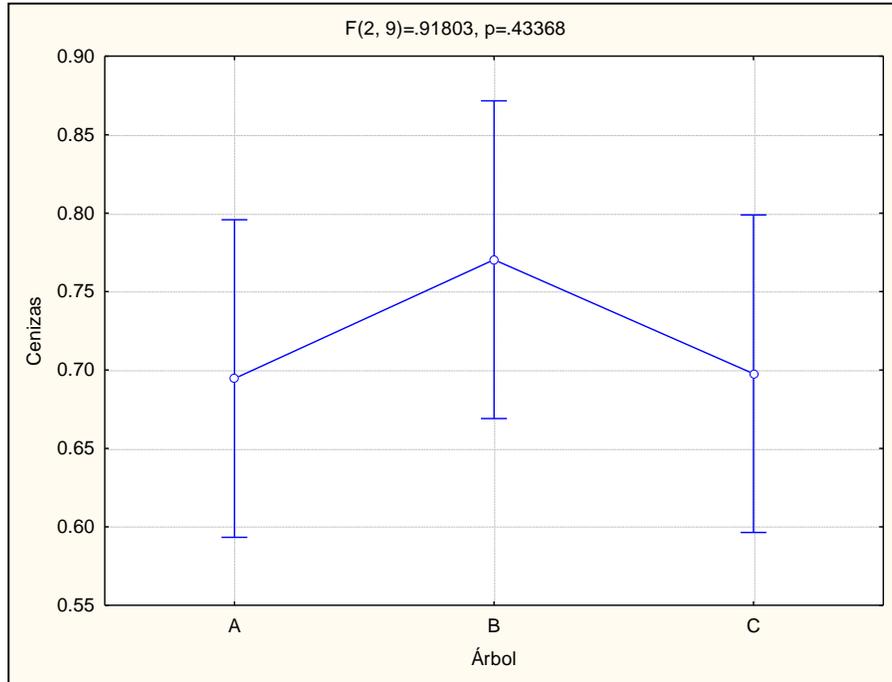
En la figura 17 se observan las microfotografías de los compuestos inorgánicos presentes en *E. cinerea*.

**Cuadro 6.** Anova para el porcentaje de cenizas.

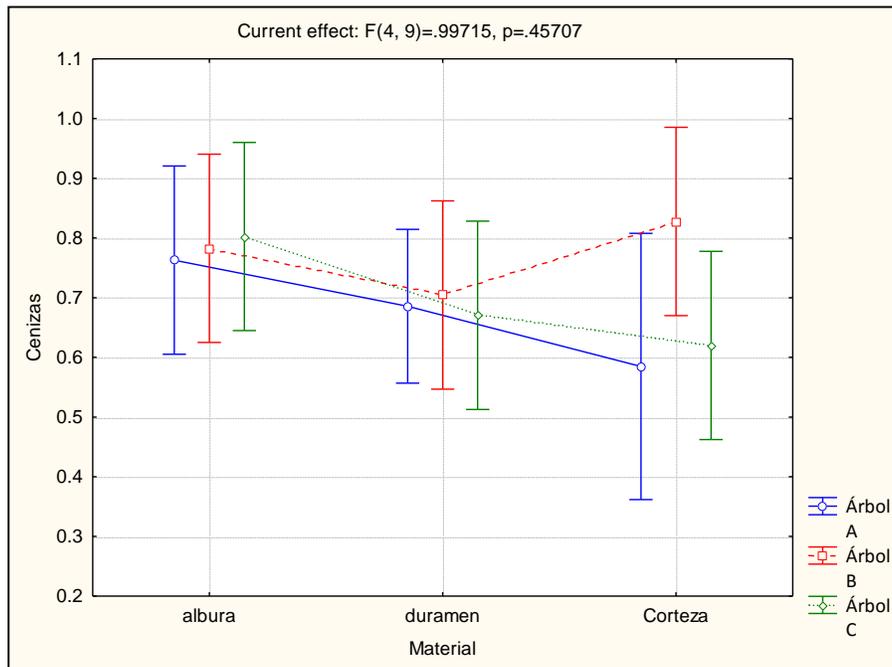
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
Árbol	0.022053	2	0.011027	0.918	0.433682
Material	0.008634	2	0.004317	0.3594	0.707669
Árbol*Material	0.044562	4	0.01114	0.9275	0.489453
Error	0.108101	9	0.012011		



**Fig. 15.** Efecto del material sobre el porcentaje de cenizas



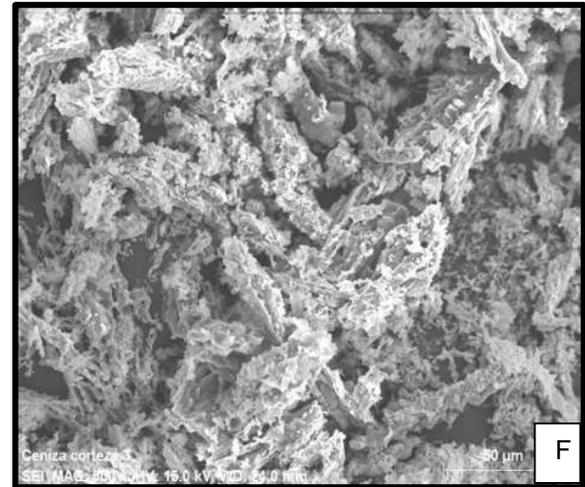
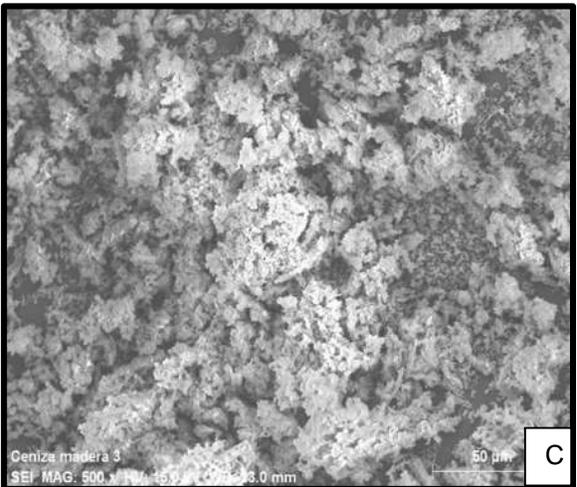
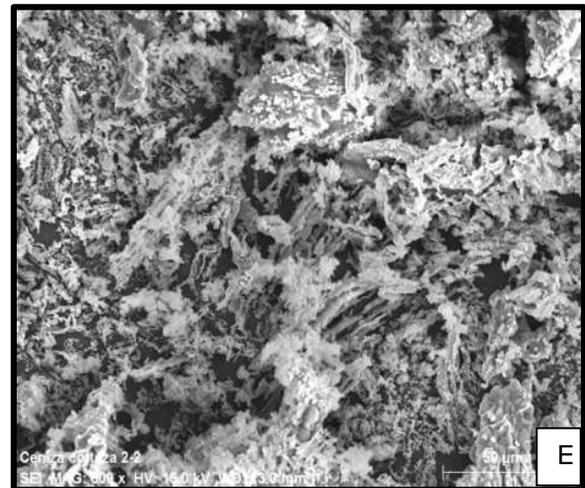
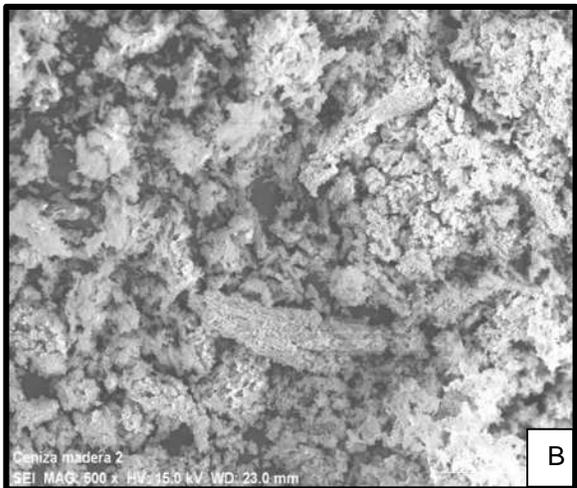
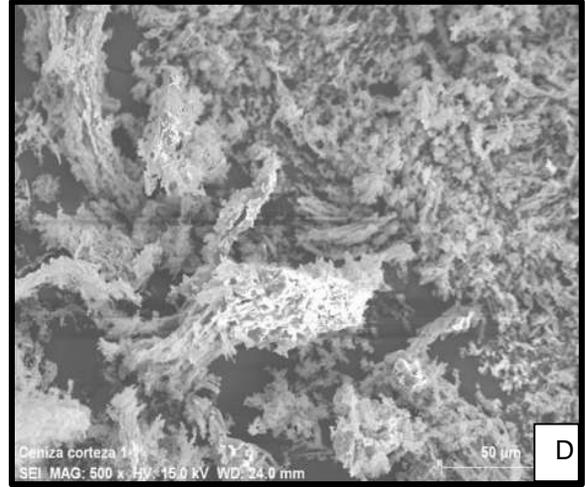
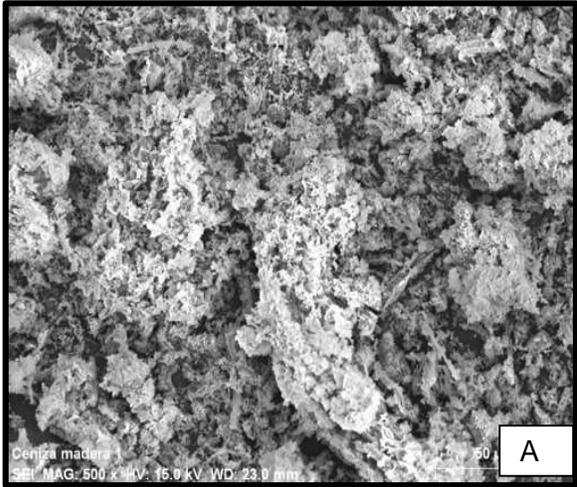
**Fig. 16.** Efecto del número de árbol sobre el porcentaje de cenizas



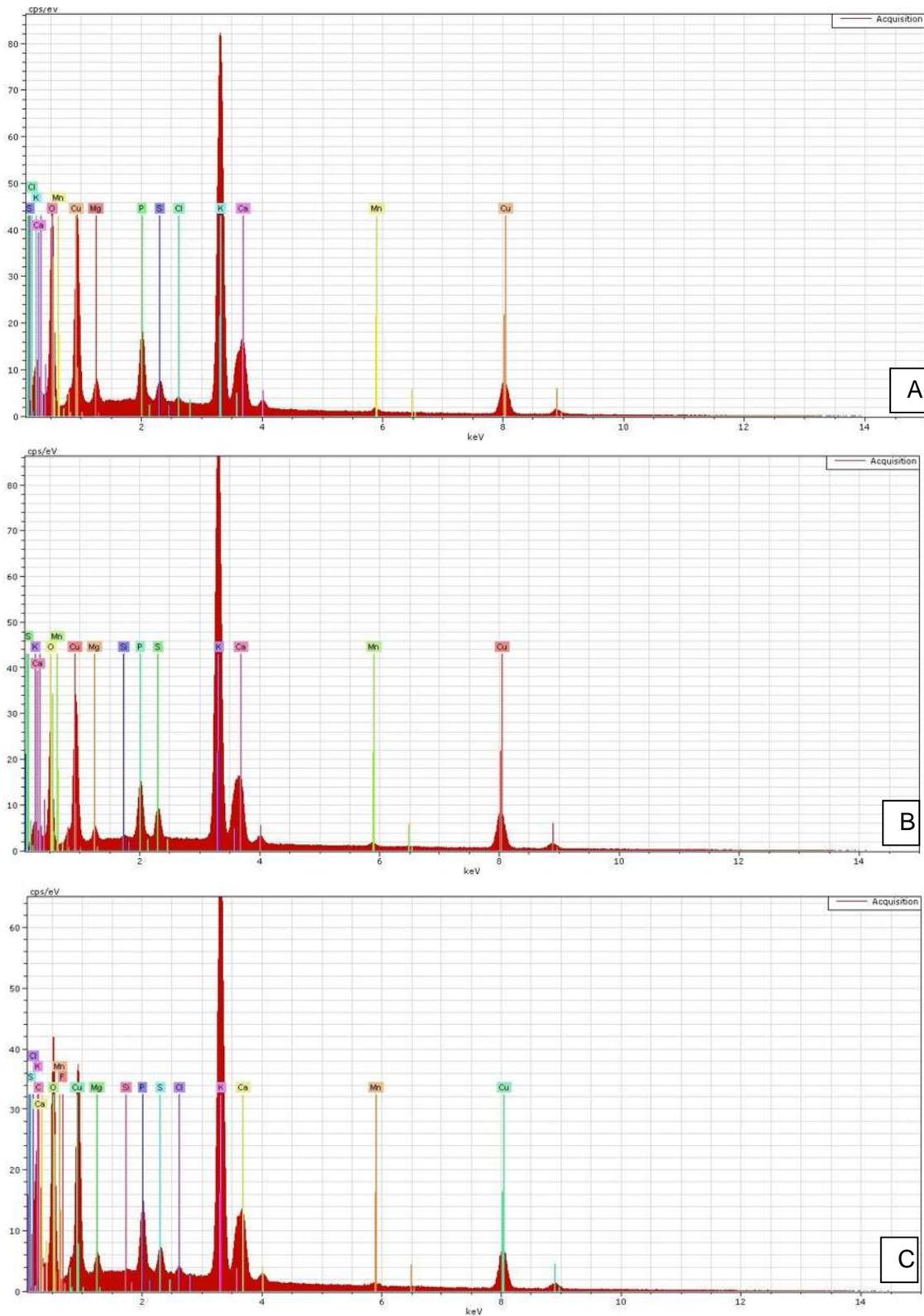
**Fig. 17.** Efecto de los árboles y el material sobre el porcentaje de cenizas.

**Cuadro 7.** Prueba de Tukey para el porcentaje de cenizas.

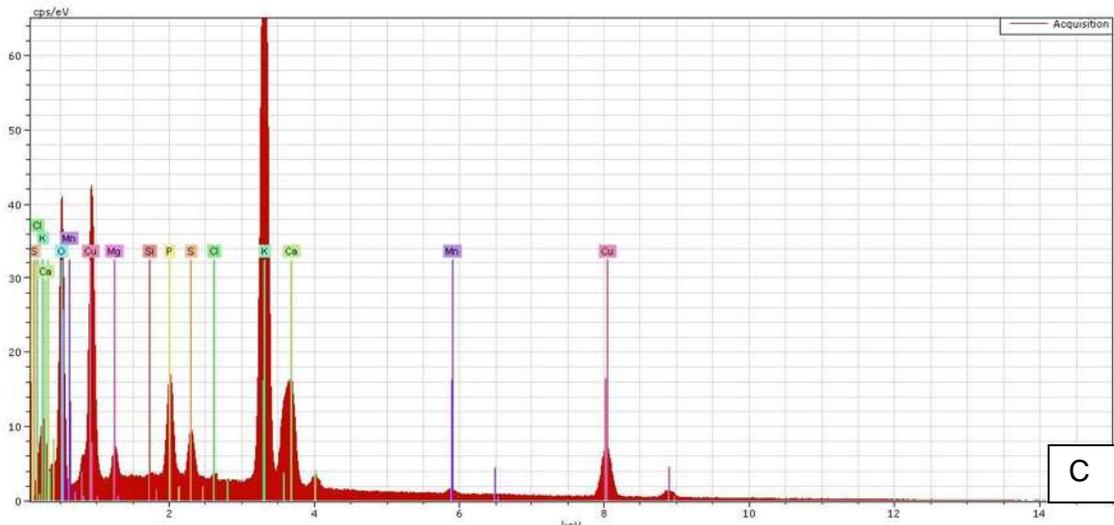
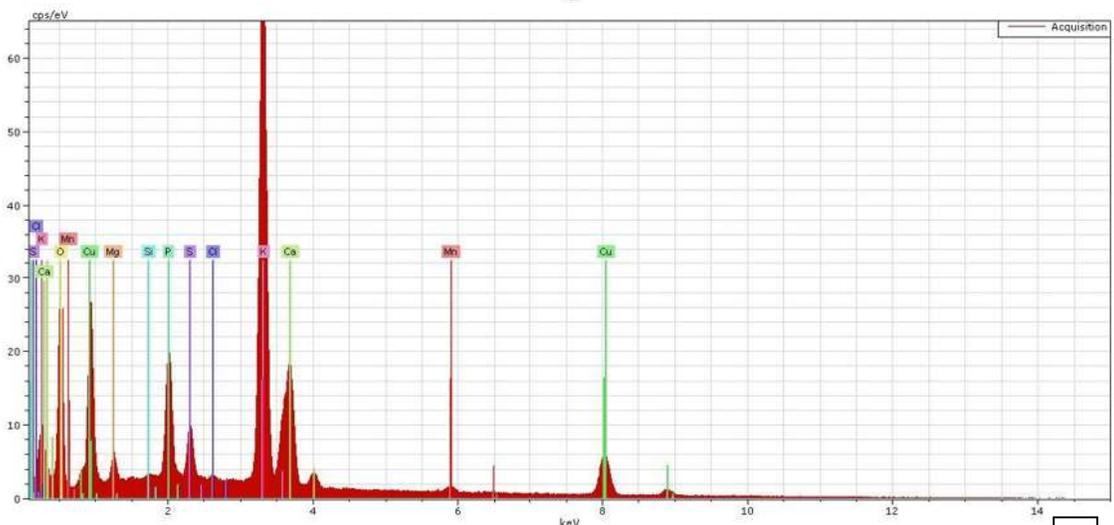
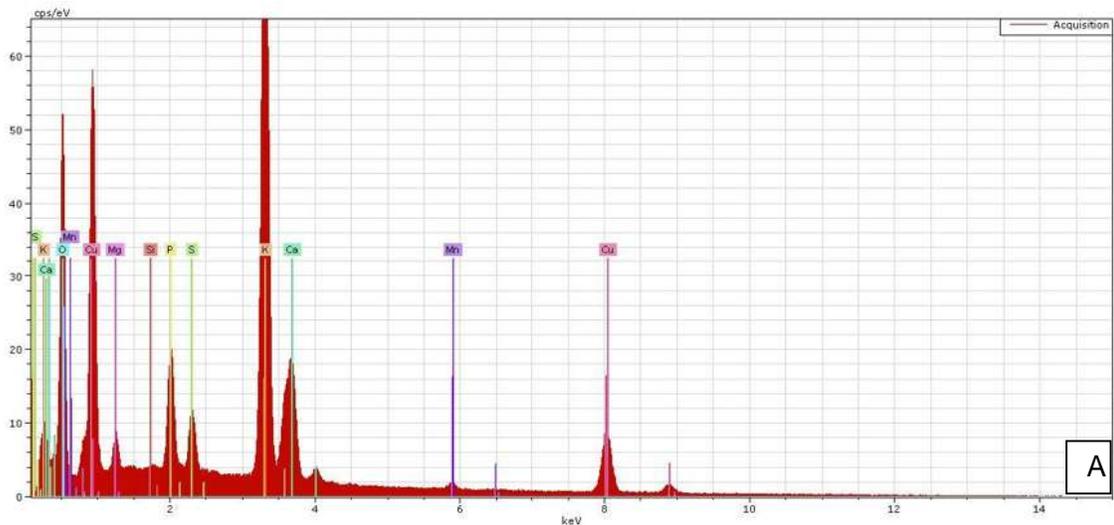
	<b>Árbol</b>	<b>Material</b>	<b>Cenizas</b>	<b>1</b>
9	C	Corteza	0.619936	****
1	A	albura	0.663457	****
8	C	duramen	0.670509	****
5	B	duramen	0.704401	****
3	A	Corteza	0.706051	****
2	A	duramen	0.714148	****
4	B	albura	0.782627	****
7	C	albura	0.80242	****
6	B	Corteza	0.823846	****



**Fig. 18.** Micrografías de compuestos inorgánicos. Alburá: A) Árbol 1, B) Árbol 2, C) Árbol 3. Corteza: D) Árbol 1, E) Árbol 2, F) Árbol 3.



**Fig. 19 A.** Compuestos inorgánicos observados por medio de un espectrómetro de rayos X conectado a un microscopio electrónico de barrido. Alburá: A) Árbol 1, B) Árbol 2, C) Árbol 3.



**Fig. 19 B.** Compuestos inorgánicos observados por medio de un espectrómetro de rayos X conectado a un microscopio electrónico de barrido. Corteza: D) Árbol 1, E) Árbol 2, F) Árbol 3

**Cuadro 8.** Compuestos inorgánicos presentes en los análisis de cenizas.

Material Elementos	Albura (%)			Corteza (%)		
	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3	Árbol 1	Árbol 2	Árbol 3
<b>Ca</b>	15.58 (±1.02)	13.17 (± 2.18)	13.98 (±0.10)	3.51 (±2.52)	15.94 (± 1.81)	14.77 (± 1.44)
<b>Cl</b>	0.22 (±0.19)	Trazas	0.22 (±0.14)	-	Trazas	0.07 (± 0.09)
<b>Cu</b>	-	14.91	-	-	-	-
<b>F</b>	-	-	-	-	0.11	-
<b>K</b>	71.64 (± 0.97)	69.11 (± 6.55)	75.33 (± 0.52)	51.23 (± 23.55)	71.65 (±3.26)	73.84 (± 1.61)
<b>Mg</b>	1.21 (± 0.08)	0.50 (± 0.17)	0.74 (± 0.22)	1.68 (± 0.32)	0.62 (± 0.04)	0.55 (±0.09)
<b>Mn</b>	3.48 (± 1.13)	3.10 (± 1.16)	2.32 (± 0.0)	3.20 (± 0.53)	3.38 (± 0.27)	2.85 (± 0.34)
<b>P</b>	6.09 (±0.74)	4.81 (± 0.47)	5.42 (±0.39)	7.21 (± 0.11)	6.30 (± 0.15)	5.20 (± 0.20)
<b>Rb</b>	-	-	0.05	-	-	-
<b>S</b>	1.77 (±0.56)	1.87 (± 0.35)	1.96 (±0.19)	33.17 (±20.92)	2.06 (± 1.07)	2.73 (± 0.04)
<b>Si</b>	-	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas	Trazas

### 7.3 Extraíbles

Los extraíbles totales que se encontraron en albura varían de 5.19 a 6.49 % en *E. cinerea*, superiores con los valores reportados por Coello (2006) que van de 3.67% a 4.85% correspondientes a la especie *E. saligna*.

De acuerdo con el análisis de duramen en *E. cinerea* tiene un rango de extraíbles entre 6.43% y 7.55% que es comparable con los resultados obtenidos por Coello (2006) con valores de 6.05% a 7.37% de la especie *E. saligna* y con los obtenidos en la especie *E. citriodora* con valores de 6.85% a 7.21%. Se sabe que en la cantidad de los extraíbles en los árboles siempre habrá variabilidad, dado que influyen diversos factores de desarrollo, por ejemplo: el medio ambiente, la velocidad y lugar de crecimiento, genética, etc.

Uno de los factores que afecta la cantidad y tipo de extraíbles es su localización transversal en el árbol, generalmente se encuentra una mayor proporción en el duramen que en la albura (Ávila, 2012). Debido a lo cual, en la especie *E. cinerea*

se aprecia claramente las diferencias en los porcentajes de extraíbles entre los materiales.

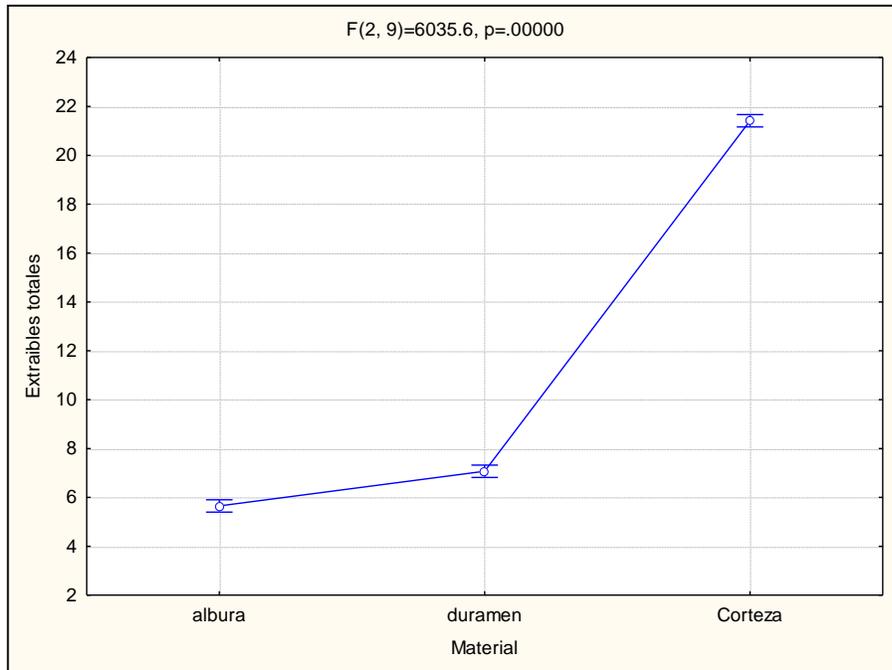
En corteza, se observan valores entre 17.56% a 23.56% para *E. cinerea* que son muy superiores a los encontrados en la madera pero que son equiparables a los valores reportados por Pedraza (2006) para *E. saligna* (21.35%) y *E. camaldulensis* (20.1%).

En ocasiones resulta complicado realizar comparaciones de los resultados con otros autores referente a la determinación de extraíbles totales; por ello, es posible darse cuenta sobre la variabilidad con el uso de diferentes tipos de solventes (anexo 1) por ejemplo, indica el empleo del éter, EtOH/benceno, NaOH, etc. Así mismo, Rowell (1984) afirma que ningún solvente es capaz de eliminar todos los materiales extraños encontrados en la madera.

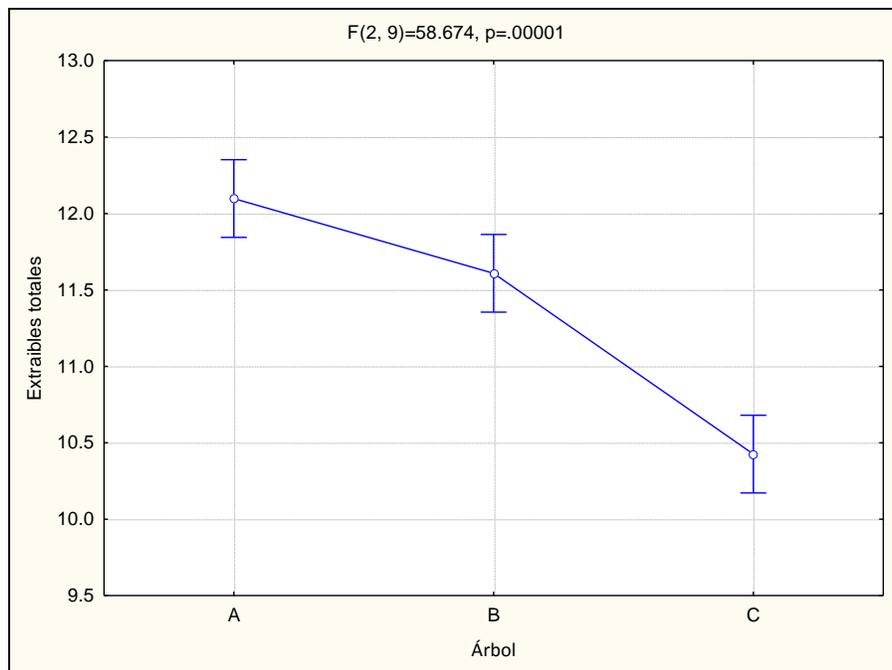
A continuación, se presenta el análisis de varianza para el valor total de extractos (cuadro 9). Se observa que el nivel de significancia calculado (valor-p), es menor a 0.05 lo que indica que en cada uno de los tres factores existe diferencia estadística significativa. En las figuras 20, 21, 22 se presentan los resultados. El cuadro Tukey se muestra en el Cuadro 10.

**Cuadro 9.** Anova para la cantidad total de extraíbles.

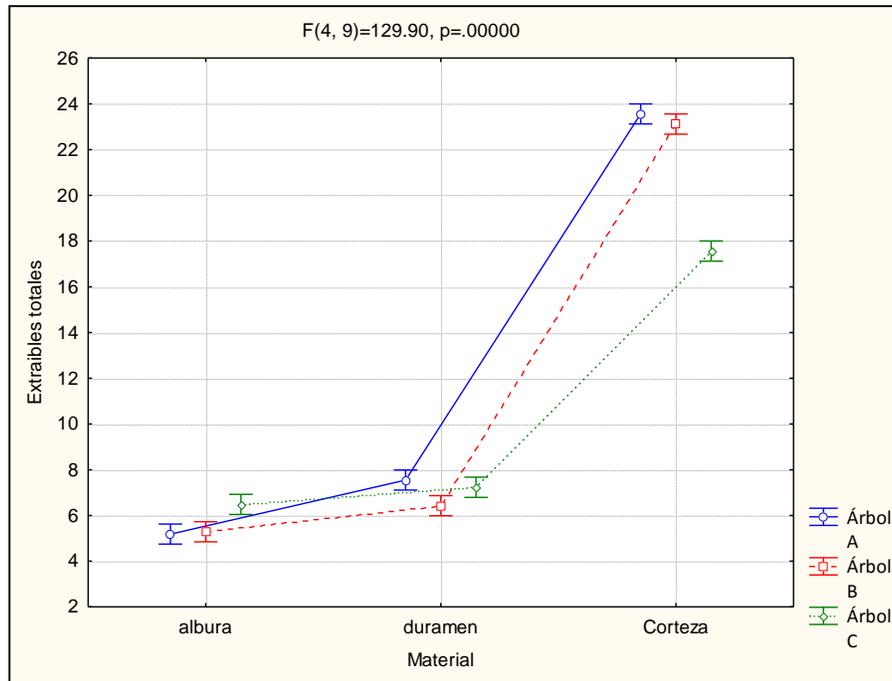
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Material</b>	912.293	2	456.147	6035.57	0
<b>Árbol</b>	8.869	2	4.434	58.67	0.000007
<b>Material*Árbol</b>	39.269	4	9.817	129.9	0
<b>Error</b>	0.68	9	0.076		



**Fig. 20.** Efecto del material sobre el porcentaje de extraíbles totales



**Fig. 21.** Efecto del número de árbol sobre el porcentaje de extraíbles totales.



**Fig. 22.** Efecto de los árboles y el material sobre el porcentaje de extraíbles totales.

**Cuadro 10** Prueba de Tukey para el porcentaje de extraíbles totales.

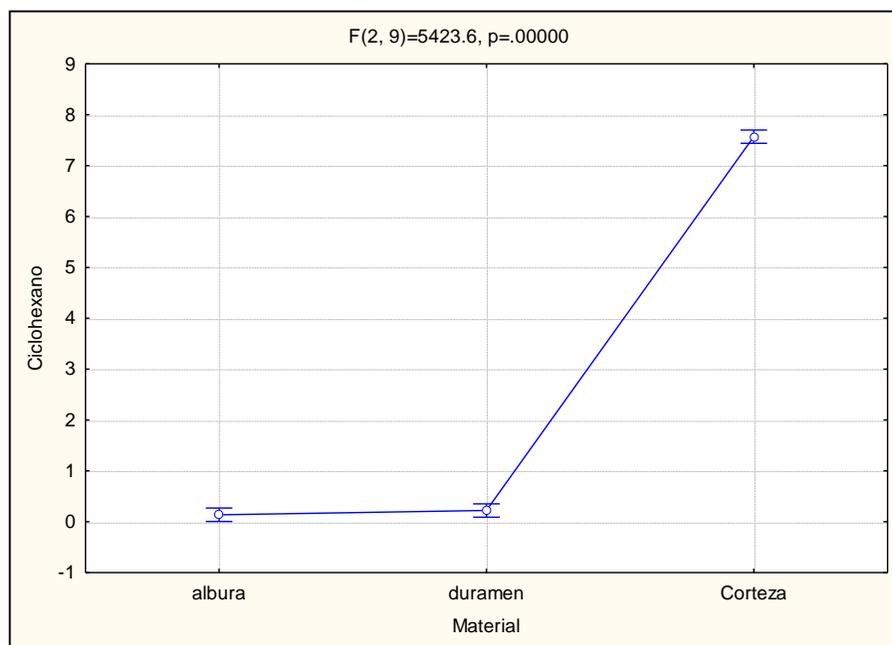
	Material	Árbol	Extraíbles totales	1	2	3	4	5
1	albura	A	5.18563			****		
2	albura	B	5.28406			****		
5	duramen	B	6.42708	****				
3	albura	C	6.48502	****	****			
6	duramen	C	7.23197	****	****			
4	duramen	A	7.54672		****			
9	Corteza	C	17.56033					****
8	Corteza	B	23.11535				****	
7	Corteza	A	23.56103				****	

## 7.4 Solubilidad en ciclohexano

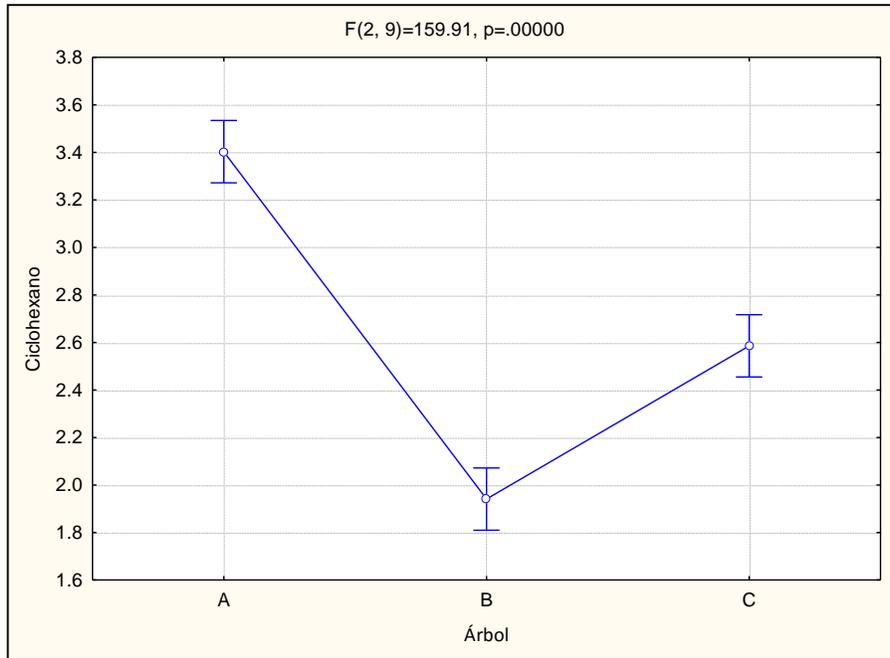
El análisis de varianza correspondientes a la solubilidad en ciclohexano se aprecia en el cuadro 11, con ello podemos comprobar que cada una de las variables se respuesta presentan diferencia estadística significativa. Los resultados de presentan en las figuras 23, 24, 25. Al hacer la relación entre las medias de albura y de corteza, se observa que esta última es diferente de la madera (Cuadro 12).

**Cuadro 11.** Anova para la solubilidad en ciclohexano.

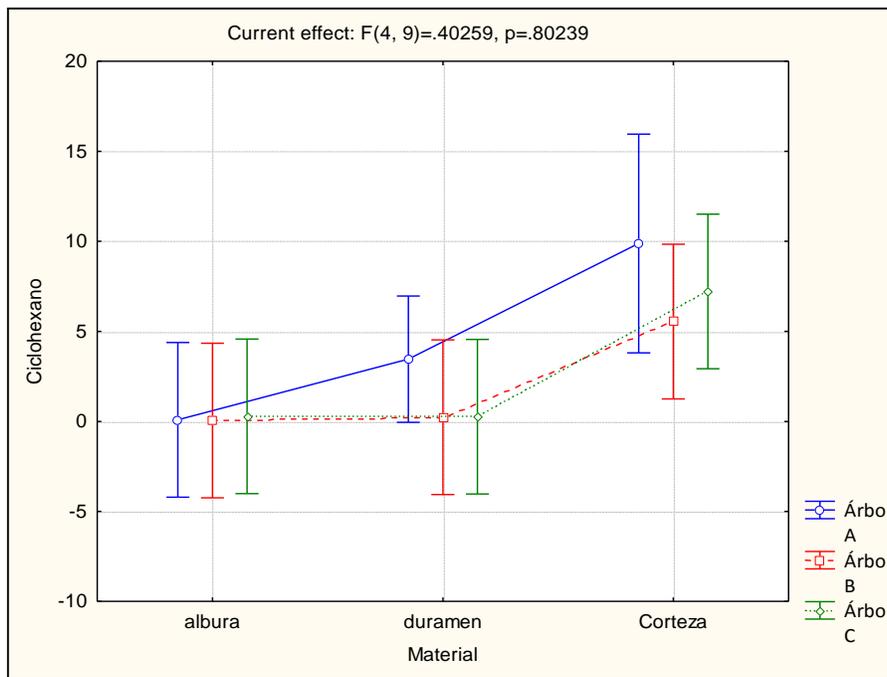
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
<b>Material</b>	218.5305	2	109.2652	5423.556	0
<b>Árbol</b>	6.4433	2	3.2217	159.912	0
<b>Material*Árbol</b>	13.4423	4	3.3606	166.808	0
<b>Error</b>	0.1813	9	0.0201		



**Fig. 23.** Efecto del material sobre la solubilidad en ciclohexano.



**Fig. 24.** Efecto del número de árbol sobre la solubilidad en ciclohexano.



**Fig. 25.** Efecto de los árboles y el material sobre la solubilidad en ciclohexano.

**Cuadro 12.** Prueba de Tukey para la solubilidad en ciclohexano.

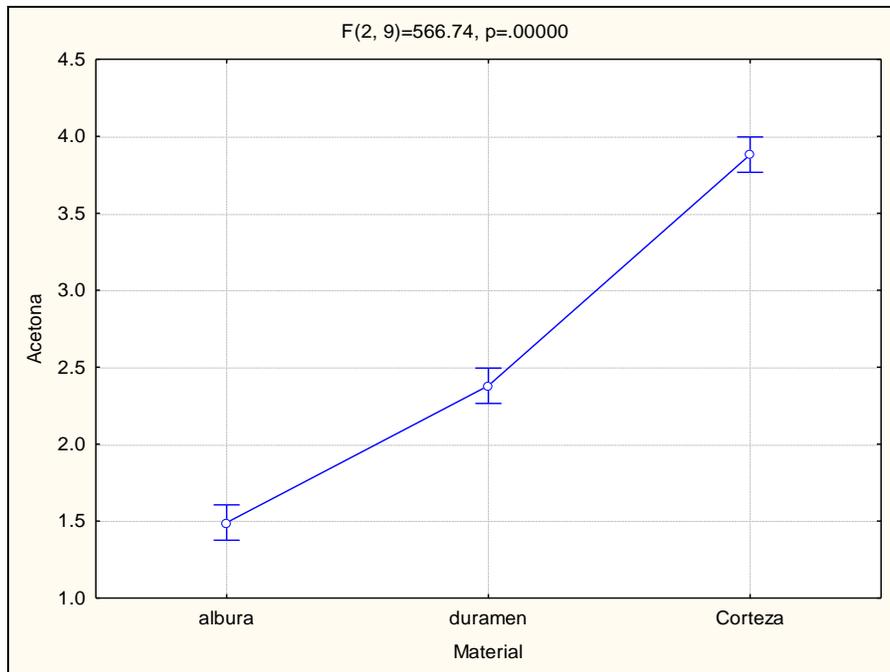
	Material	Árbol	Ciclohexano	1	2	3	4
2	albura	B	0.047375	****			
1	albura	A	0.08551	****			
4	duramen	A	0.17135	****			
5	duramen	B	0.232104	****			
6	duramen	C	0.259974	****			
3	albura	C	0.280152	****			
8	Corteza	B	5.542801		****		
9	Corteza	C	7.21669			****	
7	Corteza	A	9.951844				****

## 7.5 Solubilidad en acetona

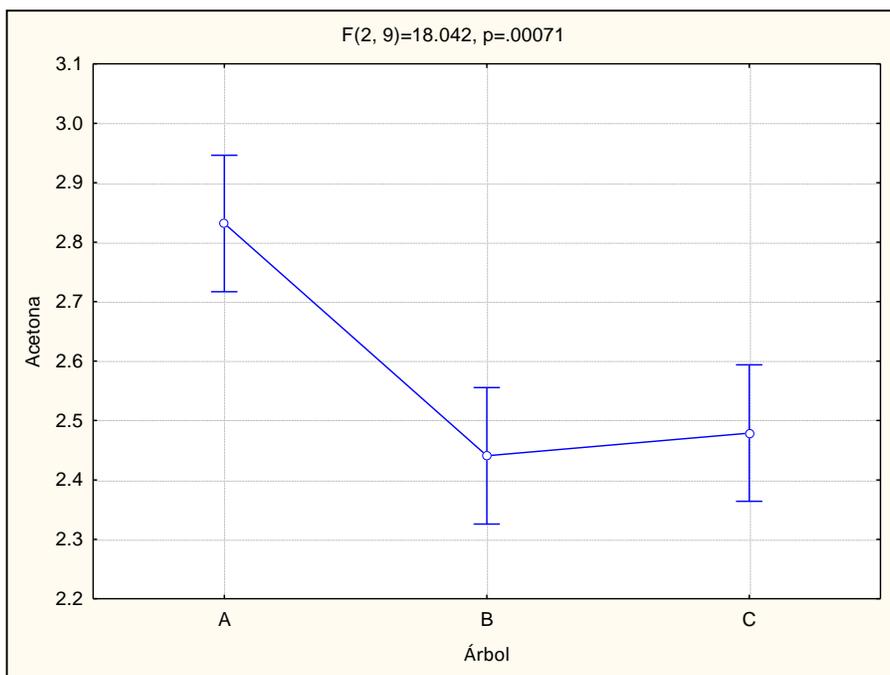
Aparece en el cuadro 13, el análisis de varianza para la solubilidad en acetona, indica que el nivel de significancia (valor-p) es menor a 0.05 sobre cada una de las variables de respuesta, como se observa en el primer factor (Figura 26), de igual manera (Figura 27) y finalmente (Figura 28), por lo que se confirma que en cada uno de los resultados existe influencia significativa de los factores. En el cuadro 14 se presenta el análisis de Tukey

**Cuadro 13.** Anova para la solubilidad en acetona.

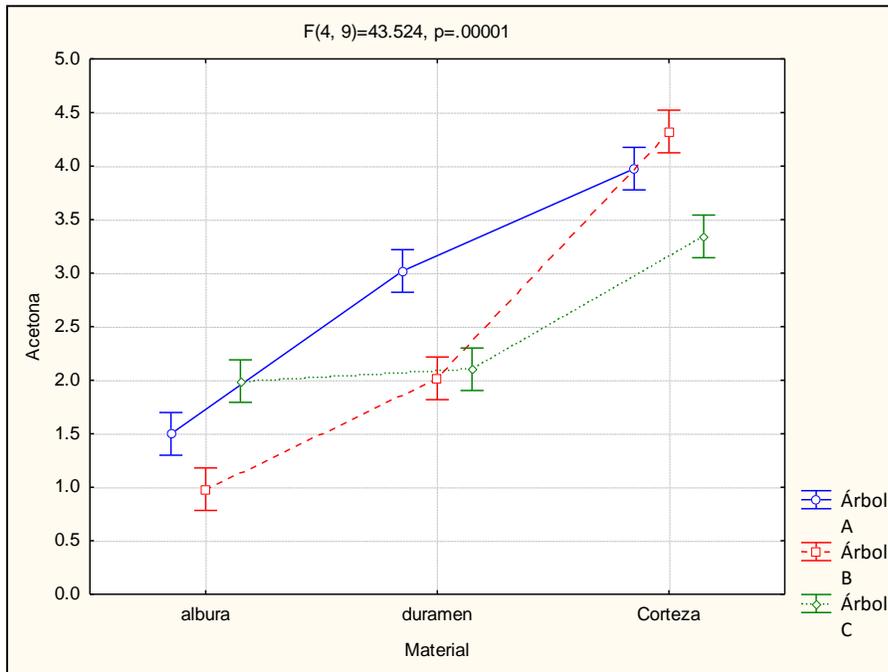
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
<b>Material</b>	17.5066	2	8.7533	566.744	0
<b>Árbol</b>	0.5573	2	0.2787	18.042	0.00071
<b>Material*Árbol</b>	2.6889	4	0.6722	43.524	0.000007
<b>Error</b>	0.139	9	0.0154		



**Fig. 26.** Efecto del material sobre la solubilidad en acetona.



**Fig. 27.** Efecto del número de árbol sobre la solubilidad en acetona.



**Fig. 28.** Efecto de los árboles y el material sobre la solubilidad en acetona.

**Cuadro. 14.** Prueba de Tukey para la solubilidad en acetona.

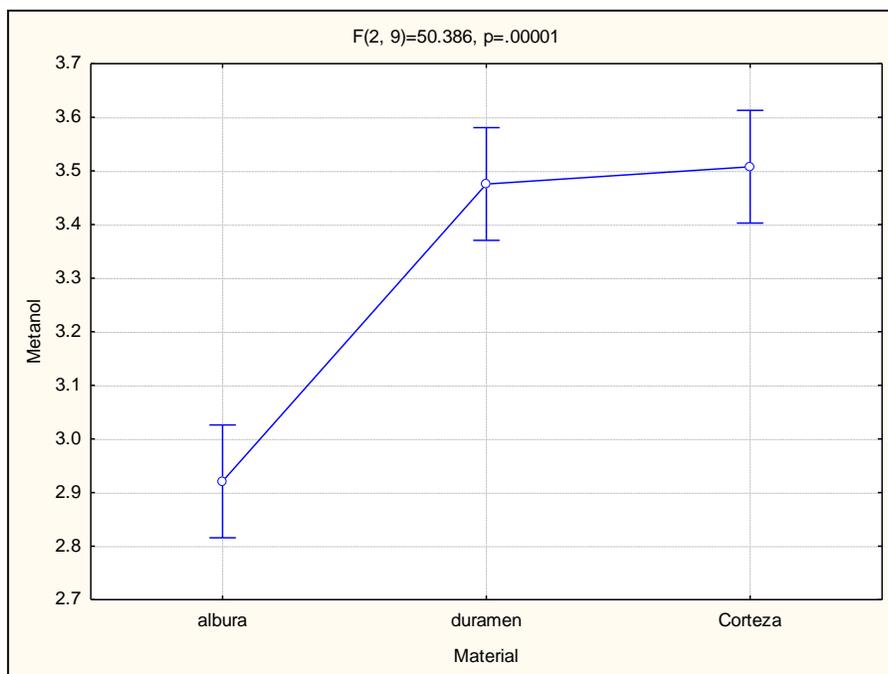
	Material	Árbol	Acetona	1	2	3	4	5
2	albura	B	0.981906				****	
1	albura	A	1.498432					****
3	albura	C	1.991856	****				
5	duramen	B	2.01701	****				
6	duramen	C	2.101636	****				
4	duramen	A	3.020363		****			
9	Corteza	C	3.342888		****			
7	Corteza	A	3.975645			****		
8	Corteza	B	4.322805			****		

## 7.6 Solubilidad en metanol

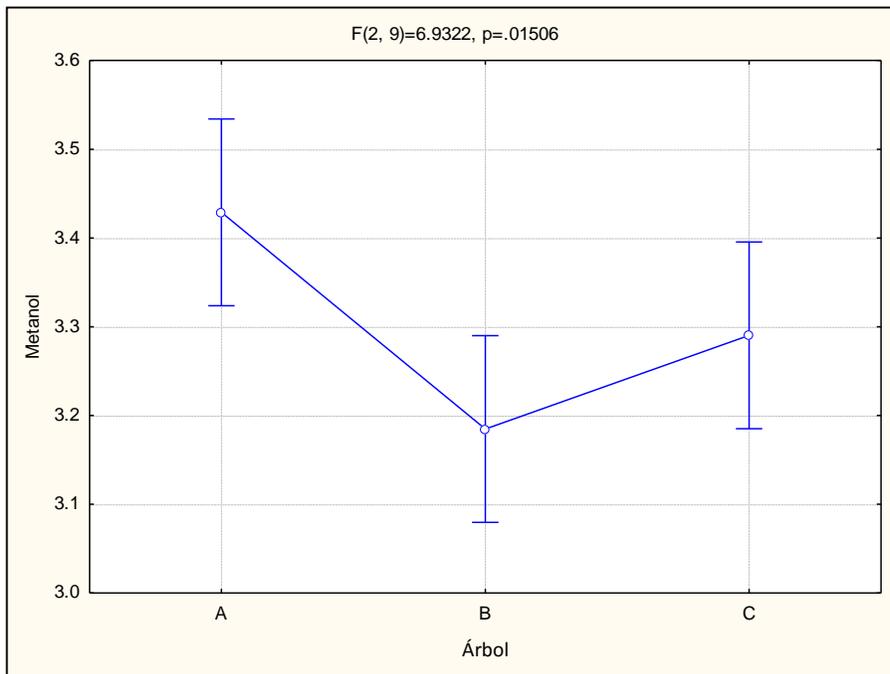
Se presenta en el cuadro 15 el análisis de varianza de la solubilidad en metanol en donde se comprueba que los valores tienen influencia en la variable de respuesta de todos los factores. Se comprueba en las figuras 29, 30, 31. Se presenta el cuadro de Tukey (Cuadro 16).

**Cuadro 15.** Anova para la solubilidad en metanol.

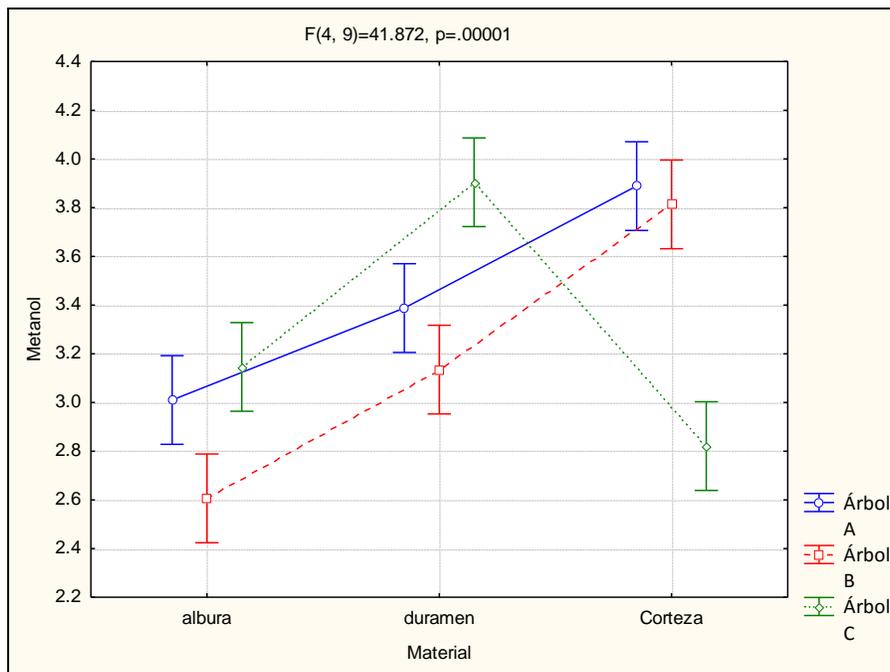
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
<b>Material</b>	1.3071	2	0.6535	50.39	0.000013
<b>Árbol</b>	0.1798	2	0.0899	6.93	0.015062
<b>Material*Árbol</b>	2.1724	4	0.5431	41.87	0.000008
<b>Error</b>	0.1167	9	0.013		



**Fig. 29.** Efecto del material sobre la solubilidad en metanol.



**Fig. 30.** Efecto del número de árbol sobre la solubilidad en metanol.



**Fig. 31.** Efecto de los árboles y el material sobre la solubilidad en acetona.

**Cuadro 16.** Prueba de Tukey para la solubilidad en metanol.

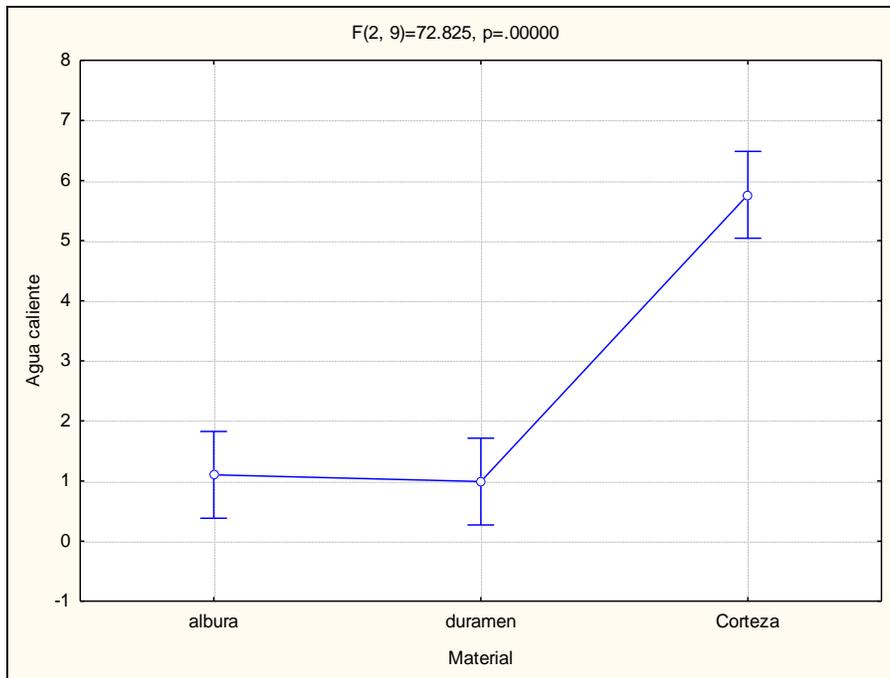
	Material	Árbol	Metanol	1	2	3	4	5
2	Albura	B	2.606055			****		
*9	Corteza	C	2.820831	****		****		
1	Albura	A	3.010289	****	****	****		
5	Duramen	B	3.134777	****	****			
3	Albura	C	3.145882	****	****			
4	Duramen	A	3.387691		****			****
8	Corteza	B	3.813741				****	****
7	Corteza	A	3.888847				****	
6	Duramen	C	3.904296				****	

### 7.7 Solubilidad en agua caliente.

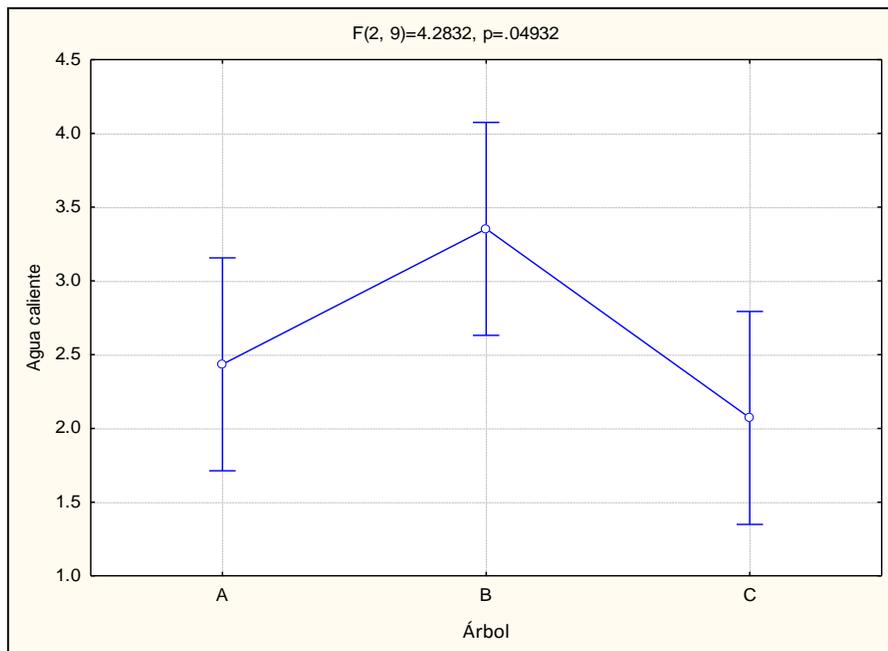
Se observa que, para la solubilidad en agua caliente (Cuadro 17), el factor material (Figura 32) y árbol (Figura 33), los resultados obtenidos demuestran que son estadísticamente significativos sobre la variable de respuesta, sin embargo, el efecto combinado material y árbol (Figura 34) demuestra lo opuesto, indicando que no es estáticamente significativo dado que su valor  $p$  es menor a 0.05. Como se mira en el cuadro 18, en esta prueba, las medias de la albura y el duramen son consistentes casi en su mayoría, mientras que para los valores en la corteza presentan diferencias.

**Cuadro 17.** Anova para la solubilidad en agua caliente.

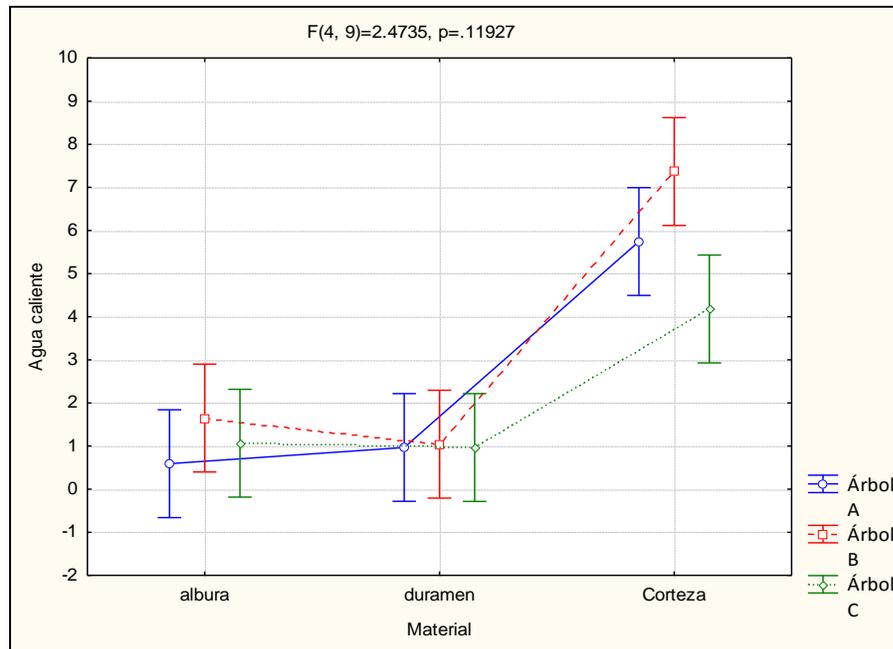
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	$p$
<b>Material</b>	89.0068	2	44.5034	72.8251	0.000003
<b>Árbol</b>	5.235	2	2.6175	4.2832	0.049318
<b>Material*Árbol</b>	6.0461	4	1.5115	2.4735	0.11927
<b>Error</b>	5.4999	9	0.6111		



**Fig. 32.** Efecto del material sobre la solubilidad en agua caliente.



**Fig. 33.** Efecto del número de árbol sobre la solubilidad en agua caliente.



**Fig. 34.** Efecto de los árboles y el material sobre la solubilidad en agua caliente.

**Cuadro 18.** Prueba de Tukey para la solubilidad en agua caliente.

	Material	Árbol	Agua caliente	1	2	3	4
1	albura	A	0.5914	****			
6	duramen	C	0.966065	****			
4	duramen	A	0.967313	****			
5	duramen	B	1.043191	****			
3	albura	C	1.06713	****			
2	albura	B	1.648727	****	****		
9	Corteza	C	4.17992		****	****	
7	Corteza	A	5.744697			****	****
8	Corteza	B	7.365913				****

## 7.8 Determinación de lignina.

Al realizar el análisis se obtuvieron diferencias debido a las condiciones propias del árbol. Primeramente, el contenido de lignina en albura tiene un rango entre 27.03% y 30.11%, que es consistente con los valores encontrados por Martínez (2007) que van desde 26.18% a 27.20% en la especie de *E. saligna*.

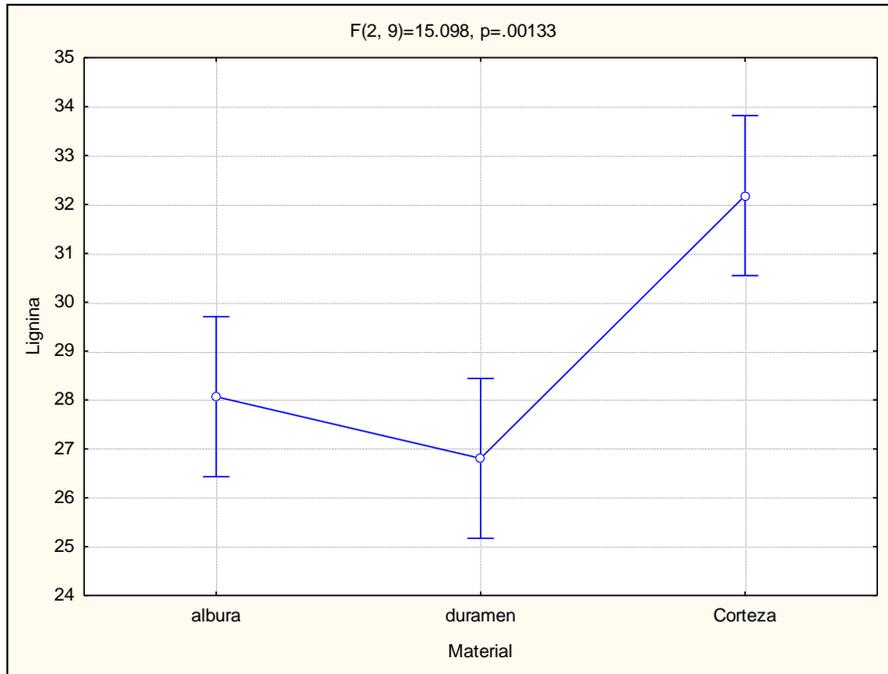
Para duramen se encuentran valores entre 26.54% y 27% que son ligeramente superiores a los reportados por Coello (2006) con la especie de *E. robusta* con valores de 21.41 a 22.22%.

Al realizar la comparación de las cortezas, se determinó para *E. cinerea* un contenido de 28.77% a 36.49%, cifras muy superiores comparados con los resultados de Pedraza (2006) con un porcentaje de 14% para la especie de *E. saligna* y 29% para *E. robusta* respectivamente. Akira *et al.* (2003) reportaron porcentajes de lignina de trece especies de eucaliptos con rangos entre 24.97% a 34.65%.

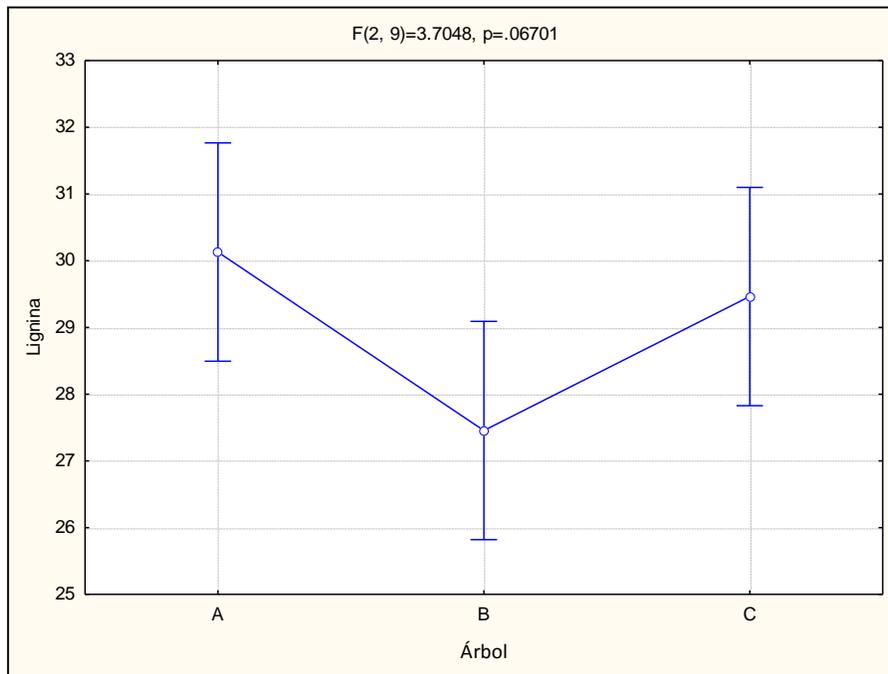
A continuación, se presenta el análisis de varianza en el cuadro 19 en donde se aprecia que el factor árbol no tiene diferencia estadística significativa (Figura 35), sin embargo, los valores de  $p$  son menores a 0.05 en el factor material (Figura 36) así como el efecto combinado (Figura 37) por lo tanto, sí presentan diferencia significativa.

**Cuadro 19.** Anova para el contenido de lignina.

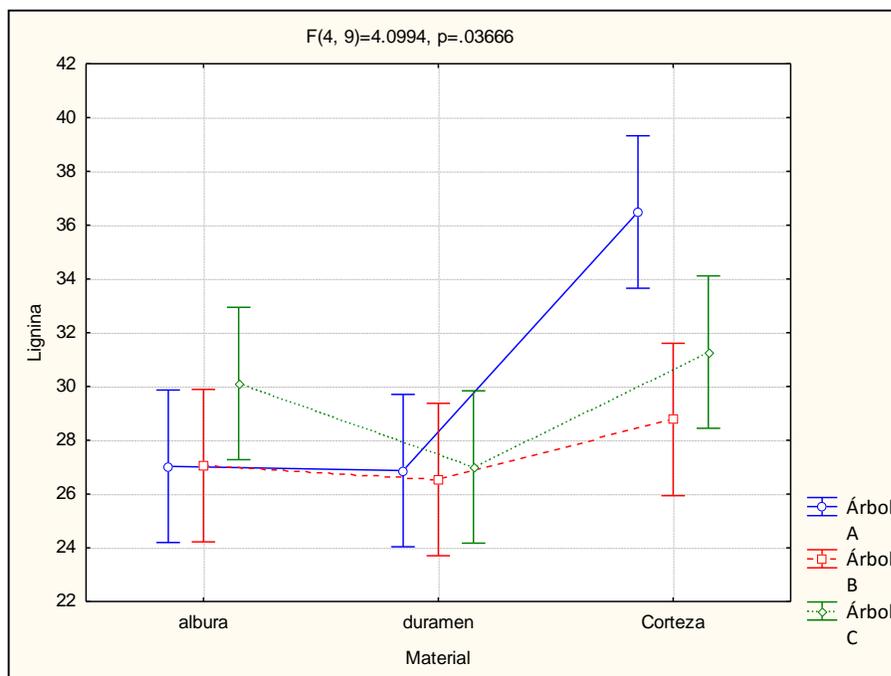
	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	$p$
<b>Material</b>	94.78	2	47.39	15.098	0.001332
<b>Árbol</b>	23.26	2	11.63	3.705	0.067011
<b>Material*Árbol</b>	51.47	4	12.87	4.099	0.03666
<b>Error</b>	28.25	9	3.14		



**Fig. 35.** Efecto del material sobre la lignina.



**Fig. 36.** Efecto del número de árbol sobre la lignina.



**Fig. 37.** Efecto de los árboles y el material sobre la lignina.

**Cuadro 20.** Prueba de Tukey para la lignina

	Material	Árbol	Lignina	1	2
5	duramen	B	26.53857	****	
4	duramen	A	26.87187	****	
6	duramen	C	27.00487	****	
1	albura	A	27.03179	****	
2	albura	B	27.05752	****	
8	Corteza	B	28.77239	****	
3	albura	C	30.11026	****	****
9	Corteza	C	31.27809	****	****
7	Corteza	A	36.48758		****

## 7.9 Determinación de holocelulosa.

La holocelulosa es la proporción de celulosa y hemicelulosas presentes en el árbol, las proporciones encontradas en *E. cinerea* varían dependiendo de la zona de análisis. Para la albura los resultados arrojaron mediciones desde 95.93% hasta 97.06% y en duramen desde 93.41% hasta 94.74%. Estos valores son elevados si se compara con el resultado de Rowell (1984) para la especie *E. saligna* que indica promedios de 74%, mientras Coello (2006) reporta valores de 78.35% y 80.90% para albura y valores entre 42.78% y 56.33% en duramen para madera de *E. citriodora*.

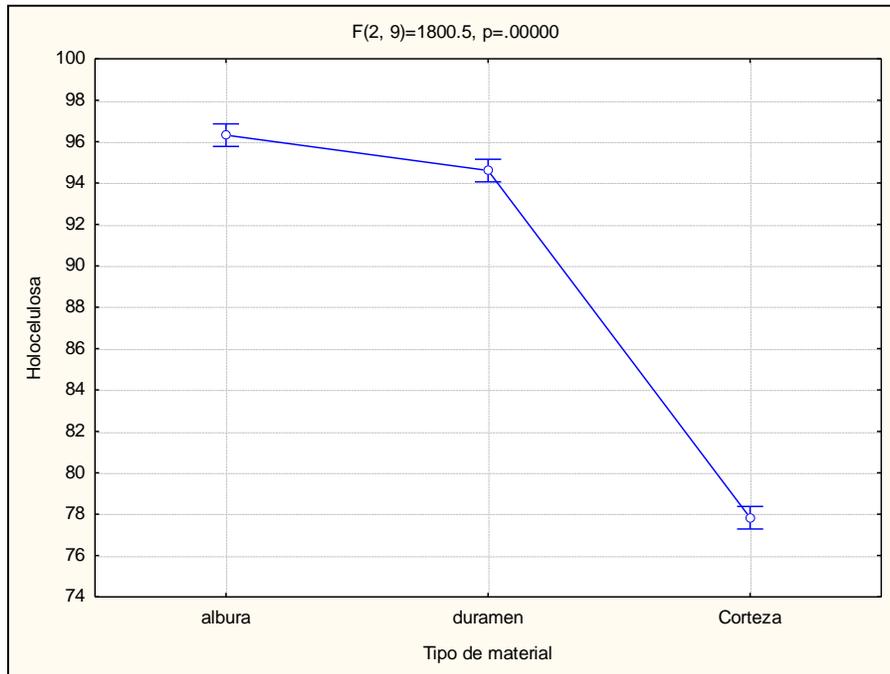
En corteza, para *E. cinerea*, se observan valores desde 74.09% hasta 79.88% mientras que, Pedraza (2006) reporta valores para *E. camadulensis* de 48% y 44.37% en *E. robusta*, esta disparidad de valores se puede asociar a las diversas condiciones de crecimiento de los árboles y la edad del mismo (Fengel y Wegener, 1983) así como a las zonas del árbol donde fueron obtenidas las muestras; otro factor a tomar en cuenta puede ser la secuencia de extracción al momento de dejar la muestra libre de extraíbles en la que algunos polisacáridos pueden lixivarse al momento de realizar la separación (Pearl 1976).

En otras especies de latifoliadas como es el caso de *Quercus candicans* se observan valores de holocelulosa en corteza con promedio de 74.27% o en *Quercus laurina* con promedio de 78.98% (Pérez, 2019) lo que nos indica que hay una variación en la composición química de la corteza entre las especies.

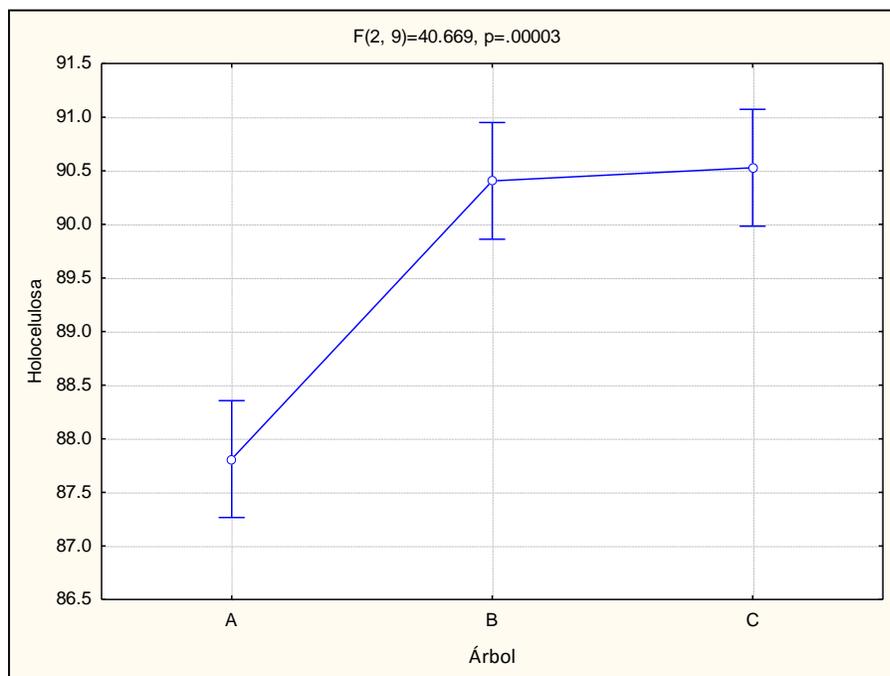
En el cuadro 21 se muestra el análisis de varianza para la holocelulosa, indicando que el valor p es menor a 0.05, es decir, que todos los factores y su interacción si tienen influencia en la variable de respuesta para la prueba realizada. En las figuras 38, 49 y 40 se indican gráficamente los resultados. Como se observa en el cuadro 22, se presenta la prueba de Tukey para el análisis de holocelulosa.

**Cuadro 21.** Anova para el contenido de holocelulosa.

	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Cuadrados medios	F	p
<b>Material</b>	1252.2	2	626.1	1800.5	0.000000
<b>Árbol</b>	28.3	2	14.1	40.7	0.000031
<b>Material*Árbol</b>	20.8	4	5.2	15.0	0.000520
<b>Error</b>	3.1	9	0.3		



**Fig. 38.** Efecto del material sobre la holocelulosa.



**Fig. 39.** Efecto del número de árbol sobre la holocelulosa.

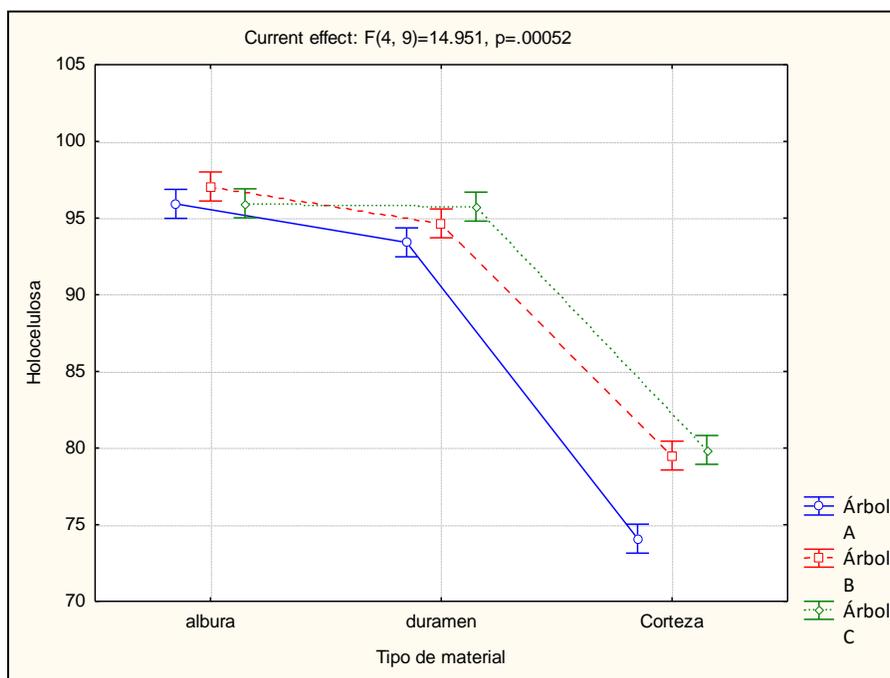


Fig. 40. Efecto de los árboles y el material sobre la holocelulosa.

Cuadro 22. Prueba de Tukey para la holocelulosa.

	Tipo de material	Árbol	Holocelulosa	1	2	3	4	5
7	Corteza	A	74.093					****
8	Corteza	B	79.50919				****	
9	Corteza	C	79.88				****	
4	Duramen	A	93.41181			****		
5	Duramen	B	94.65271	****		****		
6	Duramen	C	95.74464	****	****	****		
1	Albura	A	95.92536	****	****			
3	Albura	C	95.95972	****	****			
2	Albura	B	97.05621		****			

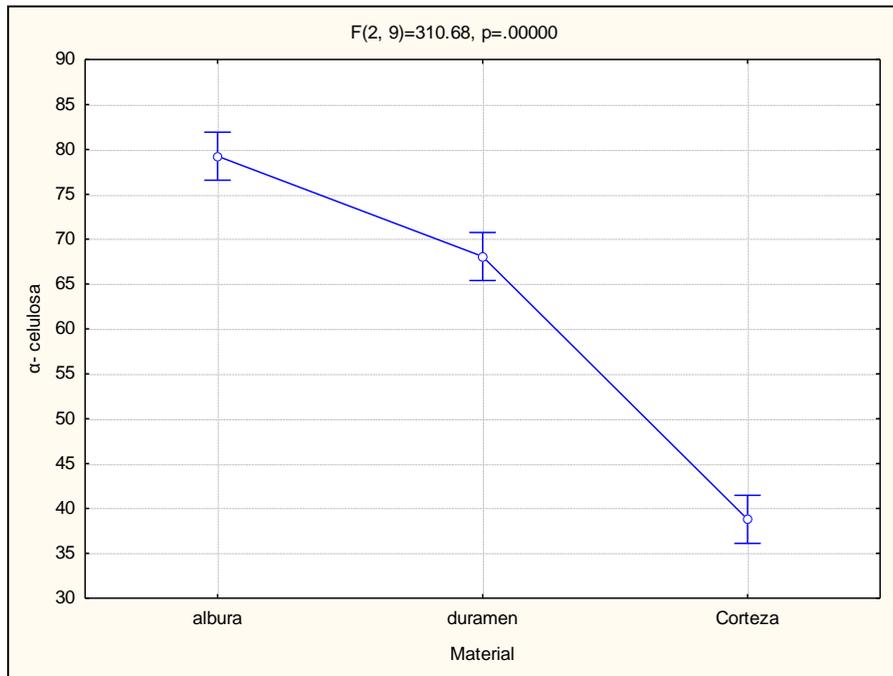
## 7. 10 Determinación de $\alpha$ -celulosa

Actualmente, la determinación de  $\alpha$ -celulosa raramente se realiza y ha sido reemplazada por la determinación de la solubilidad en álcali o la resistencia al álcali (Sanjuán, 1997). Por esa razón, se complica la comparación de resultados con la biografía consultada, a pesar ello, solamente en los datos reportados por Rowell (1984) acerca de caracterización química de algunas especies de eucaliptos hay resultados que van desde un 36% para *Eucalyptus marginata* Sm. hasta un 50% en la especie *Eucalyptus deglupta* Blume, sin las especificaciones del tipo de material empleado, suponiendo que se está determinando las pruebas de la madera de árbol sin contar la corteza. En cuanto al contenido de  $\alpha$ -celulosa en *E. cinerea* se determinaron porcentajes de 77.64% a 80.91% en albura, 63.76% a 68.58% en duramen y para corteza 34.66% a 42.69%.

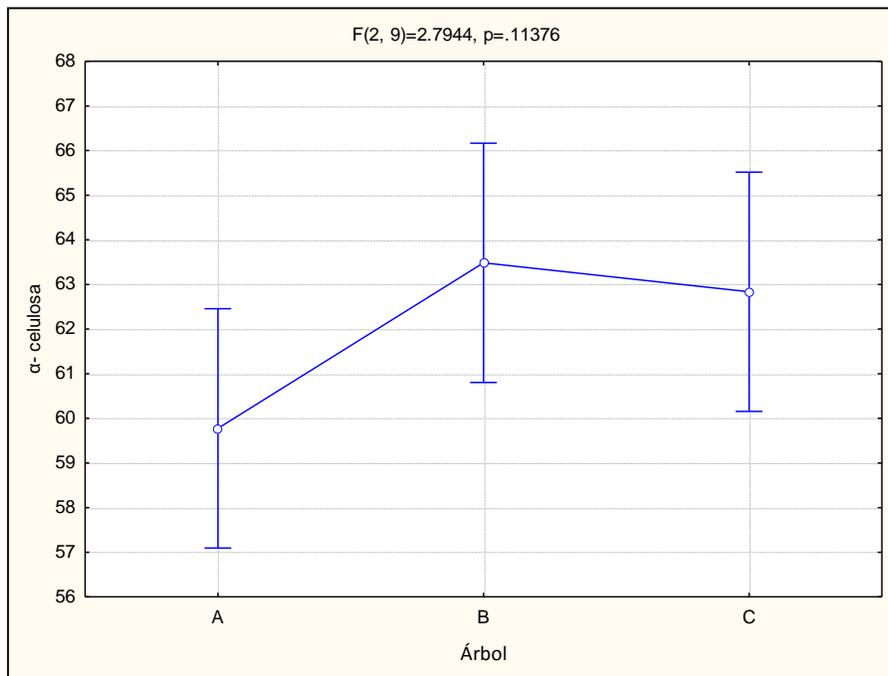
El análisis de varianza (Cuadro 23) indica que solamente el factor árbol tiene diferencia estadística significativo en comparación con los siguientes dos factores, que demuestran lo contrario, esto se aprecia en las figuras 41, 42 y 43. Se observa la prueba de Tukey en el cuadro 24.

**Cuadro 23.** Anova para el contenido de  $\alpha$ -celulosa.

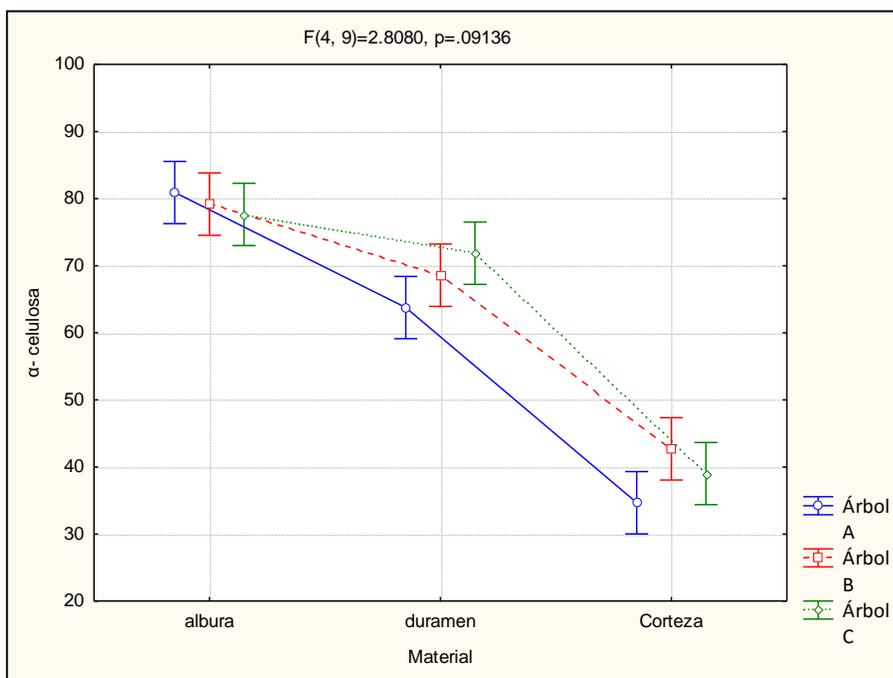
	<b>Suma de cuadrados</b>	<b>Grados de libertad</b>	<b>Cuadrados medios</b>	<b>F</b>	<b>p</b>
<b>Material</b>	5236.88	2	2618.44	310.684	0
<b>Árbol</b>	47.1	2	23.55	2.794	0.113762
<b>Material*Árbol</b>	94.66	4	23.67	2.808	0.09136
<b>Error</b>	75.85	9	8.43		



**Fig. 41.** Efecto del material sobre la  $\alpha$ -celulosa.



**Fig. 42.** Efecto del número de árbol sobre la  $\alpha$ -celulosa.



**Fig. 43.** Efecto de los árboles y el material sobre la  $\alpha$ -celulosa.

**Cuadro 24.** Prueba de Tukey para la  $\alpha$ -celulosa.

	Material	Árbol	$\alpha$ - celulosa	1	2	3	4
7	Corteza	A	34.66334			****	
9	Corteza	C	39.01358			****	
8	Corteza	B	42.69376			****	
4	duramen	A	63.7558				****
5	duramen	B	68.58115	****			****
6	duramen	C	71.85758	****	****		****
3	albura	C	77.64086	****	****		
2	albura	B	79.18109	****	****		
1	albura	A	80.90875		****		

## 8. Conclusiones

En este capítulo se presentan las conclusiones de este trabajo.

- Los valores de pH en *E. cinerea* van de 4.39 en madera a 5.66 en corteza, lo cual indica que las muestras son ácidas.
- Las cenizas obtenidas varían entre 0.62% a 0.80% en madera; y de .62% 0.82% en corteza. Estos últimos valores indican que se encuentran ligeramente debajo de los valores reportados en la literatura.
- En el análisis del MEB o EDS se encontraron los elementos inorgánicos: potasio, azufre, calcio, fósforo. El elemento potasio estuvo presente en mayor cantidad en todas las muestras. Sin embargo, el flúor, rubidio y cobre estuvieron en una cantidad mínima.
- La cantidad de extractos totales determinados en mayor proporción fue en la corteza (17.56% a 23.56%).
- De acuerdo con los solventes empleados, la mayor cantidad de extraíbles se obtuvo con metanol, seguido de agua caliente, de ciclohexano y finalmente de acetona.
- La presencia de lignina en corteza es mayor que en madera. En general, los porcentajes de lignina en todos los materiales analizados son mayores comparándolos con los de la literatura.
- La madera presenta valores de holocelulosa y  $\alpha$ -celulosa mayores que en la corteza. Éstos datos son consistentes con los rangos encontrados en la literatura.

## 9. Recomendaciones

Se recomienda realizar estudios para usos químicos específicos como:

- Obtención de taninos
- Carbón activado
- Aceites esenciales, u otros productos de mayor valor agregado

## 10. Literatura

ASTM (American Society for Testing and Materials).1997 Método estándar para determinar alfa celulosa en la madera. D1 103-60. ASTM. Philadelphia.

Ávila Calderón, L. E. A (2012) Fundamentos de Química de la Madera. México.

Akira, M. F et. al. (2003) Use of Wood of Eucalyptus sp and native in the storage of the sugar cane spirit, Ciencia y Tecnología de Alimentos. Vol. 23. No. 3 Campinas.

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.

Bernstein, N., Shushan, S., Shargil, D., Perzelan, Y. Salim, S., Zadka, T., Riov, J, Sacks, M., Spiegel, E., Tamari, Y., Weizman, S., Meir, S., Philosoph-Hadas, S, y Zemach, H. (2017). Seasonal variation in leaf damage sympoms, mineral contents, and postharvest attrinutes of cut foliage of Eucaliptus silver dollar (*E. cinerea*), Israel Journal of Plant Sciences, DOI: 10. 1080/07929978.2016.1275361.

Coello Ruiz, I. (2006). Composición química de la madera de tres especies de eucalipto. (Tesis inédita de maestría). Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.

Comisión Nacional Forestal (CONAFOR). 2010. Plantas medicinales de la farmacia viviente-CONAFOR. Recuperado de [http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/plantas\\_medicinales\\_de\\_la\\_farmacia\\_viviente-conafor.pdf](http://www.conafor.gob.mx/biblioteca/plantas_medicinales_de_la_farmacia_viviente-conafor.pdf) Primera edición, 2010 Comisión Nacional Forestal Coordinación General de Educación y Desarrollo Tecnológico Gerencia de Educación y Capacitación [www.conafor.gob.mx](http://www.conafor.gob.mx) Fecha de acceso: 28 de agosto de 2018.

Cozzo, D. (1955). Eucalyptus y Eucaliptotecnia. Buenos Aires, Argentina: El Ateneo.

Clermont, J. E. Area, M. C, Felissia, F. E, Núñez, C. E & Venica, A. D. (2002). Estudio comparativo de especies de eucalyptus y su respuesta al pulpado nssc. Recuperado de <https://www.researchgate.net/publication/265879838>.

Cronquist, A. (1981). An Integrated System of Classification of Flowering Plants. New York, NY. Columbu University Press.

López, Osorio, J., Revuelta Arreola, M., Villa Castillo, B., (2003) MEMORIA Seminario Michoacano sobre la Problemática Ambiental de las Especies Introducidas: caso *Eucalyptus*. Secretaria de Urbanismo y Medio Ambiente. Morelia, Michoacán, México: Centro de Investigación y Desarrollo del Estado de Michoacán.

FAO. (1981). El eucalipto en la repoblación forestal. Recuperado de <http://www.fao.org/3/a-ac459s.pdf>.

Fengel, D y Wegener, G. (1983). Wood: chemistry, ultraestructure, reactions. Berlín: Walter de Gruyter, p. 29-43, 55-59, 556.

Granados Sánchez, D., López Ríos, G. F. (2007). Fitogeografía y ecología del género *Eucalyptus*. Revista Chapingo. Serie Ciencias Forestales y del Ambiente, vol. 13, núm. 2. pp. 143-156. Recuperado de <file:///C:/Users/Usuario/Downloads/rchscfaXIII480.pdf>

Grichi, A. Nasr, Z. Khoula, M. L. (2016). cytotoxic effects of essential oil from *Eucalyptus cinerea* and its physiological mechanisms. Volumen IABC (13). Recuperado de [www.jnsciences.org](http://www.jnsciences.org)

Hernández Romero, A. (2006). Estudio experimental del comportamiento de tres especies de eucalipto como alternativa de absorción de lixiviados. Universidad de La Salle. Facultad de Ingeniería Ambiental y Sanitaria área de residuos sólidos. Bogotá d.c. Recuperado de <http://repository.lasalle.edu.co/bitstream/handle/10185/14845/T41.06%20H43e.pdf;jsessionid=D40DF72DDC0AB113CB9CCDCCEEA7FC50?sequence=1>

Kollmann, F.P (1959). Tecnología de la madera y sus aplicaciones. Madrid, España: Ministerio de Agricultura. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias y Servicio de la Madera.

Mangieri, H. R., Milan, J. D., (1958). Los eucaliptos en la silvicultura. Buenos Aires, Argentina: Editorial ACME, S.A.C.I., Maipú 92.

Martínez Ríos, N. S. (2007). Análisis químico básico e índices de calidad de pulpa de la madera de 4 especies de eucalipto. (Tesis inédita profesional). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.

Martínez Ruiz, R., Aspiroz Rivero, H. S., De la O Rodríguez, J. L., Cetina Alcalá, M., Gutiérrez Epinoza, M. A. (2006). Importancia de las plantaciones forestales de *Eucalyptus*. Ra Ximhai, septiembre-diciembre, año/Vol.2, Número 3.

McDonald, G. (2019) Eucalipto Dólar *Eucalyptus cinerea*. Recuperado de: <https://www.naturalista.mx/photos/31349576>.

Montoya Oliver, M. J. (1995). El eucalipto. Madrid, España: Editorial Mundi Prensa.

Orea Igarza, U., Carballo Abreu, L. R. y Cordero Machado, E. (2004) Composición química de tres maderas en la provincia de Pinar del Rio, Cuba a tres alturas del fuste comercial. Parte N° 2: *Eucalyptus pellita* F. Muell. Recuperado de: <https://www.chapingo.mx/revistas/revistas/articulos/doc/rchscfaX410.pdf>.

Orozco Sánchez, F. (2002). Establecimiento de un cultivo de células en suspensión de *Eucalyptus cinerea* y evaluación de la producción de 1,8 cineol y otros terpenoides. Universidad Nacional de Colombia. Sede Medellín. Recuperado de <http://bdigital.unal.edu.co/50520/1/fernandoorozcosanchez.2002.pdf>.

Pearl IA, Buchaman MA (1976). A study of the inner and outer bark of loblolly pine. *Tappi* (59): 136-139.

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 inédita de maestría). Facultad de Ingeniería y Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán. México.

Pereira, B. L., Carneiro, A., Carvalho, M. L., Colodette, J. C, Costa Oliveira, A. y Fontes, M. (2013). Influence of Chemical Composition of Eucalyptus Wood on Gravimetric Yield and Charcoal Properties. Brasil. Recuperado de: [https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wpcontent/uploads/2016/06/BioRes\\_08\\_3\\_4574\\_Pereira\\_Chem\\_Wood\\_Yield\\_Charcoal\\_3908.pdf](https://bioresources.cnr.ncsu.edu/wpcontent/uploads/2016/06/BioRes_08_3_4574_Pereira_Chem_Wood_Yield_Charcoal_3908.pdf).

Pérez Landa, A. (2019) Relación entre las características químicas básicas y las propiedades mecánicas de tres especies de encino de la comunidad indígena de Nuevo San Juan Parangaricutiro, Michoacán. (Tesis de Licenciatura, Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

Plan de Desarrollo Urbano de Villa Victoria (2004) Recuperado de: [http://seduym.edomex.gob.mx/villa\\_victoria](http://seduym.edomex.gob.mx/villa_victoria).

Raya Gonzales, D. (1999). EFICACIA DE LOS EXTRACTOS DE *Eucalyptus cinerea* F. v. Muell., *Eucalyptus* Sm. y *Nerium oleander* L. EN LA PROTECCION DE LA MADERA DE *Quercus scytophylla* Liemb. CONTRA *Lyctus* sp. (Tesis inédita de maestría) Universidad Michoacana de San Nicolas de Hidalgo, Morelia, Michoacán. México.

Rowel, Roger (1984). *The Chemistry of Solid Wood*. Washington D.C: American Chemical Society, p: 73-123.

Rodríguez Olalde, N. (2006). Obtención de pulpa por los procesos Kraft y a la Sosa y su blanqueo, a partir de madera de *Eucalyptus citriodora* Hook. (Tesis inédita de maestría). Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo, Morelia, Michoacán. México.

Rencoret, J., Gutiérrez, A. y del Río, J. C. (2006) Chemical composition of different *eucalyptus* wood species used for paper pulp manufacturing. Sevilla, España. Recuperado de: <https://digital.csic.es/bitstream/10261/86415/1/Rencoret-1-Extended-Abstract.pdf>.

Martínez Ruiz, R., Azpiroz Rivero, H. S., Rodríguez De la O, J. L., Cetina Alcalá, V. M., Gutiérrez Espinosa, M. A. (2006) IMPORTANCIA DE LAS PLANTACIONES FORESTALES DE *Eucalyptus*. Ra Ximbai. Vol. 2, Numero 3. Recuperado de: [https://www.researchgate.net/publication/28139915\\_Importancia\\_de\\_las\\_plantaciones\\_forestales\\_de\\_Eucalyptus](https://www.researchgate.net/publication/28139915_Importancia_de_las_plantaciones_forestales_de_Eucalyptus)

Rutiaga Quiñones, J. G., Pedraza Bucio, F. E., Martínez Ríos, N. S., López Albarrán, P. y Luiz Colodette, J. (2006) Composición química de cuatro eucaliptos de una plantación experimental en Morelia, México. Recuperado de: [http://www.eucalyptus.com.br/icep03/28\\_martinezrios.et.all.pdf](http://www.eucalyptus.com.br/icep03/28_martinezrios.et.all.pdf).

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

Sanjuán Dueñas, R. 1997. Obtención de pulpas y propiedades de la fibra de papel. Universidad de Guadalajara. México.

Sebei, K. Sakouhi, F. Herchi, W. Khouja, M. L & Boukchina, S. (2015). Chemical composition and antibacterial activities of seven *Eucalyptus* species essential oils leaves. Biological Research; licensee BioMed Central. Recuperado de <https://doi.org/10.1186/0717-6287-48-7>.

SEMARNAT (Secretaria del Medio Ambiente y Recursos Naturales). (2013) Fichas técnicas sobre características tecnológicas y uso de maderas comercializadas en Mexico. SEMARNAT.

Sistema Nacional de Información Municipal (SNIM) (2010). Enciclopedia de los Municipios y Delegaciones de México. Recuperado de: <http://www.inafed.gob.mx/work/enciclopedia/EMM15mexico/municipios/15114a.html>.

Soliman, F. M. Fathy, M. M., Salama, M. M. y Saber, F, R. (2014). Composición química y bioactividad del aceite volátil de las hojas y tallos de *Eucalyptus cinerea* Páginas 1272-1277. Recuperado de <https://doi.org/10.3109/13880209.2014.889177>.

Stevens, P. F. (2001). Angiosperms Phylogeny Website. Version 14. Missouri Botanical Garden. University of Missouri, St. Louis. Recuperado de: <http://www.mobot.org/MOBOT/research/APweb/>, <http://www.tropicos.org/Name/22102083>

TAPPI (Technical Association the Pulp and Paper Industry) 2000. TAPPI Test Methods (2000-2001). TAPPI Press. Atlanta.

Walter, H. (1977). Zonas de Vegetación y clima. Barcelona, España: Editorial Omega.

White, A.; Martin, A. (2002). Who owns the world's forests? Forest tenure and public forests in transition. Forest Trends. 30 pp.

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

## 11. Anexo

Cuadro comparativo de resultados para diferentes especies de eucaliptos.

Nombre científico/ Nombre común	pH	Cenizas	Solubilidad							% total de extraíbles	Lignina Klason	Lignina Runkel	Holocelulosa	α-celulosa	Fuente
			Éter	EtOH/Benceno	1% NaOH	Ciclohexano	Acetona	Metanol	Agua caliente						
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> Dehnh. / Red river gum	-	0.8	-	2	11	-	-	-	2	-	29	-	-	50 f	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.08-5.66	0.73-0.74	-	-	-	0.24-0.36	3.42-3.89	2.05-2.62	0.67-1.03	4.72- 6.74	-	28.81-26.66	87.77-89.22	-	Martínez, 2007
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	5.37	0.75	-	-	-	-	-	-	-	5.7	-	24.2	88.4	-	Rutiaga, 2006
<i>Eucalyptus camaldulensis</i> (corteza)	4.82	4.9	-	-	-	0.6-0.87	8.8-10.7	6.0-6.36	3.2- 5.2	20.1	-	9	48.6	-	Pedraza, 2006
<i>Eucalyptus citriodora</i>	4.02-4.3	0.42-0.48	-	-	-	0.99-1.37	3.08-5.24	2.6-3.08	1.22-2.38	5.53- 7.49	-	24.19-25.01	84.49-86.92	-	Martínez, 2007
<i>Eucalyptus citriodora</i> (Albura)	4.17-4.83	0.33-0.35	-	-	-	0.19-0.26	1.53-2.05	1.18-1.71	0.78-0.84	3.67- 4.85	-	19.87-21.18	78.35-80.90	-	Coello, 2006
<i>Eucalyptus citriodora</i> (Corteza)	4.68	4.34	-	-	-	0.4-0.5	6.9	5.4-7.9	4.7- 6.9	18.95	-	17.7	45	-	Pedraza, 2006
<i>Eucalyptus citriodora</i> (Duramen)	3.77-3.81	0.43-0.50	-	-	-	0.96-1.00	3.21-3.56	1.73-1.88	0.82-0.92	6.85- 7.21	-	18.58-19.52	42.78-56.33	-	Coello, 2006
<i>Eucalyptus citriodora</i>	4.16	0.45	-	-	-	-	-	-	-	6.5	-	24.6	85.7	-	Rutiaga, 2006
<i>Eucalyptus cloeziana</i> F. Muell/Gympie messmate	-	0.3	-	3	12	-	-	-	2	-	28	-	-	54 f	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus dunnii</i>	-	0.2	-	-	-	-	-	-	1.4	0.6 (1.2)	21.6	-	-	-	Rencoret, 2006
<i>Eucalyptus deglupta</i> Blume/ Bagras	-	0.7	-	2	14	-	-	-	1	-	26	-	71	-	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus deglupta</i> Blume/ Kamarere	-	0.6	-	1	10	-	-	-	2	-	32	-	73	51	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus gigantea</i> Hook.f./-	-	0.2	0.3	4	16	-	-	-	7	-	22	-	72	49	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus globulus</i>	-	0.24	-	-	-	-	-	-	-	-	-	25.07	57.62	-	Kollman, 1959
<i>Eucalyptus globulus</i>	-	0.5	-	-	-	-	-	-	1.2	0.3 (1.5)	18.7	-	-	-	Rencoret, 2006
<i>Eucalyptus grandis</i>	-	0.3	-	-	-	-	-	-	1.6	0.5 (1.3)	21.1	-	-	-	Rencoret, 2006
<i>Eucalyptus grandis</i> W. Hilllex Maid./Flooded Gum	-	0.3	-	3	16	-	-	-	3	-	26	-	-	54f	Rowell, 1984

Continuación del cuadro comparativo para diferentes especies de eucaliptos.

<i>Eucalyptus kirtoniana</i> F. Muell./ -	-	0.1	0.3	2	14	-	-	-	3	-	28	-	74	50	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus nitens</i>	-	0.4	-	-	-	-	-	-	1.2	0.6 (1.4)	22.5	-	-	-	Rencoret, 2006
<i>Eucalyptus maidenii</i>	-	0.3	-	-	-	-	-	-	1.3	0.5 (1.3)	22.6	-	-	-	Rencoret, 2006
<i>Eucalyptus marginata</i> Sm./ Jarrah	-	-	-	1	26	-	-	-	7	-	43	-	-	36	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus pellita</i> F. Muell.	-	0.17-0.23	-	5.48-6.77	18.77-20.12	-	-	-	4.67-5.48	-	-	18.51-21.30	78.70-80.68	-	Orea et, al. 2004
<i>Eucalyptus robusta</i>	3.47-4.22	0.25-0.35	-	-	-	1.99-2.78	3.03-6.04	3.03-3.48	0.88-1.53	7.4-9.77	-	25.9-26.2	89.38-89.93	-	Martínez, 2007
<i>Eucalyptus robusta</i> (Albura)	4.66-4.69	0.27-0.28	-	-	-	0.26-0.46	1.26-1.52	1.14-1.28	0.66-0.67	3.33-3.92	-	21.61-23.12	40.58-46.17	-	Coello, 2006
<i>Eucalyptus robusta</i> (Corteza)	3.39	1.18	-	-	-	1.49-1.5	5.32-5.46	5.47-6.6	4.15-5.7	5.1	-	29	44.37	-	Pedraza, 2006
<i>Eucalyptus robusta</i> (Duramen)	3.04-3.22	0.23-0.26	-	-	-	1.72-2.31	4.33-6.92	2.02-2.53	0.72-0.75	8.78-12.50	-	21.41-22.22	63.69-81.69	-	Coello, 2006
<i>Eucalyptus robusta</i>	3.84	0.3	-	-	-	-	-	-	-	8.6	-	26.1	89.6	-	Rutiaga, 2006
<i>Eucalyptus robusta</i> Sm./Swamp mahogany	-	0.5	0.3	2	12	-	-	-	3	-	28	-	67	48	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus saligna</i>	4.02-4.21	0.3-0.51	-	-	-	0.38-0.56	2.76-4.75	2.56-3.9	1.83-2.03	4.99-5.6	-	26.18-27.20	81.01-86.9	-	Martínez, 2007
<i>Eucalyptus saligna</i> (Albura)	4.61-4.72	0.45-0.47	-	-	-	0.13-0.15	0.78-1.24	1.19-1.38	0.74-0.89	2.84-3.65	-	21.88-23.03	48.09-51.05	-	Coello, 2006
<i>Eucalyptus saligna</i> (Corteza)	5	3.82	-	-	-	0.42-0.5	7.6-7.92	6.3-8.6	5.5-8	21.35	-	14	47.96	-	Pedraza, 2006
<i>Eucalyptus saligna</i> (Duramen)	3.18-3.43	0.15-0.16	-	-	-	0.24-0.27	3.29-4.24	1.91-2.25	0.62-0.64	6.05-7.37	-	21.83-22.56	66.03-68.41	-	Coello, 2006
<i>Eucalyptus saligna</i>	4.11	0.4	-	-	-	-	-	-	-	5.1	-	26.7	83.9	-	Rutiaga, 2006
<i>Eucalyptus</i> spp.	-	0.10-0.18	-	-	-	-	-	-	-	3.1- 5.0	-	28.8-31.4	-	-	Pereira, et al. 2013
<i>Eucalyptus tessellaris</i> F. Muell./ -	-	-	-	2	17	-	-	-	5	-	24	-	-	50 f	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus toreliana</i> F Muell./ Cadaga	-	1	-	2	19	-	-	-	3	-	22	-	-	53 f	Rowell, 1984
<i>Eucalyptus urophylla</i> S.T. Blake/ Timor white gum	-	0.4	-	2	17	-	-	-	2	-	24	-	-	53 f	Rowell, 1984