



**UNIVERSIDAD MICHOACANA DE SAN NICOLAS
DE HIDALGO**

FACULTAD DE INGENIERIA EN TECNOLOGIA DE LA MADERA

**“COMPOSICIÓN QUIMICA DE LA MADERA DE
Mammea americana L”**

TESIS PROFESIONAL:

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

PRESENTA:

ANA CRISTINA HERRERA FERNÁNDEZ

DIRECTOR DE TESIS: DR. JOSÉ GUADALUPE RUTIAGA QUIÑONES.

CODIRECTORA DE TESIS: M.C. FABIOLA EUGENIA PEDRAZA BUCIO.

Moreia, Michoacán, Febrero de 2011



Índice

“COMPOSICIÓN QUÍMICA DE LA MADERA DE *Mammea americana* L.

	PÁGINA
1- INTRODUCCIÓN	1
2- ANTECEDENTES	2
3- OBJETIVOS	2
4- GENERALIDADES DE LA ESPECIE <i>Mammea americana</i> L.	3
5- METODOLOGÍA	
5.1- Datos de recolección	7
5.2- Preparación del material de estudio	8
5.3- Análisis químico de la especie	8
5.3.1- Determinación del contenido de humedad	8
5.3.2- Determinación del pH	8
5.3.3- Determinación del contenido de cenizas	9
5.3.4- Solubilidad a la sosa	9
5.3.5- Obtención de extraíbles	9
5.3.6- Determinación de lignina	10
5.3.7- Determinación de holocelulosa.	10
5.4- Determinación de taninos	
5.4.1- Optimización del método estático a pequeña escala	11
5.4.2- Extracto total	12
5.4.3- Número de Stiasny	12
5.4.4- prueba cualitativa, Taninos hidrolizables	13
6- RESULTADOS	14
7- ANALISIS Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS	49
8- CONCLUSIONES	54
9- RECOMENDACIONES	55
10-BIBLIOGRAFÍA	56

INDICE DE CUADROS

	PAGINAS
Cuadro 1. Matriz de diseño para taninos	11
Cuadro 2. Anova para el pH antes de la extracción con solventes	14
Cuadro 3. Prueba de rango múltiple para el pH por zona	15
Cuadro 4. Anova para cenizas	15
Cuadro 5 Prueba de rango múltiple para cenizas	16
Cuadro 6 Anova para solubilidad a la sosa	17
Cuadro 7 Prueba de rango múltiple para solubilidad a la sosa	17
Cuadro 8 Valores de las extracciones con solventes de polaridad ascendente	18
Cuadro 9 Anova para el porcentaje total de extraíbles	18
Cuadro 10. Prueba del rango múltiple para el contenido de extraíbles	19
Cuadro 11. Anova para el pH de la harina “libre de extractos”	20
Cuadro 12. Prueba de rango múltiple para el pH en la harina “libre de extractos”	20
Cuadro 13. Anova para contenido de lignina	21
Cuadro 14. Prueba del rango múltiple para el contenido de lignina	21
Cuadro 15. Anova para el contenido de holocelulosa	22
Cuadro 16. Prueba de rango múltiple para el contenido de holocelulosa	22
Cuadro 17. Resultados promedio del análisis químico de <i>Mammea americana</i> L	23
Cuadro 18. Anova para el extracto total de la madera de albura	24
Cuadro 19. Valores de optimización para el extracto total en albura	25
Cuadro 20. Ecuación de regresión para extracto total en albura	25
Cuadro 21. Anova para extracto total en duramen	26
Cuadro 22. Valores de optimización para extracto total en duramen	27
Cuadro 23. Ecuación de regresión para extracto total en duramen	28
Cuadro 24 Anova para extracto total para corteza	28
Cuadro 25 valores de optimización para extracto total para corteza	30
Cuadro 26. Ecuación de regresión para extracto total de corteza	30

Cuadro 27 Anova para el No. De Stiasny de albura	31
Cuadro 28. Valores de optimización para No. De Stiasny para albura	32
Cuadro 29. Ecuación de regresión para No. Stiasny para albura	32
Cuadro 30 Anova para el No. De Stiasny para duramen	33
Cuadro31. Valores de optimización para No. De Stiasny en duramen	34
Cuadro 32. Ecuación de regresión para No. Stiasny en duramen	35
Cuadro 33 Anova para No. De Stiasny para corteza	35
Cuadro 34. Valores de optimización para No. De Stiasny en corteza	37
Cuadro 35. Ecuación de regresión para No. De Stiasny en corteza	37
Cuadro 36. Anova para taninos para la madera de albura	38
Cuadro 37. Valores de optimización para taninos en albura	39
Cuadro 38. Ecuación de regresión para taninos en albura	39
Cuadro 39. Anova para taninos de duramen	40
Cuadro 40. Valores de optimización para taninos en duramen	41
Cuadro 41. Ecuación de regresión para taninos en duramen	42
Cuadro 42. Anova para taninos en corteza	42
Cuadro 43. Valores de optimización para taninos en corteza	44
Cuadro 44. Ecuación de regresión para taninos en corteza	44

INDICES DE FIGURAS

	PAGINAS.
Figura 1. Localización del predio.	7
Figura 2. Árbol de <i>Mammea americana</i> L.	7
Figura 3. Rodajas de madera y corteza de <i>Mammea americana</i> L.	8
Figura 4. Potenciómetro.	9
Figura 5. Determinación de cenizas.	9
Figura 6. Equipo soxhlet.	10
Figura 7. Rotavapor.	10
Figura 8. Determinación de lignina.	10
Figura 9. Determinación de holocelulosa.	11
Figura 10. Extracción acuosa a baño maría.	12
Figura 11. Extracto total.	12
Figura 12. Determinación del No. de Stiasny.	12
Figura 13. Gráfico de medias para pH.	14
Figura 14. Gráfico de medias para cenizas.	16
Figura 15. Gráfico de medias para solubilidad a la sosa.	17
Figura 16. Gráfico de medias para extraíbles.	19
Figura 17. Gráfico de medias para pH en la harina "libre de extraíbles"	20
Figura 18. Gráfico de medias para lignina.	21
Figura 19. Gráfico de medias para holocelulosa.	22
Figura 20. Comparación entre zonas para las propiedades químicas.	23
Figura 21. Diagrama de pareto para el extracto total en albura.	24
Figura 23. Superficie de respuesta para extracto total en albura.	25
Figura 24. Diagrama de pareto para extracto total de duramen.	26
Figura 25. Efectos principales para extracto total de duramen.	27
Figura 26. Superficie de respuesta para extracto total en duramen.	27
Figura 27. Diagrama de pareto para extracto total en corteza.	29

Figura 28. Efectos principales para extracto total en corteza.	29
Figura 29. Superficie de respuesta para extracto total en corteza.	29
Figura 30. Diagrama de pareto para No. de Stiasny en albura.	31
Figura 31. Efectos principales para No. de Stiasny en albura.	31
Figura 32. Superficie de respuesta para No. de Stiasny en albura.	32
Figura 33. Diagrama de pareto para No. de Stiasny en duramen.	33
Figura 34. Efectos principales para No. de Stiasny en duramen.	34
Figura 35. Superficie de respuesta para No. de Stiasny en duramen.	34
Figura 36. Diagrama de pareto para No. de Stiasny en corteza.	36
Figura 37. Efectos principales para No. de Stiasny en corteza.	36
Figura 38. Superficie de respuesta para No. de Stiasny en corteza.	36
Figura 39. Diagrama de pareto para taninos en albura.	38
Figura 40. Efectos principales para taninos en albura.	38
Figura 41. Superficie de respuesta para taninos en albura.	39
Figura 42. Diagrama de pareto para taninos en duramen.	40
Figura 43. Efectos principales para taninos en duramen.	41
Figura 44. Superficie de respuesta para taninos en duramen.	41
Figura 45. Diagrama de pareto para taninos en corteza.	43
Figura 46. Efectos principales para taninos en corteza.	43
Figura 47. Superficie de respuesta para taninos en corteza.	43
Figura 48. Comparación para extracto total de las tres zonas estudiadas.	45
Figura 49. Comparación para No. de Stiasny de las tres zonas estudiadas.	45
Figura 50. Comparación para taninos de las tres zonas estudiadas.	45

1. INTRODUCCIÓN

La industria maderera es una de las más importantes en todo el mundo dentro del ámbito del aprovechamiento de los recursos naturales. Cuando hablamos de madera pensamos generalmente en bosques conformados por pinos y encinos, y tal vez en una infinidad de maderas preciosas, al igual que en todas las especies que son frutales y que también pueden tener un aprovechamiento.

Dentro de una gran gama de especies se encuentra el mamey de Santo Domingo (*Mammea americana* L). Este frondoso árbol frutal es oriundo de las Antillas y norte de Sudamérica, pertenece a la familia de las *Clusiaceae*; se cultiva en Cuba, América Central y el norte de América del Sur. Actualmente se encuentra diseminado por todos los países del Caribe hasta Florida y desde México hasta Brasil. Es un árbol de 8 hasta 25 metros de altura. Su copa es frondosa, de color verde oscuro, siempre verde. Su tronco es recto, su fruta es una pulpa carnosa firme y de color anaranjado, cubierta por una cáscara correosa de color pardo; se le atribuyen propiedades antibióticas, pero es una fruta no tolerada por todas las personas por su astringencia. La corteza de esta especie tiene propiedades insecticidas (Francis, 1989).

En México sólo se han localizado algunos árboles de mamey de Santo Domingo, en los estados de Veracruz, Xalapa y Quintana Roo, pero también en la zona de tierra caliente del estado de Michoacán. Son pocos los estudios encontrados para esta especie, por lo para este trabajo se propone realizar un análisis químico básico de la madera y corteza y determinar el contenido de taninos, para contribuir así a su conocimiento.

2. ANTECEDENTES

En relación a la composición química de la madera y corteza de esta especie se dispuso de poca información. Se encontraron algunos trabajos que a continuación se describen:

Fors (1965) menciona que los primeros estudios de la flora de la especie de *Mammea americana* L., fueron realizados por el médico Francisco Hernández (1517-1586), quien describió algunas plantas en su breve estancia en La Habana, en los que incluyó a *M. americana*.

Geilfus (1994) empleó las semillas satisfactoriamente para el control de la palomilla dorso de diamante que ataca el repollo. Este mismo investigador, reporta que el extracto acuoso de las semillas molidas, el látex de la corteza y de la cáscara del fruto verde se pueden usar como insecticidas para matar pulgas y garrapatas en animales domésticos y personas.

Morales *et al.* (1993) identifican los componentes volátiles del aroma del mamey, utilizando el sistema de destilación por arrastre de vapor, simultáneamente con solventes orgánicos, detectando 34 compuestos e identificando 22 de ellos.

Pino *et al.* (2007) realizan el aislamiento y caracterización de los compuestos activos de diferentes partes del árbol (corteza, hojas, tronco y raíces) de *Mammea americana* L. con extracciones sucesivas con éter de petróleo, cloroformo, etil-acetato, metanol y agua.

Cedeño y Viteri (2009) estudian el comportamiento de la pulpa congelada y del aceite de semillas obtenido de dos variedades diferentes de mamey *Colocarpum mammosum* (mamey colorado) y *Mammea americana* (mamey de Cartagena o de Santo domingo).

3. OBJETIVOS

3.1. Objetivo General

Determinar la composición química básica, así como la cantidad de taninos en la madera y corteza de *Mammea americana* L.

3.2. Objetivos Particulares

- Medir el pH de las diferentes zonas de la especie.
- Determinar la cantidad de componentes inorgánicos (cenizas).
- Determinar la solubilidad en sosa (NaOH).
- Determinar la cantidad de sustancias extraíbles obtenidas con solventes de polaridad creciente (ciclohexano, acetona, metanol y agua caliente).
- Determinar pH después de la extracción.
- Determinar el contenido de lignina.
- Determinar el contenido de holocelulosa.
- Determinar el porcentaje de taninos.

4. GENERALIDADES DE LA ESPECIE *Mammea americana* L

4.1. TAXONOMÍA DE LA ESPECIE

Reino	<i>Plantae</i>
División	<i>Angiospermae</i>
Clase	<i>Magnoliopsida</i>
Orden	<i>Malpighiales</i>
Familia	<i>Clusiaceae</i>
Genero	<i>Mammea</i>
Especie	<i>M. americana</i> L.
Tipo de vegetación	Tropical

4.2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA ESPECIE

Descripción botánica

El mamey se identifica como *Mammea americana* L. Es un árbol perennifolio que se cultiva a través de la región tropical debido a su fruta de gran sabor. El árbol es también una especie ornamental atractiva y produce una madera dura y muy bella. y crece en forma recta alcanzando una altura de 20 a 25 metros (Finnegan y Merkel, 1972 a).

Etimologías y nombres comunes.

Mammea, de su nombre nativo mamey; *americana*, del latín *americanus-a-um* = procedente de América. En español, se conoce también como *mamey de Santo Domingo*, *mamey amarillo*, *mamey de Cartagena*, *Mata serrano*, *zapote mamey*, o *zapote de Santo Domingo*. En Estados Unidos se conoce como *Mammee*, *Mammee apple*, *St. Domingo apricot* y *South American apricot*. En Brasil, es llamado *Abricote*, *Abricó do Pará*, *Abricó selvagem*, o *Pecego de São Domingos*. En Francia, es *Abricot d' Amerique*, *Abricot des Antilles*, *abricot pays*, *Abricot de Saint-Dominque* o *Abricotier sauvage* (Finnegan y Merkel, 1972 b).

Área de distribución natural y de naturalización.

El área de distribución natural del mamey se extiende desde alrededor de la latitud 20° N., a través de las Antillas. Hoy en día es común semi-cultivado en Cuba, la América Central y el norte de la América del Sur, y se le cultiva como un árbol frutal en muchas otras áreas tropicales y húmedas a nivel mundial (Francis, 1989).

Variables climáticas.

Se desarrolla muy bien en climas de condiciones tropicales y húmedas, con temperaturas máximas de verano de 35 °C y mínimas de 10 °C (Francis, 1989).

4. 3. DESCRIPCIÓN GENERAL DEL ÁRBOL

Árbol

El mamey es similar en apariencia a la magnolia; puede alcanzar más de 20 metros de altura y 1.2 m de Diámetro de Altura al Pecho (DAP) en zonas tropicales; pero en huertos y plantaciones en línea normalmente alcanzan 12 – 20 m y no sobrepasa los 70 cm (DAP), en 30 – 40 años (Geilfus, 1994). La copa es piramidal, de follaje denso, y el tronco de fuste recto está cubierto por corteza áspera de color marrón-grisáceo. Ramillas con látex amarillento. Las hojas son gruesas y de textura coriácea, con el haz de color verde oscuro y el envés más pálido. Son opuestas, simples, de forma elíptica; alcanzan de 15 a 25 cm de longitud y 5 a 10 cm de ancho. Como en el magnolio, están orientadas hacia arriba (Finnegan y Merkel, 1972). Las raíces son extendidas y bastante superficiales, sin producir una raíz principal dominante. Las ramas tienen tendencia a crecer erectas y producir una copa densa (Geilfus, 1994).

Madera.

El duramen del mamey es de un color pardo rojizo mientras que la albura es de un color ligeramente más claro (Finnegan y Merkel, 1972). La madera es dura, resistente y pesada (0.98) (Geilfus, 1994). La madera se seca de manera lenta y sufre de una degradación considerable en el proceso. Se trabaja a máquina con facilidad, pero la falta de estabilidad después de la manufactura la hacen inadecuada para muebles y pisos (Francis, 1989).

Corteza

Marrón-grisácea, de áspera a escamosa o agrietada, produce una resina gomosa de color amarillo (Francis, 1989).

Hojas

El mamey posee unas hojas brillantes y de color verde oscuro, a la vez que un follaje denso, y se planta con frecuencia debido a su valor como una ornamental alrededor de viviendas, en los parques y a lo largo de los caminos y carreteras (Finnegan y Merkel, 1972).

Flores

Las flores son muy vistosas y fragantes, de color blanco; aparecen solitarias o en racimos de dos o tres unidades. Miden 2 a 2,5 cm de diámetro. El árbol puede ser dioico o hermafrodita indistintamente (Finnegan y Merkel, 1972).

Frutos

Su fruto, aunque se toma habitualmente por una drupa, es en realidad una baya de forma redondeada, de 8 a 20 cm de diámetro y 0.5 – 2.0 Kg de peso, está cubierto por una cáscara gruesa de color gris o pardo terroso, pende de un tallo corto y grueso, y en su ápice son visibles los restos florales (Francis, 1989). El fruto contiene un 62% de pulpa, 20% de semilla y 18% de cascara (Geilfus, 1994). La pulpa es firme, aromática y muy dulce, de color amarillo a naranja; se consume directamente como fruta fresca o se usa en la preparación de dulces y refrescos, con valor nutritivo mediano pero rico en vitaminas A, C, y B₂ (Francis, 1989).

Adaptación

Requiere suelos fértiles, bien drenados, mejor arenosos. No tolera el frío. Muy cultivado por sus frutos comestibles (Finnegan y Merkel, 1972).

Semillas

Grandes de 4.3 cm a 7 cm; 18 de estas pesan un kilogramo. El poder germinativo alcanza el 80% y comienza a germinar entre los 30 y 40 días de sembradas (Francis, 1989).

Peso específico

La madera es dura, pesada y fuerte, con un peso específico que se reporta como de 0.865 g por cm³ cuando secada al aire o de 0.980 g por cm³ con un contenido de humedad sin especificar (Finnegan y Merkel, 1972).

4. 4. IMPORTANCIA Y USOS

El mamey se cultiva más que nada por su fruta, la cual tiene una pulpa carnosa firme y de color amarillo, cubierta por una cáscara correosa de color pardo. Su sabor ha sido comparado al del albaricoque. Se come fresca o en conservas. Tiene fama de conservar por mucho tiempo el sabor y el aroma. También se utilizan los taninos para el curtido de pieles (Geilfus, 1994). Todas las partes del mamey tienen propiedades insecticidas y pueden ser perjudiciales a la salud si se ingieren en cantidades grandes y de manera regular (Finnegan y Merkel, 1972). El extracto acuoso de las semillas molidas, el látex de la corteza y de la cascara del fruto verde se pueden usar como insecticida para matar pulgas y garrapatas en animales domésticos y personas, con total efectividad y de un modo fácil y económico y respetuoso con el medio ambiente (Geilfus, 1994). Un licor llamado "*l'eau de creole*" se destila a partir de las flores fermentadas (Finnegan y Merkel, 1972).

Los usos del mamey en la medicina popular han incluido el tratamiento de las infecciones del cuero cabelludo, la diarrea y los problemas oculares y digestivos. La *mameína* y las *coumarinas* relacionadas han sido objeto de investigaciones para determinar su actividad farmacológica (Francis, 1989).

La madera no esta disponible normalmente en grandes cantidades, pues proviene normalmente de árboles viejos no productivos. Sin embargo, es de gran belleza por lo que cuando esta disponible se usa para acabados interiores, artesanías y tornería, además de vigas y postes por su resistencia (Geilfus, 1994).

4. 5. CONDICIONES DE CRECIMIENTO

Clima y Suelo en condiciones naturales				¿Dónde crece mejor?	Factores limitantes
<i>Pluviometría</i>	1500-4000 mm	<i>Suelos</i>	No exigente	Crece mejor en suelos profundos y ricos en materia orgánica con buen drenaje.	No tolera heladas, vientos fuertes, suelos con mal drenaje, ni tampoco los arenosos excesivamente drenados.
<i>Estación seca</i>	0 - 3 meses	<i>Textura</i>	Liviana, franca o franco arenosa		
<i>Altitud</i>	0-1000 msnm				
<i>T. media anual</i>	27 – 30° C	<i>Drenaje</i>	Bueno		

(Geilfus, 1994)

5. METODOLOGÍA

5.1. DATOS DE RECOLECCIÓN

El Municipio de Ario de Rosales se localiza en el centro del Estado de Michoacán, México, en las coordenadas 19° 12' de latitud norte y en los 101°40' de longitud oeste, a una altura de 1,910 metros sobre el nivel del mar (msnm). Limita al norte con Salvador Escalante, al este con Turicato y Tacámbaro, al sur con La Huacana y al oeste con Nuevo Urecho y Taretan (Fig. 1). Su distancia a la capital del Estado es de 107 km (INEGI, 2008).



Figura 1. Localización del predio.

Para llevar a cabo el desarrollo de esta investigación se colectó el material de la especie *Mammea Americana* L (Fig. 2) en la comunidad de “Las Pilas”, municipio de Ario de Rosales, Michoacán, México. El árbol cuenta con una edad aproximada de 54 años. Se seccionaron rodajas de brazos del árbol de 20 cm de espesor a una altura de 15 m. Esto para no dañar completamente el espécimen (Fig. 3).

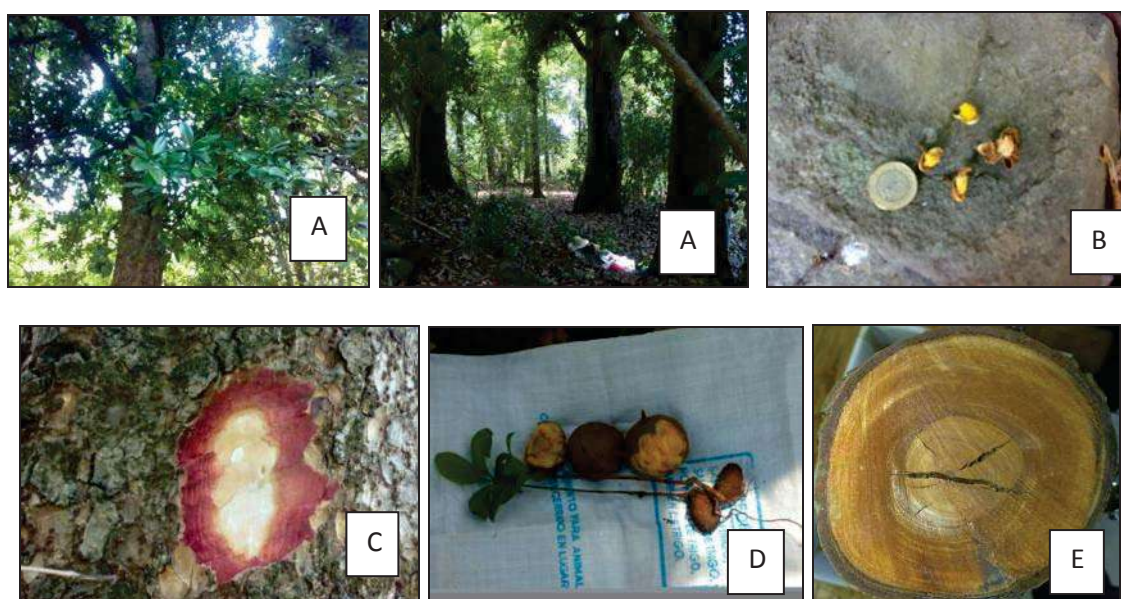


Figura 2. Árbol de *Mammea americana* L. a) Árbol, b) Flor, c) Corteza, d) Fruto, e) Madera

5.1.1. Características de la zona de recolección (INEGI 2008.)

Clima:	Templado - cálido
Temperatura promedio anual:	25 °C
Temperatura máxima durante el periodo mayo-junio:	28.9
Temperatura mínima durante el periodo diciembre-enero:	9.5
Altura sobre el nivel del mar:	1,910 msnm
Precipitación media anual:	761.7mm

5.2. PREPARACIÓN DEL MATERIAL DE ESTUDIO:

Las rodajas de la especie se secaron al aire libre, para posteriormente separar el material, en corteza y madera (Fig. 3), con el fin de llevar a cabo el análisis químico por zonas. El material fue astillado y posteriormente molido en un molino Willey, de acuerdo a la norma T-257 (TAPPI, 2000) obteniendo harina de madera, la cual posteriormente fue cribada en diferentes mallas 20, 40, y 60, utilizando la malla 40, retenida en la malla 60, con una dimensión de 420 μm .



Figura 3. Rodajas de madera y corteza de *Mammea americana* L.

5.3. ANÁLISIS QUÍMICO.

5.3.1. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE HUMEDAD:

Las determinaciones de las propiedades químicas se refieren a la base seca, se determinó el % de humedad de las muestras de corteza para cada zona del árbol (albura, duramen, corteza), por el método de deshidratación a 105 °C en una estufa convencional de laboratorio.

5.3.2. DETERMINACIÓN DE pH.

Se determinó el pH de cada zona, con su réplica, en forma natural y posteriormente "libre de extractos" de acuerdo al método de Sandermann y Rothkamm (1959) midiéndose con un potenciómetro marca HANNA, modelo pH 211 (Fig. 4), tomando lecturas iniciales y secuencialmente a los 5 minutos, a las 4, 24 y 48 horas respectivamente.



Figura 4. Potenciómetro

5.3.3. DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO DE CENIZAS:

El contenido de cenizas de la madera se llevó a cabo gravimétricamente, después de quemar cuidadosamente las muestras en placas de calentamiento hasta evitar la emisión de humo, para así posteriormente calcinar por completo en una mufla a 525 °C (Fig. 5), utilizando crisoles de níquel en apego a la norma T 211 (TAPPI 2000), esta prueba fue determinada a corteza, albura y duramen, con una replica a cada muestra.



Figura 5. Determinación de Cenizas

5.3.4. SOLUBILIDAD A LA SOSA:

La determinación de solubilidad a la sosa se realizó por duplicado a cada zona del árbol, con apego a la norma T 212 om-98 (TAPPI 2000), adicionando 100 ml de NaOH al 1% a baño María por un lapso de 1 h agitando en lapsos de 10, 15 y 25 minutos, posteriormente se les adicionaron 50 ml de ácido acético preparado al 10 %, y se continuó lavando hasta obtener un estado neutro. Para finalizar, las muestras fueron depositadas en la estufa a 105 °C hasta obtener un peso constante.

5.3.5. OBTENCIÓN DE EXTRAIBLES:

La cantidad de sustancias extraíbles se determinó aplicando una secuencia de extracción con solventes de polaridad creciente: ciclohexano, acetona, metanol, en un equipo Soxhlet (Fig. 6) finalizando el ciclo de extracciones con agua caliente a reflujo; todas estas por un periodo de 6 horas. Los solventes fueron recuperados en un rotavapor marca Heidolph (Fig. 7) aplicando vacío, para obtener así el extracto de cada secuencia.

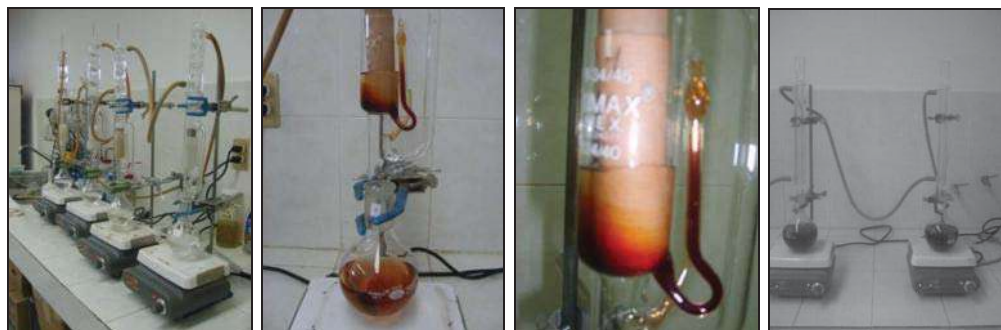


Figura 6. Equipo Soxhlet



Figura 7. Rotavapor

5.3.6. DETERMINACIÓN DE LIGNINA:

El contenido de la lignina en la madera se efectuó siguiendo la técnica de Runkel y Wilke (1995), aplicando a la muestra, ácido sulfúrico al 72 % y ácido bromhídrico al 40 %, hirviendo posteriormente con agua destilada durante un lapso de 5 min, se filtró la muestra; lavando repetidas ocasiones, y se llevan a una estufa a 103 °C, hasta obtener un peso constante (Fig. 8)



Figura 8. Determinación de Lignina

5.3.7. DETERMINACIÓN DE HOLOCELULOSA:

El porcentaje de holocelulosa de la madera se determinó con apoyo en el método Wise 1946, *in*: Sanjuán (1991), colocando las muestras en matraces Erlenmeyer, se les adicionó clorito de sodio y ácido acético, se mantuvieron las muestras a baño María a una temperatura de 75 °C, durante un periodo de 4 h, agitándose periódicamente, posteriormente se vertieron las muestras en vasos filtros de fondo poroso y se aplicó vacío para facilitar el filtrado, se prosiguió lavando en el mismo filtrado en repetidas ocasiones con agua destilada caliente y acetona (Fig.

9). Para finalizar las muestras fueron llevadas a una estufa a 40 °C, hasta obtener un peso constante.



Figura 9. Determinación Holocelulosa

5.4. DETERMINACIÓN DE TANINOS

Para la extracción y evaluación de taninos (Yazaki, Hillis 1977; Waterman, Mole 1994) en las diferentes zonas de esta especie, se aplicó un diseño factorial fraccionado 2^{3-1} (Montgomery 1991), teniendo como factores y niveles los siguientes:

A = temperatura (80 °C, 87 °C)

B = tiempo (180 minutos, 120 minutos)

C = relación soluto/solvente (1/15, 1/12)

El nivel de confianza con el que se analizaron los datos fue de 95 % y los resultados se realizaron mediante el programa Statgraphics Plus versión 4.

En el cuadro 1 aparece la matriz de diseño, como ejemplo, para la extracción de taninos en la corteza, de la misma manera se aplico para albura y duramen.

Cuadro 1. Matriz de diseño para taninos

Temperatura	Tiempo	Relación
87	120	0.067
87	180	0.083
80	180	0.067
80	120	0.083
87	120	0.067
87	180	0.083
80	180	0.067
80	120	0.083

5.4.1. OPTIMIZACIÓN DEL MÉTODO ESTÁTICO A PEQUEÑA ESCALA

De acuerdo a las matrices del diseño experimental, la cantidad de corteza y agua según la relación sólido/líquido, tamaño de astilla, se utilizó un sistema estático de extracción, en un matraz Erlenmeyer de 250 mL, colocándose en un baño María marca Felisa, controlando la temperatura deseada durante los tiempos requeridos en cada etapa del estudio (Fig. 10).



Figura 10. Extracción acuosa a baño María

5.4.2. *EXTRACTO TOTAL*

La cantidad de sólidos solubles se determinó por gravimetría: 50 mL se depositaron en un crisol de porcelana previamente tarado, y éste se coloca en la estufa a una temperatura de 105 °C hasta evaporar. El residuo que queda es lo que se conoce como extracto total de sólidos (Fig. 11), respecto a la cantidad de materia base seca que se disuelve durante la extracción.



Figura 11. Extracto total

5.4.3. *NO. DE STIASNY*

Los 50 mL restantes de la extracción se hacen reaccionar con 5 mL de formaldehído en medio ácido (2.5 mL de HCl) dentro de un matraz de fondo redondo donde permanece por un periodo de 30 minutos a reflujo; ya frío el licor se filtra con vacío en un pesa filtros de fondo poroso previamente tarado. El precipitado resultante se lleva a la estufa a una temperatura de 105 °C, hasta sequedad para así obtener los taninos condensados (No. Stiasny) (Fig. 12).

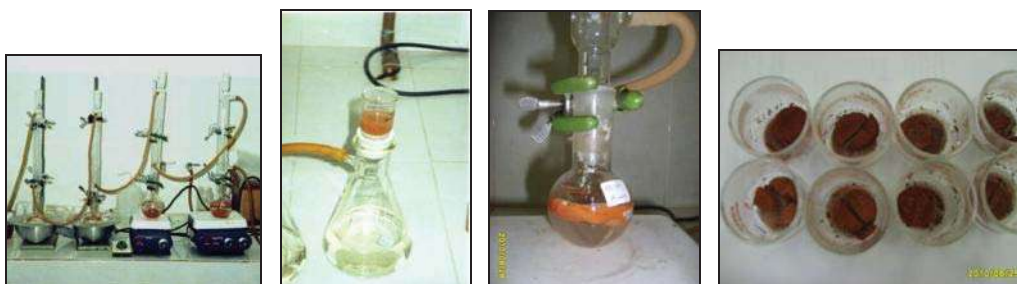


Figura 12. Determinación del Número de Stiasny

5.4.4. PRUEBA CUALITATIVA, TANINOS HIDROLIZABLES

El filtrado de la prueba de Stiasny se utilizó para la determinación de los taninos hidrolizables, la cual es una determinación cualitativa de coloración.

A 10 mL del filtrado se le agregó 1 mL de solución de sulfato férrico al 1% (alumbre) añadiéndose enseguida 0.5 g de acetato de sodio. La aparición de una coloración fuerte azul violeta nos indicó la presencia de taninos hidrolizables.

6. RESULTADOS

Los resultados obtenidos en la presente investigación se dan a continuación:

6.1. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA ESPECIE

DETERMINACIÓN DE pH

Referente a la medición del pH en el cuadro 2 tenemos el análisis de varianza (Anova) para el valor de pH para cada zona del árbol antes de la extracción con solventes, así mismo indica que el nivel de significancia calculado (Valor $-p$) es mayor a 0.05, lo que significa que no hay influencia en la variable de respuesta. El cuadro 3 y la figura 13 muestran dichos resultados.

Cuadro 2. Anova para el pH antes de la extracción con solventes.

ANOVA Table for pH					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.0914333	2	0.0457167	5.95	0.0903
Within groups	0.02305	3	0.00768333		
Total (Corr.)	0.114483	5			

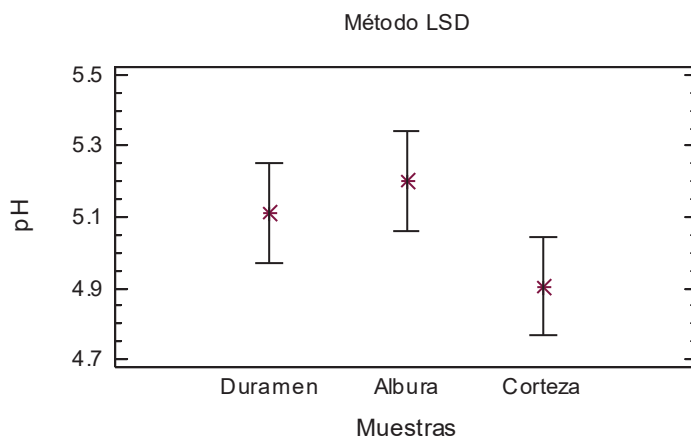


Figura 13. Gráfico de medias para pH.

Cuadro 3. Prueba de rango múltiple para el pH por zona.

Multiple Range Tests for pH			

Method: 95.0 percent LSD			
Count	Mean	Homogeneous Groups	

Corteza	2	4.905	X
Duramen	2	5.11	XX
Albura	2	5.2	X

Contrast	Difference		+/- Limits

Duramen - Albura	-0.09		0.278956
Duramen - Corteza	0.205		0.278956
Albura - Corteza	*0.295		0.278956

* denotes a statistically significant difference.			

CONTENIDO DE CENIZAS

El análisis de varianza (Anova) para el valor del contenido de sustancias inorgánicas (cenizas) de la harina de cada zona del árbol antes de la extracción con solventes, aparece en el cuadro 4, indica que el nivel de significancia calculado (Valor – p) es menor a 0.05, es decir, que existe una influencia entre la zona del árbol y el contenido de cenizas. La figura 14, así como el cuadros 5 muestran dichos resultados.

Cuadro 4. Anova para cenizas.

ANOVA Table for Cenizas					

Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value

Between groups	17.569	2	8.78452	23957.77	0.0000
Within groups	0.0011	3	0.000366667		

Total (Corr.)	17.5701	5			

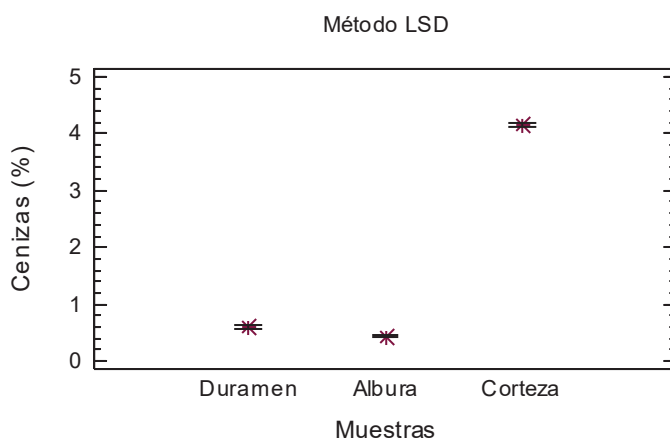


Figura 14. Gráfico de medias para cenizas.

Cuadro 5. Prueba de rango múltiple para cenizas.

Multiple Range Tests for Cenizas			
Method: 95.0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
Albura	2	0.44	X
Duramen	2	0.595	X
Corteza	2	4.145	X
Contrast			Difference +/- Limits
Duramen - Albura			*0.155 0.0609393
Duramen - Corteza			*-3.55 0.0609393
Albura - Corteza			*-3.705 0.0609393

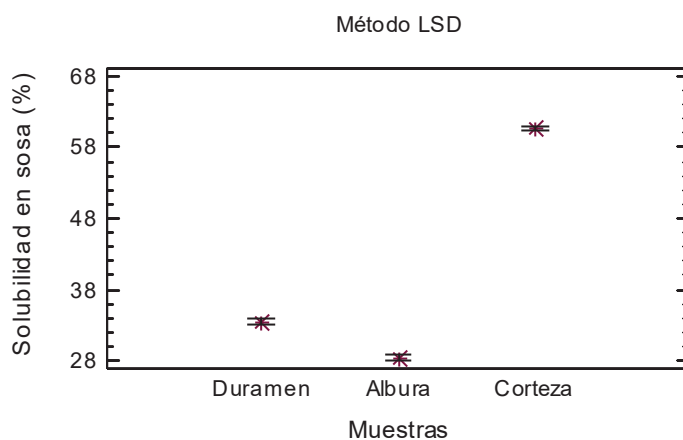
* denotes a statistically significant difference.

SOLUBILIDAD A LA SOSA

El cuadro 6, muestra el análisis de varianza (Anova) para el valor del porcentaje de solubilidad a la sosa, indica que el nivel de significancia calculado (Valor – p) es menor a 0.05, lo que quiere decir que si influye la zona del árbol con la solubilidad a la sosa. el cuadro 7, así como la figura 15, muestran lo antes dicho.

Cuadro 6. Anova para solubilidad a la sosa.

ANOVA Table for Solubilidad en sosa					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1202.9	2	601.452	10151.10	0.0000
Within groups	0.17775	3	0.05925		
Total (Corr.)	1203.08	5			

**Figura 15.** Gráfico de medias para solubilidad a la sosa.**Cuadro 7.** Prueba del rango múltiple para solubilidad a la sosa.

Multiple Range Tests for Solubilidad en sosa			
Method: 95.0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
Albura	2	28.425	X
Duramen	2	33.445	X
Corteza	2	60.655	X
Contrast			Difference +/- Limits
Duramen - Albura			*5.02 0.77465
Duramen - Corteza			*-27.21 0.77465
Albura - Corteza			*-32.23 0.77465

* denotes a statistically significant difference.

EXTRAÍBLES

En el cuadro 8, se presentan los resultados de la extracción sucesiva utilizando los diferentes solventes de polaridad ascendente, así como la suma total de extractos, observando los siguientes rangos para cada zona que conforma la madera de *Mammea americana* L., haciendo referencia a los extraíbles totales, se observa que los valores son los siguientes:

Cuadro 8. Valores de las extracciones con solventes de polaridad ascendente.

<i>Solvente</i>	<i>Etapa</i>	<i>Albura %</i>	<i>Duramen %</i>	<i>Corteza %</i>
Ciclohexano		0.61	0.48	3.21
Acetona	<i>1er lavado</i>	11.42	10.10	30.65
	<i>2° lavado</i>		2.51	3.01
Metanol	<i>1er lavado</i>	3.36	3.60	6.20
	<i>2° lavado</i>		0.72	1.83
Agua caliente	<i>1er lavado</i>	2.21	1.23	3.53
	<i>2° lavado</i>		0.53	1.46
		17.60	19.17	49.89

El análisis de varianza (Anova) para el valor total de extracto en las zonas del árbol, obtenido por extracción sucesiva con solventes orgánicos y agua, cuadro 9, muestra que el nivel de significancia calculado (Valor – p) es menor a 0.05, lo que indica que existe influencia entre la zona y el porcentaje de extraíbles, esto se muestra en la figura 16 y el cuadro 10.

Cuadro 9. Anova para el porcentaje total de extraíbles.

ANOVA Table for Total de extraíbles					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	1204.11	2	602.055	4307.06	0.0000
Within groups	0.41935	3	0.139783		
Total (Corr.)	1204.53	5			

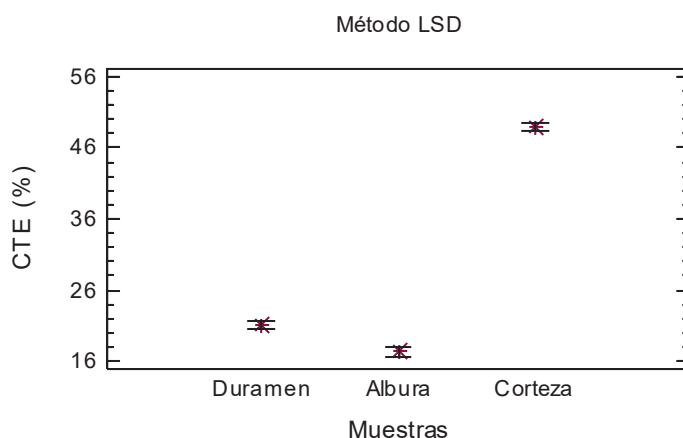


Figura 16. Gráfico de medias para extraíbles.

Cuadro 10. Prueba del rango múltiple para el contenido de extraíbles.

Multiple Range Tests for Total de extraíbles			
Method: 95.0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
Albura	2	17.315	X
Duramen	2	21.015	X
Corteza	2	49.045	X
Contrast			Difference +/- Limits
Duramen - Albura			*3.7 1.18984
Duramen - Corteza			*-28.03 1.18984
Albura - Corteza			*-31.73 1.18984

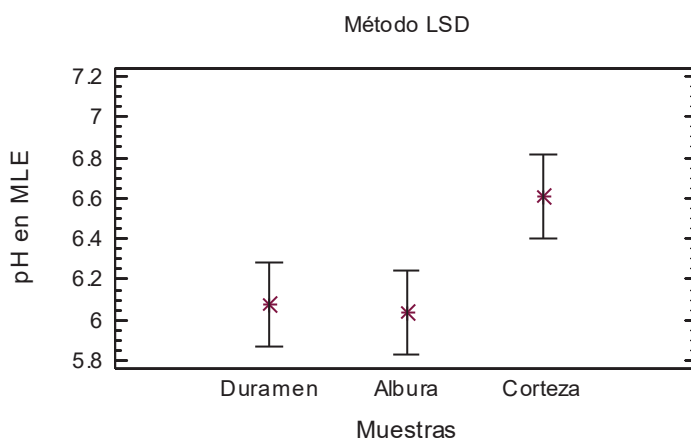
* denotes a statistically significant difference.

pH LIBRE DE EXTRAÍBLES DESPUES DE LA EXTRACCIÓN

El análisis de varianza (Anova) para el valor del pH “libre de extracto” esto despues de las extracciones con solvente aparece en el cuadro 11, muestra que el nivel de significancia calculado (Valor – p) es menor a 0.05, indica que existe influencia entre la zona y el pH “libre de extractos”, esto se muestra en la figura 17 y el cuadro 12.

Cuadro 11. Anova para el pH de la harina “libre de extractos”

ANOVA Table for pH en madera libre de extraíbles					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	0.404933	2	0.202467	12.15	0.0364
Within groups	0.05	3	0.0166667		
Total (Corr.)	0.454933	5			

**Figura 17. Gráfico de medias para pH “libre de extractos”****Cuadro 12. Prueba de rango múltiple para el pH en la harina “libre de extractos”.**

Multiple Range Tests for pH en madera libre de extraíbles			
Method: 95.0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
Albura	2	6.04	X
Duramen	2	6.08	X
Corteza	2	6.61	X
Contrast	Difference		+/- Limits
Duramen - Albura	0.04		0.410852
Duramen - Corteza	*-0.53		0.410852
Albura - Corteza	*-0.57		0.410852

* denotes a statistically significant difference.

DETERMINACIÓN DE LIGNINA

Aparece en el cuadro 13, el análisis de varianza (Anova) para lignina, indica el nivel de significancia calculado (Valor – p), debido a que es menor a 0.05, por lo que, existe influencia significativa entre la variable de respuesta, lignina y la zona del árbol. Como lo muestran el cuadro 14, así como la figura 18.

Cuadro 13. Anova para contenido de Lignina.

ANOVA Table for Lignina					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	20.1174	2	10.0587	12.82	0.0339
Within groups	2.3535	3	0.7845		
Total (Corr.)	22.4709	5			

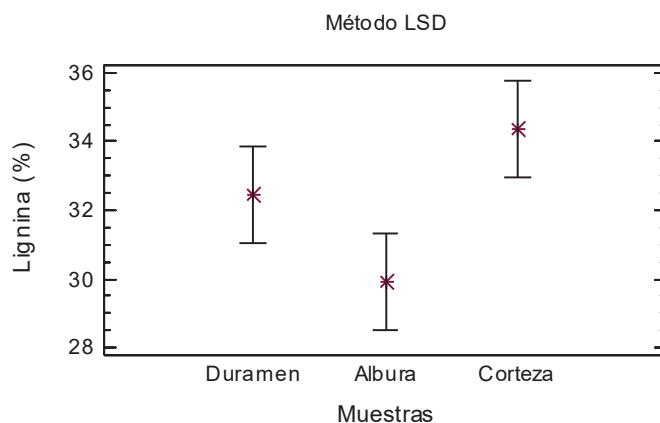


Figura 18. Gráfico de medias para lignina

Cuadro 14. Prueba del rango múltiple para el contenido de lignina.

Multiple Range Tests for Lignina			
Method: 95.0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
Albura	2	29.895	X
Duramen	2	32.45	XX
Corteza	2	34.365	X
Contrast		Difference	+/- Limits
Duramen - Albura		2.555	2.81876
Duramen - Corteza		-1.915	2.81876
Albura - Corteza		*-4.47	2.81876

* denotes a statistically significant difference.

DETERMINACIÓN DE HOLOCELULOSA

El cuadro 15, muestra el análisis de varianza (Anova) para el valor contenido de holocelulosa, e indica el nivel de significancia calculado (Valor – p), siendo este menor a 0.05, es decir, existe influencia entre las zonas del árbol y la variable de respuesta, holocelulosa. La figura 19, así como el cuadro 16 nos muestran.

Cuadro 15. Anova para el contenido de holocelulosa.

ANOVA Table for Holocelulosa					
Analysis of Variance					
Source	Sum of Squares	Df	Mean Square	F-Ratio	P-Value
Between groups	417.078	2	208.539	851.35	0.0001
Within groups	0.73485	3	0.24495		
Total (Corr.)	417.813	5			

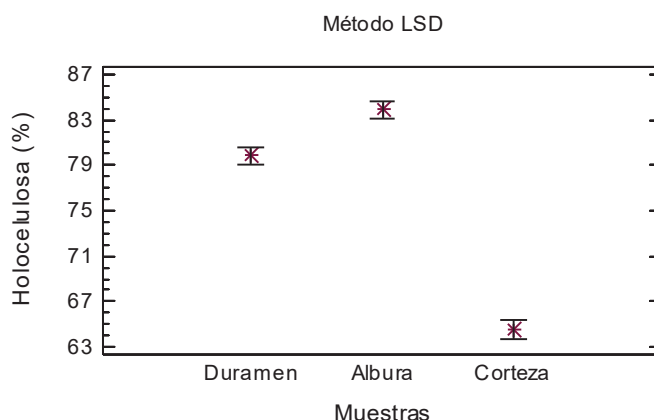


Figura 19. Gráfico de medias para holocelulosa.

Cuadro 16. Prueba de rango múltiple para el contenido de holocelulosa.

Multiple Range Tests for Holocelulosa			
Method: 95.0 percent LSD			
	Count	Mean	Homogeneous Groups
Corteza	2	64.52	X
Duramen	2	79.82	X
Albura	2	83.885	X
Contrast	Difference		+/- Limits
Duramen - Albura	*-4.065		1.57507
Duramen - Corteza	*15.3		1.57507
Albura - Corteza	*19.365		1.57507

* denotes a statistically significant difference.

Los valores promedios del análisis químico realizado a la madera de *Mammea americana* L. para las diferentes zonas del árbol, se presentan en el cuadro 17.

Cuadro 17. Resultados promedio del análisis químico de *Mammea americana* L.

ANÁLISIS QUÍMICO BÁSICO			
Tipo de análisis	Albura	Duramen	Corteza
pH (harina sin extraer)	5.2	5.11	4.905
Cenizas	0.42	0.60	4.15
pH (harina libre de extractos)	6.04	6.08	6.61
Extractos total	4.71	5.24	8.78
Lignina	29.90	32.45	34.37
Solubilidad a la sosa	28.43	33.45	60.66
Holocelulosa	83.90	79.82	64.52

En la figura 20, se muestra gráficamente la comparación que hay entre los valores en cada zona de la especie estudiada en el análisis químico.

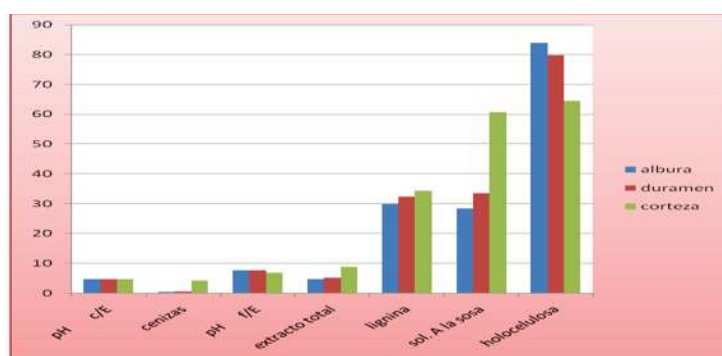


Figura 20. Comparación entre zonas para las propiedades químicas.

6.2. DETERMINACIÓN DE TANINOS

Los resultados del análisis estadístico de la extracción de taninos en las diferentes zonas de la especie de *Mammea americana* L. se presentan a continuación:

6.2.1. EXTRACTO TOTAL

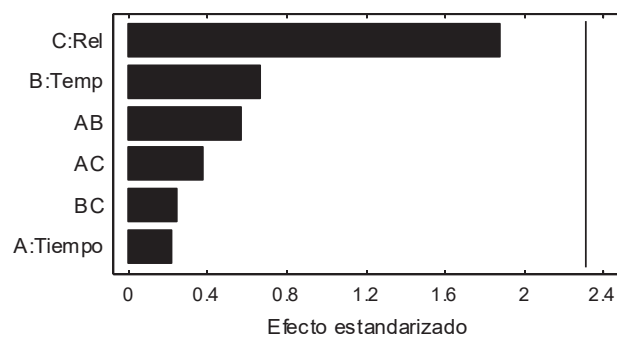
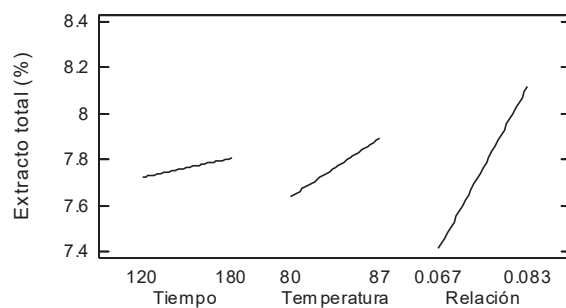
ALBURA

El análisis de varianza (Anova) para el extracto total en la zona de la albura se presenta en el cuadro 18, en donde se aprecia que las condiciones aplicadas a la madera de albura, así como sus interacciones no crearon algún efecto significativo, como se aprecia en el diagrama de Pareto (Fig. 21), y en la gráfica de efectos principales (Fig. 22)

Cuadro 18. Anova para extracto total de la madera de albura.

Análisis de varianza para ETotal					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
A:Tiempo	0.027225	1	0.027225	0.05	0.8313
B:Temp	0.255025	1	0.255025	0.45	0.5196
C:Rel	1.9881	1	1.9881	3.54	0.0968
AB	0.1849	1	0.1849	0.33	0.5820
AC	0.081225	1	0.081225	0.14	0.7137
BC	0.034225	1	0.034225	0.06	0.8113
Bloques	0.0004	1	0.0004	0.00	0.9794
Error total	4.4967	8	0.562088		
Total (corr.)	7.0678	15			

R-cuadrada = 36.3777 %
R-cuadrada (ajustada para g.l.) = 0.0 %

**Figura 21.** Diagrama de Pareto para el extracto total en albura.**Figura 22.** Efectos principales para el extracto total en albura.

De acuerdo al diseño utilizado, para maximizar la cantidad de extracto total, el proceso deberá llevarse a cabo como lo muestra la gráfica de superficie de

respuesta (Fig. 23), es decir, utilizando el menor tiempo de extracción y la más alta temperatura, obteniendo así un rendimiento de 8.37% como se observa en el cuadro 19.

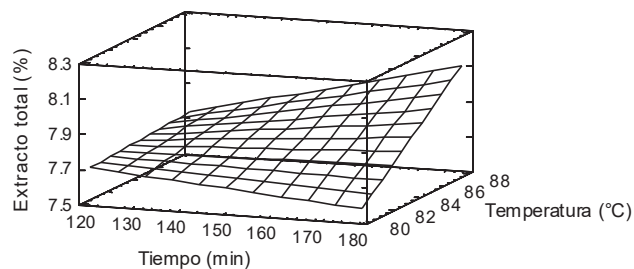


Figura 23. Superficie de respuesta para extracto total en albura.

Cuadro 19. Valores de optimización para extracto total en albura.

```
Optimize Response
-----
Goal: maximize ETotal

Optimum value = 8.3675
```

Factor	Low	High	Optimum
Tiempo	120.0	180.0	180.0
Temp	80.0	87.0	87.0
Rel	0.067	0.083	0.083

Cuadro 20. Ecuación de regresión para extracto total en albura.

```
Regression coeffs. for ETotal
-----
constant = 21.0698
A:Tiempo = -0.0618475
B:Temp = -0.241384
C:Rel = -49.3304
AB = 0.00102381
AC = -0.296875
BC = 1.65179
-----

The StatAdvisor
-----

This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

ETotal = 21.0698 - 0.0618475*Tiempo - 0.241384*Temp - 49.3304*Rel +
0.00102381*Tiempo*Temp - 0.296875*Tiempo*Rel + 1.65179*Temp*Rel
```

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del extracto total en cualquier punto para esta experimentación está dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 20

DURAMEN

En la madera de duramen el análisis de varianza (Anova) para el extracto total se presenta en el cuadro 21, donde se observa que los efectos significativos sobre la cantidad de extracto es el factor relación de baño, así como la interacción AC.

Cuadro 21. Anova para extracto total de duramen

Análisis de varianza para ETotal					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
A:Tiempo	0.0540562	1	0.0540562	0.31	0.5918
B:Temp	0.0612562	1	0.0612562	0.35	0.5686
C:Rel	2.64876	1	2.64876	15.29	0.0045
AB	0.117306	1	0.117306	0.68	0.4345
AC	1.23766	1	1.23766	7.14	0.0282
BC	0.0540562	1	0.0540562	0.31	0.5918
Bloques	0.00225625	1	0.00225625	0.01	0.9120
Error total	1.3862	8	0.173275		

Total (corr.)	5.56154	15			
R-cuadrada = 75.0753 %					
R-cuadrada (ajustada para g.l.) = 58.4588 %					

En la figura 24 aparece el resultado del análisis de Pareto y se aprecia que dos factores tienen efecto significativo sobre la variable de respuesta, ya que tienen un valor menor al fijado de 0.05 fijado, como se aprecia en el cuadro 21.

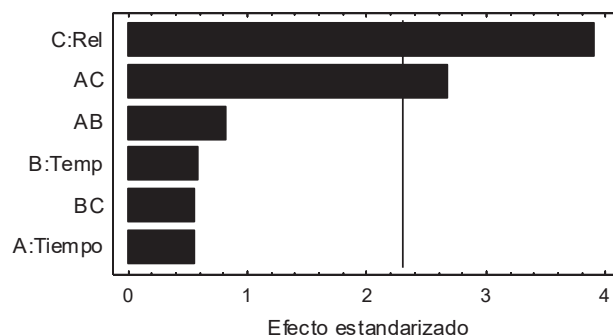


Figura 24. Diagrama de Pareto para extracto total de duramen

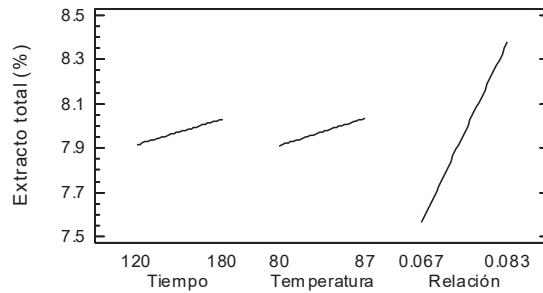


Figura 25. Efectos principales para extracto total de duramen

Los efectos principales sobre el rendimiento del extracto se aprecian en la figura 25 donde se observa que la relación de baño es la más sobresaliente, como ha quedado corroborado en el diagrama de Pareto (Fig.24).

La gráfica de superficie de respuesta (fig. 26) nos dice que para maximizar la cantidad de extracto, el proceso de extracción deberá llevarse a cabo empleando el menor tiempo y la mayor temperatura, obteniendo así un rendimiento de 8.81%, como se observa en el cuadro 22, así como en el cuadro 23 donde se observa su ecuación de regresión.

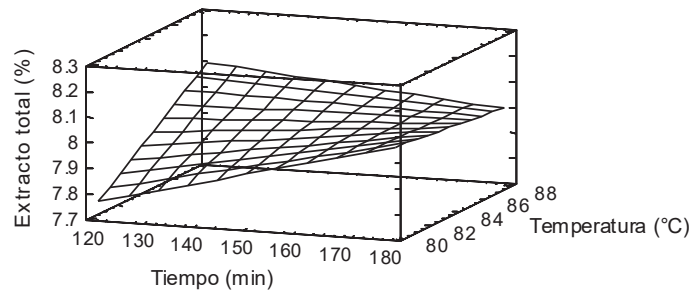


Figura 26. Superficie de respuesta para extracto total en duramen

Cuadro 22. Valores de optimización para extracto total en duramen.

Optimize Response			

Goal: maximize ETotal			
Optimum value = 8.80562			
Factor	Low	High	Optimum

Tiempo	120.0	180.0	120.0
Temp	80.0	87.0	87.0
Rel	0.067	0.083	0.083

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del extracto total en cualquier punto para esta experimentación está dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 23

Cuadro 23. Ecuación de regresión para extracto total en duramen.

```

Regression coeffs. for Stiasny
-----
constant = 230.852
A:Tiempo = -0.306136
B:Temp   = -1.23699
C:Rel    = -1794.83
AB       = 0.00166071
AC       = 2.21094
BC       = 15.9598
-----

The StatAdvisor
-----
This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

Stiasny = 230.852 - 0.306136*Tiempo - 1.23699*Temp - 1794.83*Rel +
0.00166071*Tiempo*Temp + 2.21094*Tiempo*Rel + 15.9598*Temp*Rel

```

CORTEZA

El análisis de varianza (Anova) cuadro 24 así como el diagrama de Pareto (Fig. 27), nos indican que los factores relación de baño y tiempo, así como las interacciones AC y BC, cuyo valor es menor a 0.05, tienen efecto significativo sobre la variable de respuesta, extracto total. Visualizándose también en la gráfica de efectos principales (Fig. 28)

Cuadro 24. Anova para Extracto Total para Corteza.

Análisis de varianza para ETotal					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
A:Tiempo	0.6084	1	0.6084	9.73	0.0142
B:Temp	0.2916	1	0.2916	4.66	0.0629
C:Rel	13.7641	1	13.7641	220.09	0.0000
AB	0.265225	1	0.265225	4.24	0.0734
AC	0.950625	1	0.950625	15.20	0.0046
BC	0.511225	1	0.511225	8.17	0.0212
Bloques	0.0009	1	0.0009	0.01	0.9075
Error total	0.5003	8	0.0625375		
Total (corr.)	16.8924	15			
R-cuadrada = 97.0383 %					
R-cuadrada (ajustada para g.l.) = 95.0638 %					

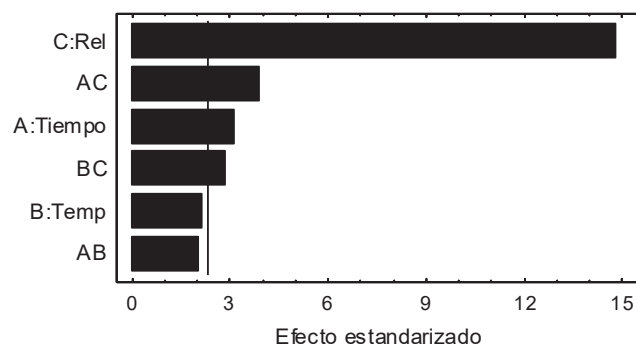


Figura 27. Diagrama de Pareto para Extracto total en corteza.

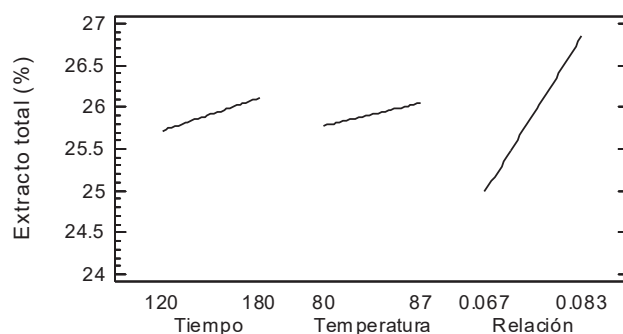


Figura 28. Efectos principales para Extracto Total en corteza.

La gráfica de superficie de respuesta (fig. 29) señala que para maximizar la cantidad de extracto, el proceso de extracción deberá llevarse a cabo empleando el menor tiempo y la mayor temperatura, obteniendo así un rendimiento de 27.33%, como se observa en el cuadro 25.

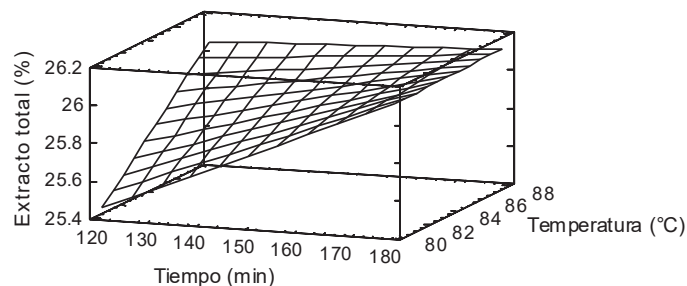


Figura 29. Superficie de respuesta para Extracto Total en corteza.

Cuadro 25. Valores de optimización para extracto total en corteza.

```
Optimize Response
-----
Goal: maximize ETotal

Optimum value = 27.3325

Factor          Low          High          Optimum
-----
Tiempo          120.0        180.0        120.0
Temp            80.0         87.0         87.0
Rel             0.067        0.083        0.083
```

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del extracto total en cualquier punto para esta experimentación está dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 26

Cuadro 26. Ecuación de regresión para Extracto total de corteza.

```
Regression coeffs. for ETotal
-----
constant = 26.2183
A:Tiempo = 0.185059
B:Temp   = -0.256295
C:Rel    = -264.777
AB       = -0.00122619
AC       = -1.01563
BC       = 6.38393
-----

The StatAdvisor
-----

This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

ETotal = 26.2183 + 0.185059*Tiempo - 0.256295*Temp - 264.777*Rel -
0.00122619*Tiempo*Temp - 1.01563*Tiempo*Rel + 6.38393*Temp*Rel
```

6.2.2. NÚMERO DE STIASNY

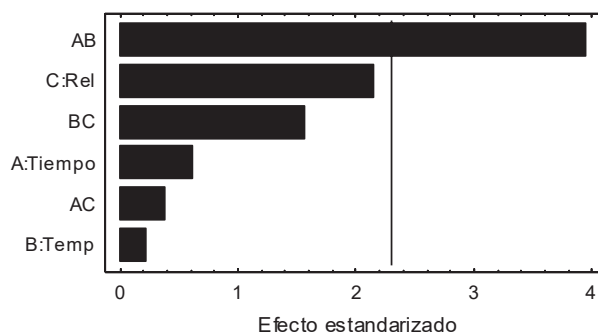
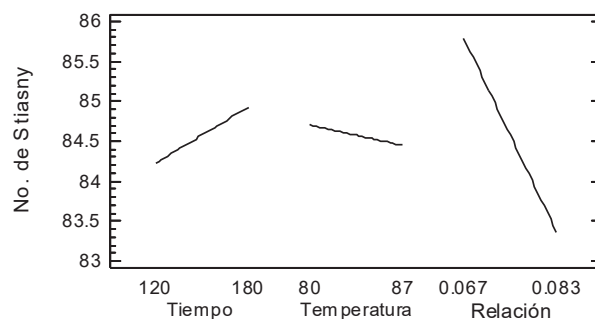
ALBURA

El cuadro 27, para el análisis de varianza (Anova) para el Número de Stiasny, apreciándose que el efecto significativo para este estudio, fue la interacción AB, como se visualiza en el diagrama de Pareto (Fig. 30) y en la gráfica de efectos principales (Fig. 31).

Cuadro 27. Anova para el No. de Stiasny de albura

Análisis de varianza para Stiasny					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-p
A:Tiempo	1.94603	1	1.94603	0.39	0.5518
B:Temp	0.25	1	0.25	0.05	0.8294
C:Rel	23.4256	1	23.4256	4.64	0.0633
AB	78.6769	1	78.6769	15.60	0.0042
AC	0.7396	1	0.7396	0.15	0.7118
BC	12.3552	1	12.3552	2.45	0.1562
Bloques	0.265225	1	0.265225	0.05	0.8244
Error total	40.3558	8	5.04448		
Total (corr.)	158.014	15			

R-cuadrada = 74.4607 %
R-cuadrada (ajustada para g.l.) = 57.4345 %

**Figura 30.** Diagrama de Pareto para No. de Stiasny en albura.**Figura 31.** Efectos principales para No. de Stiasny en albura.

Los efectos principales sobre el rendimiento del No. de Stiasny para albura se aprecian en la figura 31, así como se corrobora en el diagrama de Pareto (Fig. 30) y la Anova (Cuadro 27).

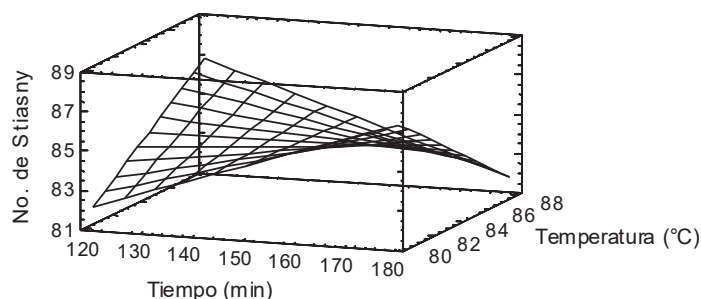


Figura 32. Superficie de respuesta para No. de Stiasny en albura.

De acuerdo con el diseño utilizado para maximizar el porcentaje del No. de Stiasny, el proceso para extracción deberá realizarse con la temperatura menor y el mayor tiempo, como lo indica la gráfica de superficie de respuesta (Fig. 32), obteniendo así un rendimiento de 89.57% (Cuadro 28) (Cuadro 29).

Cuadro 28. Valores de optimización para No. de Stiasny en albura.

Optimize Response			

Goal: maximize Stiasny			
Optimum value = 89.5712			
Factor	Low	High	Optimum

Tiempo	120.0	180.0	180.0
Temp	80.0	87.0	80.0
Rel	0.067	0.083	0.067

Cuadro 29. Ecuación de regresión para No. Stiasny en albura.

Regression coeffs. for Stiasny	

constant	= 19.106
A:Tiempo	= 1.84225
B:Temp	= 0.778348
C:Rel	= -2637.43
AB	= -0.021119
AC	= -0.895833
BC	= 31.3839

The StatAdvisor	

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is	
Stiasny = 19.106 + 1.84225*Tiempo + 0.778348*Temp - 2637.43*Rel - 0.021119*Tiempo*Temp - 0.895833*Tiempo*Rel + 31.3839*Temp*Rel	

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del No. de Stiasny en cualquier punto para esta experimentación esta dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 29.

DURAMEN

En la figura 33 aparece el resultado del análisis de Pareto, que nos indica los factores que tienen efecto significativo sobre la variable de respuesta, en el análisis de varianza (Anova) en el cuadro 30, vemos que la temperatura, la relación de baño y la interacción AC, tienen un valor menor a 0.05, como se visualizó en el diagrama de Pareto (Fig.33), así como se observa también en la gráfica de efectos principales (Fig. 34) corroborando lo antes dicho.

Cuadro 30. Anova para No. de Stiasny para duramen.

Análisis de varianza para Stiasny					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
A:Tiempo	0.0390063	1	0.0390063	0.06	0.8088
B:Temp	8.57026	1	8.57026	13.75	0.0060
C:Rel	17.4515	1	17.4515	28.00	0.0007
AB	0.486506	1	0.486506	0.78	0.4027
AC	4.50501	1	4.50501	7.23	0.0276
BC	3.19516	1	3.19516	5.13	0.0534
bloques	0.0495063	1	0.0495063	0.08	0.7852
Error total	4.9862	8	0.623275		

Total (corr.)	39.2831	15			
R-cuadrada = 87.307 %					
R-cuadrada (ajustada para g.l.) = 78.845 %					

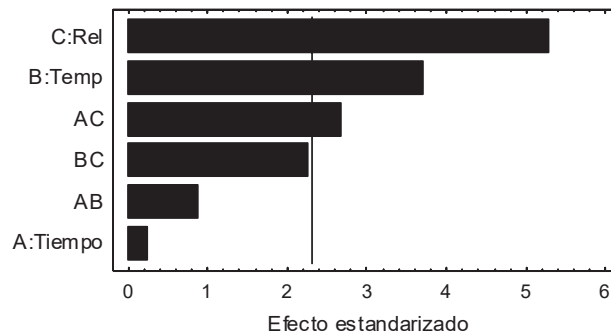


Figura 33. Diagrama de Pareto para No. de Stiasny en duramen.

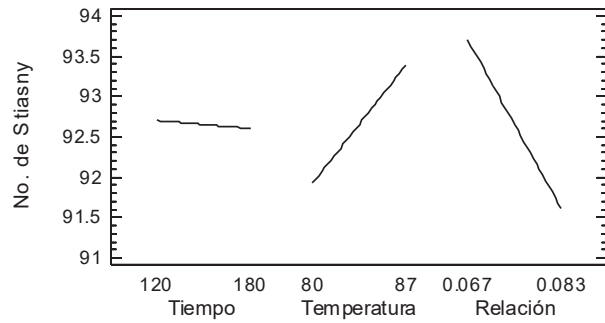


Figura 34. Efectos principales para No. de Stiasny en duramen.

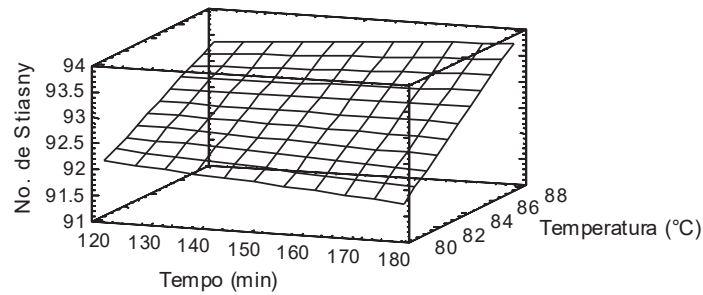


Figura 35. Superficie de respuesta para No. de Stiasny en duramen.

Para maximizar el No. de Stiasny, de acuerdo al diseño utilizado, el proceso de extracción deberá llevarse a cabo como lo indica la gráfica de superficie de respuesta (Fig. 35), es decir, empleando el menor tiempo y la mayor temperatura teniendo así un rendimiento de 94.39%, como se observa en el cuadro 31.

Cuadro 31, Valores de optimización para No. de Stiasny en duramen.

Optimize Response			

Goal: maximize Stiasny			
Optimum value = 94.3881			
Factor	Low	High	Optimum

Tiempo	120.0	180.0	120.0
Temp	80.0	87.0	87.0
Rel	0.067	0.083	0.067

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del No. de Stiasny en cualquier punto para esta experimentación esta dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 32.

Cuadro 32. Ecuación de regresión para No. de Stiasny en duramen.

```

Regression coeffs. for Stiasny
-----
constant = 230.852
A:Tiempo = -0.306136
B:Temp   = -1.23699
C:Rel    = -1794.83
AB       = 0.00166071
AC       = 2.21094
BC       = 15.9598
-----

The StatAdvisor
-----
This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

Stiasny = 230.852 - 0.306136*Tiempo - 1.23699*Temp - 1794.83*Rel +
0.00166071*Tiempo*Temp + 2.21094*Tiempo*Rel + 15.9598*Temp*Rel

```

CORTEZA

En la figura 36 aparece el resultado del análisis de Pareto, que nos indica los factores que tienen efecto significativo sobre la variable de respuesta, en el análisis de varianza (Anova) en el cuadro 33, indica que la temperatura, la relación de baño y las interacción AB, AC, y BC que tienen valor menor a 0.05, como se visualizó en el diagrama de Pareto (Fig.36), influyen en el No. de Stiasny así como se observa también en la gráfica de efectos principales (Fig. 37) corroborando lo antes dicho.

Cuadro 33. Anova para No. de Stiasny para corteza.

Análisis de varianza para Stiasny					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	valor-P
A:Tiempo	0.011025	1	0.011025	0.20	0.6652
B:Temp	54.5382	1	54.5382	997.95	0.0000
C:Rel	6.0025	1	6.0025	109.84	0.0000
AB	10.3041	1	10.3041	188.55	0.0000
AC	0.632025	1	0.632025	11.56	0.0094
BC	5.45222	1	5.45222	99.77	0.0000
Bloques	0.0196	1	0.0196	0.36	0.5658
Error total	0.4372	8	0.05465		

Total (corr.)	77.3969	15			
R-cuadrada = 99.4351 %					
R-cuadrada (adjustada para g.l.) = 99.0585 %					

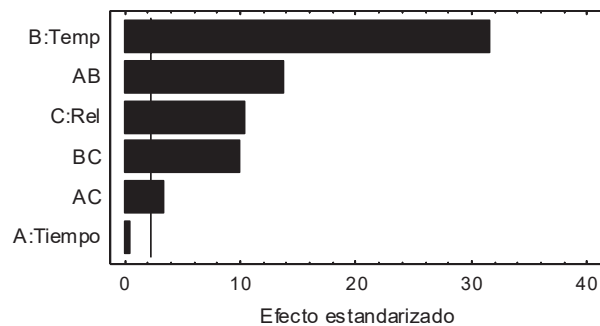


Figura 36. Diagrama de Pareto para No. de Stiasny en corteza.

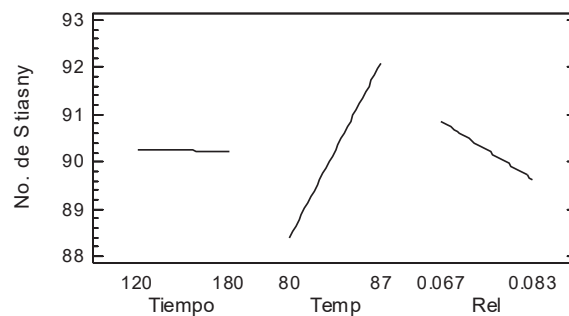


Figura 37. Efectos principales para No. de Stiasny en corteza.

De acuerdo con el diseño utilizado para maximizar el porcentaje del No. de Stiasny, el proceso para extracción deberá realizarse con la temperatura mayor y el mayor tiempo, como lo indica la gráfica de superficie de respuesta (Fig. 38), obteniendo así un rendimiento de 93.035% como lo muestra el cuadro de valores de optimización (Cuadro 34).

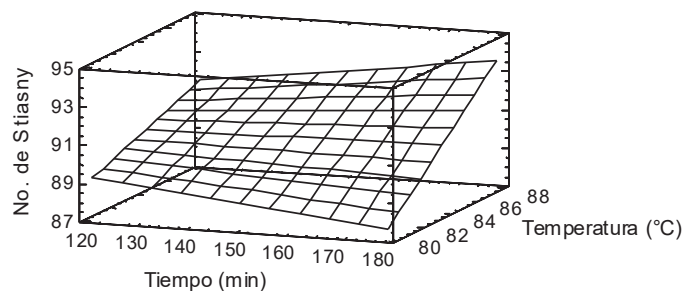


Figura 38. Superficie de respuesta para No. Stiasny en corteza

Cuadro 34. Valores de optimización para No. de Stiasny en corteza.

```
Optimize Response
-----
Goal: maximize Stiasny

Optimum value = 93.035

Factor                Low                High                Optimum
-----
Tiempo                120.0                180.0                180.0
Temp                  80.0                 87.0                 87.0
Rel                   0.067                0.083                0.083
```

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del No. de Stiasny en cualquier punto para esta experimentación está dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 35.

Cuadro 35. Ecuación de regresión para No. de Stiasny en corteza.

```
Regression coeffs. for Stiasny
-----
constant = 287.675
A:Tiempo = -0.701163
B:Temp   = -2.18254
C:Rel    = -1941.61
AB       = 0.00764286
AC       = 0.828125
BC       = 20.8482
-----

The StatAdvisor
-----

This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

Stiasny = 287.675 - 0.701163*Tiempo - 2.18254*Temp - 1941.61*Rel +
0.00764286*Tiempo*Temp + 0.828125*Tiempo*Rel + 20.8482*Temp*Rel
```

6.2.3. TANINOS

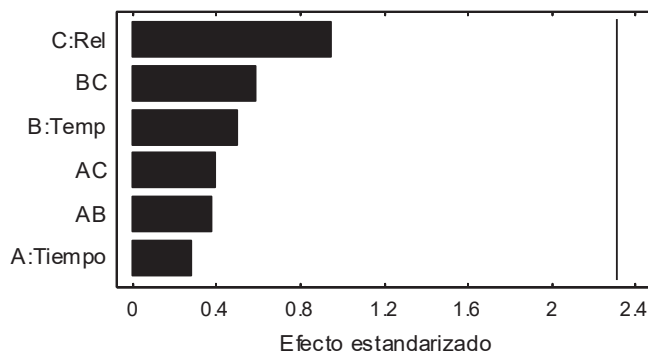
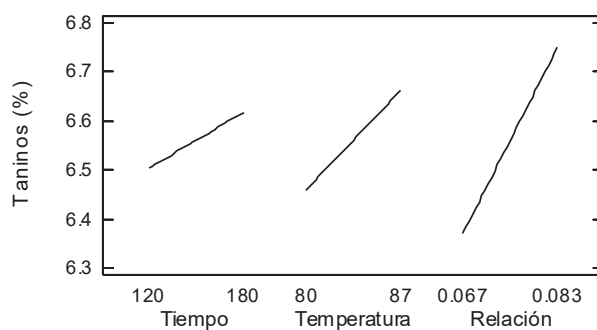
ALBURA

El análisis de varianza (Anova) para el contenido de taninos en la zona de la albura se demuestra en el cuadro 36, en donde se aprecia que las condiciones aplicadas a la madera de albura, así como sus interacciones no crearon algún efecto significativo, como se aprecia en el diagrama de Pareto (Fig. 39), y en la gráfica de efectos principales (Fig. 40)

Cuadro 36. Anova para Taninos para la madera de albuja

Análisis de varianza para Taninos					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
A:Tiempo	0.0517563	1	0.0517563	0.08	0.7821
B:Temp	0.162006	1	0.162006	0.26	0.6265
C:Rel	0.573806	1	0.573806	0.91	0.3688
AB	0.0915063	1	0.0915063	0.14	0.7136
AC	0.100806	1	0.100806	0.16	0.7002
BC	0.218556	1	0.218556	0.35	0.5729
Bloques	0.00680625	1	0.00680625	0.01	0.9199
Error total	5.06085	8	0.632606		
Total (corr.)	6.26609	15			

R-cuadrada = 19.2344 %
R-cuadrada (ajustada para g.l.) = 0.0 %

**Figura 39.** Diagrama de Pareto para Taninos en albuja.**Figura 40.** Efectos principales para Taninos en albuja.

De acuerdo al diseño utilizado, para maximizar la cantidad de taninos, el proceso deberá llevarse a cabo como lo indica la gráfica de superficie de respuesta (Fig. 29), es decir, utilizando el mayor tiempo de extracción y la más alta temperatura,

obteniendo así un rendimiento de 7.07% como se observa en el cuadro 25, y en la ecuación del coeficiente de regresión (Cuadro 26).

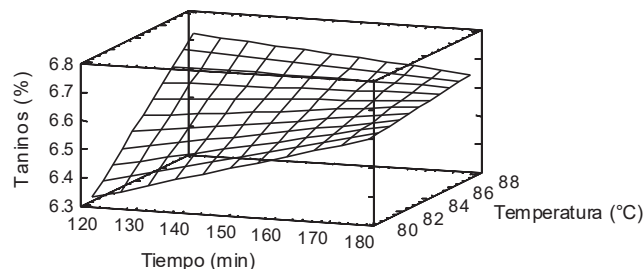


Figura 41. Superficie de respuesta para Taninos en albura.

Cuadro 37. Valores de optimización para Taninos en albura.

```
Optimize Response
-----
Goal: maximize Taninos

Optimum value = 7.06562
```

Factor	Low	High	Optimum
Tiempo	120.0	180.0	120.0
Temp	80.0	87.0	87.0
Rel	0.067	0.083	0.083

Cuadro 38. Ecuación de regresión para Taninos en albura

```
Regression coeffs. for Taninos
-----
constant = 15.4989
A:Tiempo = 0.0868404
B:Temp = -0.176272
C:Rel = -275.257
AB = -0.000720238
AC = -0.330729
BC = 4.17411
-----

The StatAdvisor
-----

This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

Taninos = 15.4989 + 0.0868404*Tiempo - 0.176272*Temp - 275.257*Rel -
0.000720238*Tiempo*Temp - 0.330729*Tiempo*Rel + 4.17411*Temp*Rel
```

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del contenido de taninos en cualquier punto para esta experimentación esta dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 38.

DURAMEN

En la figura 42 se aprecia el resultado del análisis de Pareto, que nos indica los factores que tienen efecto significativo sobre la variable de respuesta que son menores a 0.05, en el análisis de varianza (Anova) en el cuadro 39, vemos que la relación de baño y la interacción AC, son los factores que tienen este efecto sobre la cantidad de Taninos, como se visualizó en el diagrama de Pareto (Fig.42), así como se observa también en la gráfica de efectos principales (Fig. 43) corroborando lo antes dicho.

Cuadro 39. Anova para Taninos de duramen.

Análisis de varianza para Taninos					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
A:Tiempo	0.0441	1	0.0441	0.42	0.5347
B:Temp	0.225625	1	0.225625	2.15	0.1805
C:Rel	1.3924	1	1.3924	13.28	0.0065
AB	0.081225	1	0.081225	0.77	0.4044
AC	0.7396	1	0.7396	7.06	0.0290
BC	0.133225	1	0.133225	1.27	0.2922
Bloques	0.003025	1	0.003025	0.03	0.8693
Error total	0.8385	8	0.104812		
Total (corr.)	3.4577	15			

R-cuadrada = 75.7498 %
R-cuadrada (ajustada para g.l.) = 59.583 %

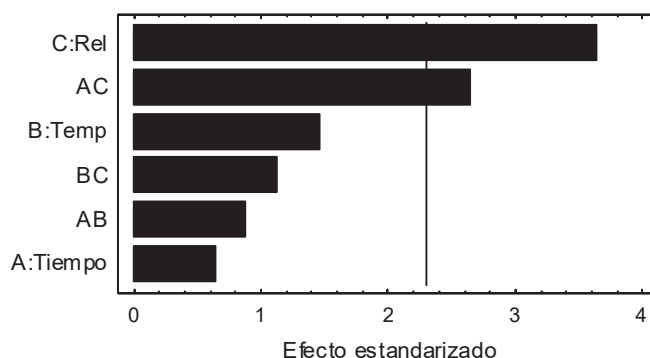


Figura 42. Diagrama de Pareto para taninos en duramen.

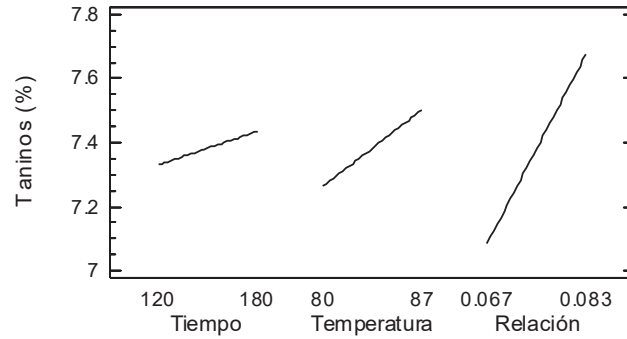


Figura 43. Efectos principales para Taninos en duramen.

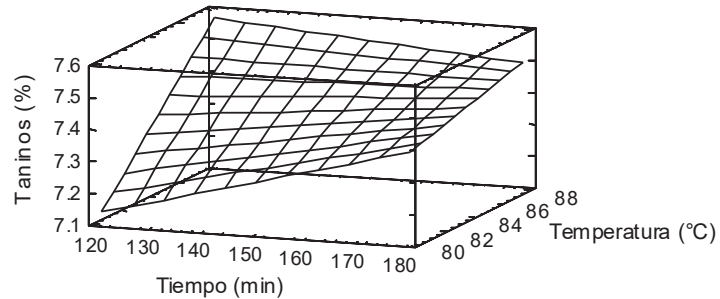


Figura 44. Superficie de respuesta para Taninos en duramen.

El proceso de extracción para maximizar la cantidad de taninos de acuerdo al diseño utilizado, deberá llevarse a cabo con el tiempo menor y la mayor temperatura como lo indica la gráfica de superficie de respuesta (Fig. 44), obteniendo un rendimiento de 8.12% como se observa en el cuadro 40.

Cuadro 40. Valores de optimización para Taninos en duramen.

Optimize Response			

Goal: maximize Taninos			
Optimum value = 8.12125			
Factor	Low	High	Optimum

Tiempo	120.0	180.0	120.0
Temp	80.0	87.0	87.0
Rel	0.067	0.083	0.083

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del contenido de taninos en cualquier punto para esta experimentación esta dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 41.

Cuadro 41. Ecuación de regresión para Taninos en duramen.

Regression coeffs. for Taninos	
constant	= 3.35315
A:Tiempo	= 0.125598
B:Temp	= -0.108705
C:Rel	= -100.871
AB	= -0.000678571
AC	= -0.895833
BC	= 3.25893

The StatAdvisor	

This pane displays the regression equation which has been fitted to the data. The equation of the fitted model is	
Taninos = 3.35315 + 0.125598*Tiempo - 0.108705*Temp - 100.871*Rel - 0.000678571*Tiempo*Temp - 0.895833*Tiempo*Rel + 3.25893*Temp*Rel	

CORTEZA

El análisis de varianza (Anova) para el contenido de Taninos en la zona de la corteza se presenta en el cuadro 42, en donde se aprecia que todas las condiciones aplicadas a la corteza, así como sus interacciones tienen efecto significativo, como se aprecia en el diagrama de Pareto (Fig. 45), y en la gráfica de efectos principales (Fig. 46).

Cuadro 42. Anova para taninos en Corteza

Análisis de varianza para Taninos					
Fuente	Suma de cuadrados	Gl	Cuadrado medio	Valor-F	Valor-P
A:Tiempo	0.262656	1	0.262656	12.33	0.0079
B:Temp	5.05126	1	5.05126	237.15	0.0000
C:Rel	6.51526	1	6.51526	305.88	0.0000
AB	0.310806	1	0.310806	14.59	0.0051
AC	0.237656	1	0.237656	11.16	0.0102
BC	2.21266	1	2.21266	103.88	0.0000
Bloques	0.0297563	1	0.0297563	1.40	0.2712
Error total	0.1704	8	0.0213		

Total (corr.)	14.7904	15			
R-cuadrada = 98.8479 %					
R-cuadrada (ajustada para g.l.) = 98.0798 %					

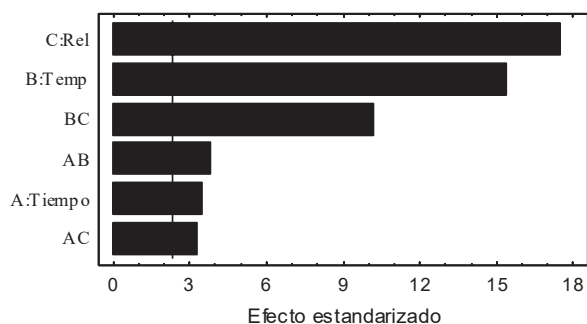


Figura 45. Diagrama de Pareto para Taninos en corteza.

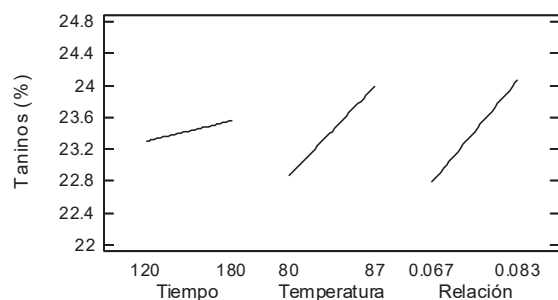


Figura 46. Efectos principales para Taninos en corteza

De acuerdo con el diseño utilizado para maximizar el porcentaje del contenido de taninos, el proceso para extracción deberá realizarse con la temperatura mayor y el mayor tiempo, como lo indica la gráfica de superficie de respuesta (Fig. 47), obteniendo así un rendimiento de 25.15% como lo muestra el cuadro de valores de optimización (Cuadro 43). Así también se muestra la ecuación de regresión (cuadro 44) que se ha ajustado a los datos de la ecuación del modelo para el contenido de taninos en la corteza.

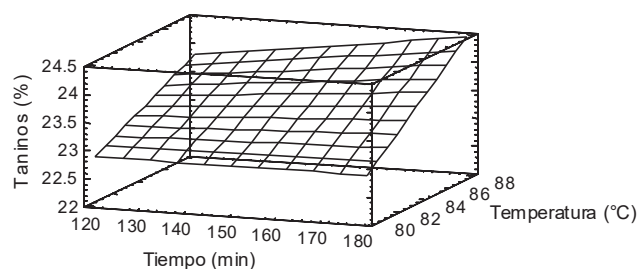


Figura 47. Superficie de respuesta para Taninos, en corteza.

Cuadro 43. Valores de optimización para Taninos, en corteza.

```
Optimize Response
-----
Goal: maximize Taninos

Optimum value = 25.1456

Factor          Low          High          Optimum
-----
Tiempo          120.0        180.0        180.0
Temp            80.0         87.0         87.0
Rel             0.067        0.083        0.083
```

El modelo de regresión ajustado que describe el comportamiento del contenido de taninos en cualquier punto para esta experimentación esta dado por la ecuación que se presenta en el cuadro 44.

Cuadro 44. Ecuación de regresión para taninos, en corteza.

```
Regression coeffs. for Taninos
-----
constant = 97.4867
A:Tiempo = -0.0684795
B:Temp = -1.03467
C:Rel = -953.047
AB = 0.00132738
AC = -0.507812
BC = 13.2813
-----

The StatAdvisor
-----
This pane displays the regression equation which has been fitted to
the data. The equation of the fitted model is

Taninos = 97.4867 - 0.0684795*Tiempo - 1.03467*Temp - 953.047*Rel +
0.00132738*Tiempo*Temp - 0.507812*Tiempo*Rel + 13.2813*Temp*Rel
```

Haciendo una comparación de las tres zonas en cada uno de los análisis realizados tenemos que:

EXTRACTO TOTAL.

Los resultados de la obtención de extracto total que se obtuvo de cada zona del árbol, se muestra en la figura 48.

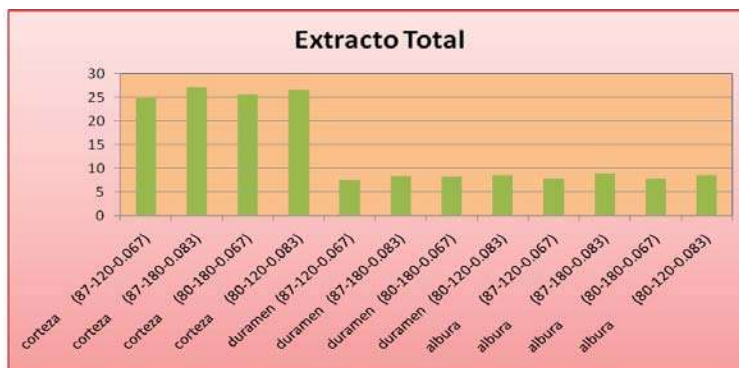


Figura 48. Comparación para extracto total de las tres zonas estudiadas.

No. STIASNY.

Los resultados de la obtención de No. de Stiasny que se obtuvo de cada zona del árbol, se muestra en la figura 49.



Figura 49. Comparación para No. de Stiasny de las tres zonas estudiadas.

TANINOS.

Los resultados de la obtención de taninos que se obtuvo de cada zona del árbol, se muestra en la figura 50.

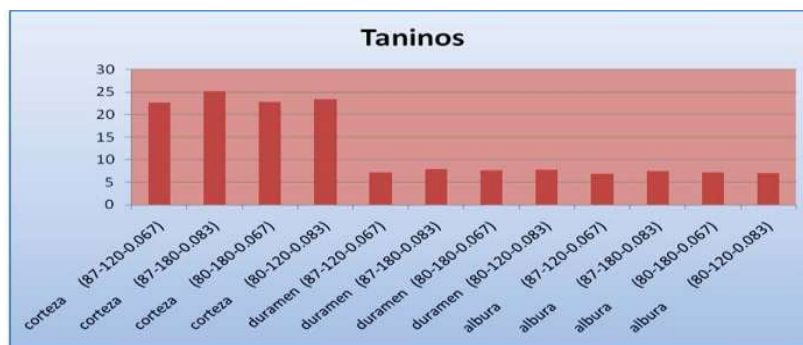


Figura 50. Comparación para Taninos de las tres zonas estudiadas.

TANINOS HIDROLIZABLES

Para el caso de los taninos hidrolizables de las tres zonas de la especie de *Mammea americana* L. la coloración azul-violeta fue evidente en lo que se refiere a duramen y corteza, lo que no fue tan evidente en la albura, ya que ésta, no presentó una coloración tan intensa como las otras zonas del árbol. Lo que indica que están presentes los taninos hidrolizables en las tres zonas, aunque con menos intensidad en la albura.

7.0. ANÁLISIS QUÍMICO DE LA ESPECIE

DETERMINACIÓN DE pH

El pH promedio encontrado en las diferentes zonas del árbol fue 4.91 para corteza, 5.11 para duramen y 5.2 para albura que de acuerdo a análisis estadístico de varianza para pH (Cuadro 3), solo hay diferencias estadística entre corteza y albura. En general los datos obtenidos de este estudio pueden ser clasificados como “ligeramente ácido” (4 a 6) según datos reportados por Kollman (1936). Es conocido que el valor de pH esta 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, Wegener 1983; Poblete *et al*, 1991). Datos comparativos no fueron encontrados en la literatura sobre esta especie.

Una comparación con algunos datos reportados para otras especies que se encuentran entre estos rangos se esta, la corteza de *Eucaliptus citriodora* con un pH de 4.7, *E. camaldulensis* con 4.9 (Pedraza, 2006), valores similares para duramen se reportan los siguientes: 4.6 para duramen de *Pinus pseudostrobus* y *Quercus laurina* (Rutiaga, 2001), así como 4.58 para *Persea americana* y 4.6 para *Clethra macrophylla*, encontrando similitud en los datos (Aguilar, 2006).

CONTENIDO DE CENIZAS

Los valores obtenidos en cada zona del árbol de *Mammea americana* L., muestran que la corteza presenta mayor porcentaje de cenizas (4.14%) que el obtenido para el duramen y la albura, 0.59% y 0.44% respectivamente. Por lo que el análisis de varianza (Cuadro 4) nos indica que existe diferencia estadística significativa para la especie entre las zonas estudiadas (cuadro 5). En la revisión de literatura no se encontraron datos para esta especie, pero se sabe que existe variación en sentido radial de la médula hacia la corteza externa (Fossum *et al*, 1972). Por otro lado, es conocido que la cantidad de sustancias inorgánicas en la madera depende del lugar de crecimiento, de la época de corte y de la posición de la muestra dentro del fuste (Trendelenberg, 1939) Así mismo, las condiciones del suelo y la edad influyen en los contenidos de sustancias minerales (Carballo, 1989).

Valores aproximados a la madera de la especie en estudio se encuentran en: *Brosimum utile* 0.04%, *Caryocar costarricense* 0.4%, *Shizolobium parahybum* 0.4% (Rowel, 1984), *Persea americana* 0.6% (Anzaldo *et al*, 2004).

SOLUBILIDAD A LA SOSA

El porcentaje del material soluble en sosa al 1%, reportó valores diferentes para cada zona del árbol reportados en el cuadro 6 y gráficamente en la figura 15 del capítulo de resultados, teniendo para albura 28.42%; duramen 33.44% y corteza 60.65%. La prueba de rango múltiple Anova (Cuadro 7) indica que la diferencia estadística entre la zona del árbol.

Rowel (1984), hace referencia de un estudio de 241 especies, donde reporta un rango para maderas templadas y tropicales que varía de 6% para *Dysoxylum turezaniinowii* y de 31% para *Eperua bijuga*; encontrándose dentro de estos parámetros los datos obtenidos en este estudio, exceptuando la corteza que presenta un valor más alto a los reportados por Rowel en su trabajo. Aguilar (2006) reporta para *Clethra macrophylla* 22.68%, para *Agarista mexicana* 24.83%, *Arbutus glandulosa* 25.51%, *Persea americana* 25.95%, *Arbutus xalapensis* de 30.08% siendo datos muy semejantes al duramen y albura de *M. americana*.

OBTENCIÓN DE EXTRAÍBLES

Los resultados de las extracciones con solventes de polaridad ascendente (ciclohexano, acetona, metanol, agua caliente) en el cuadro 8, se observa que la mayor solubilidad se presenta en la acetona en las tres zonas del árbol, seguido por metanol, agua caliente y por último ciclohexano. Mediante una extracción sucesiva con estos solventes de polaridad ascendente, se logra en general una mejor separación de los solubles de la madera en clases o tipos de sustancias (Hillis, 1971, Fengel, Wegener 1983, Weissmann *et al.* 1989). La corteza presenta mayor cantidad de extraíbles (cuadro 10) con un 49.05%, duramen con un 21.02% y albura con un 17.32%, encontrándose diferencias significativas en el porcentaje de extraíbles por zona del árbol.

Las comparaciones efectuadas con lo que indica la literatura no son fáciles de realizar, ya que la toma de muestras no siempre esta estandarizada y se extrae normalmente con otros solventes y diferentes métodos de extracción y secuencia de extracción, por otro lado, se debe de considerar que en el rendimiento de los extraíbles influyen factores como los ambientales y genéticos, la edad del árbol, el clima, cantidad de agua suministrada, nutrientes disponibles y la época de corta (Hillis 1971, Shiraishi *et al.* 1991). Sin embargo, como referencia, se pueden mencionar para maderas tropicales los siguientes datos. Petterson (1984) da a conocer los contenidos de extraíbles en agua caliente (etanol-benceno) de 5.0% (2.0%), 5.0% (4.0%), 14.0% (2.0%) y 6.0% (3.0%) para *Brosimum alicastrum*, *Bursera simaruba*, *Ceiba pentandra* y *Spondias mombin*, respectivamente. Huerta (1996) reporta una solubilidad para etanol – benceno para las maderas de *Acacia angustissima* 9.53%, *Leucaena esculenta* 10.34%. Rutiaga (2001) realizó una extracción sucesiva con solventes de polaridad creciente (éter de petróleo, acetona, metanol, agua fría, agua caliente) encontró una solubilidad total de 8.9%, 17.3% y 17.9% para muestras de duramen tomadas a 1.30 del tocón de *Cedrela odorata*, *Swittenia macrophylla* y *Manilkara zapota*, respectivamente.

DETERMINACIÓN DEL pH DESPUES DE LA EXTRACCIÓN

En el cuadro 11 del análisis de varianza (Anova) nos indica que existe diferencia significativa entre el pH “libre de extractos” y la zona del árbol como se aprecia en la figura 17 y el cuadro 12, siendo para la albura de 6.04, el duramen de 6.08 y corteza 6.61 siendo este el valor máximo, Como era de esperarse, los resultados de la determinación de pH “libre de extracto” en las muestras, fueron mayores que

los inicialmente tomados antes de la extracción con solventes, es decir, menos ácidos, se comprueba entonces que las sustancias extraíbles influyen en el valor del pH (Fengel, Wegener 1983).

DETERMINACIÓN DE LIGNINA

La cantidad de lignina encontradas en las zonas del árbol albura 29.89%, duramen 32.45% y corteza 34.36% (cuadro 14), por lo que en el análisis de varianza (cuadro 13) indica que el nivel de significancia es menor a 0.05, es decir, existe diferencias estadísticas entre la zona y el porcentaje de lignina, como lo muestra la prueba de rango múltiple (cuadro 14). Estos valores concuerdan con lo reportado para maderas tropicales *Manilkara zapota* 30.7%, *Switenia macrophylla* 31.1%, *Cedrela odorata* 34.4% (Rutiaga, 2001), *Pithecellobium dulce* 32.23% (Huerta 1996), *P.ebano* 33.4% (Zizumbo, 1998), *Andira inermis* 34.2% (Tellez, 2004), *Lophira alata* 39.8% (Fengel, Wegener 1983), encontrándose la *Mammea americana* entre estos valores.

DETERMINACIÓN DE HOLOCELULOSA

El porcentaje de Holocelulosa encontrado en las zonas del árbol fue de 83.88% para albura, 79.82% duramen y 64.52% corteza, observándose diferencias significativas como lo indica el análisis de varianza (cuadro 15) y la prueba de rango múltiple (cuadro 16). Es conocido que el contenido de polisacáridos en la corteza es bajo en relación a la madera (Fengel, Wegener 1983). Vidrio (1995) indica que la madera de *Lysiloma acapulcensis* contiene 80% de holocelulosa. Huerta (1996) encuentra un contenido de 82.16% *Acacia angustissima*, 84.05% *Leucaena esculenta*, 80% *Lysiloma acapulcensis* y 86.26% *Pithecellobium dulce*. Zizumbo (1998) indica que *Pithecellobium ebano* contiene 83.49%. Fengel *et al.* (1979) reporta para *Fagus sylvatica* un 85.8%. Esto refleja la variabilidad en la composición química en la madera.

7.1. DETERMINACIÓN DE TANINOS

EXTRACTO TOTAL

El porcentaje promedio fue para la corteza con un rendimiento de 27.33% (Fig. 29 y cuadro 25), seguido por el duramen con un rendimiento de 8.80% (cuadro 22, Fig. 26) y la albura 8.36% (cuadro 19, Fig. 23). Los resultados pueden variar a los reportados en la literatura, ya que hay que recordar, que la cantidad de extractos en el árbol pueden verse influidas por diversos factores como, las condiciones climáticas, el tipo de suelo, la edad del árbol, las características genéticas, entre otras (Hillis 1984).

Una comparación se puede realizar con otras especies como el *Erytroxylon compactum* Rose y *Senna skinneri* (Benth) en donde se reportan rendimientos del 11.2% y 18.7%, respectivamente estos valores de corteza (Colín, 2005).

Trugilho *et al.* (2003) reporta para la corteza de *Eucalyptus saligna* un rendimiento de 22.49%, *E. citriodora* 14.63%, *E. camaldulensis* 14.18% y *E. robusta* 10.50%. Valores bajos en comparación con los encontrados en el presente trabajo, refiriéndonos a corteza específicamente por el alto contenido de extracto total reportado. Lo que puede reflejar el efecto de la especie.

NO. DE STIASNY

En relación al porcentaje de taninos condensables presentes en el No. de Stiasny, el valor mayor lo reporto el duramen con un rendimiento de 94.38% (cuadro 31, Fig. 35), seguido con un porcentaje muy cercano la corteza con un rendimiento de 93.05% (cuadro 34, fig. 38) y la albura con 89.57% de rendimiento (cuadro 28, Fig. 32). Aunque una comparación no se puede hacer ya que la literatura es escasa con esta especie, se mencionan algunas citas donde presentan datos de especies tropicales y pueden dar una idea más clara de cómo puede estarse comportando esta especie. Colín (2005) reporta para *Erythroxyton compactum* Rose un valor obtenido de la maximización de la variable de respuesta de 56.3%, mientras que para *Senna skinneri* (Benth) obtuvo un valor de 79.2%. Por otro lado Trugilho *et al.* (2003) reporta una cantidad de taninos condensables en *Eucalyptus camaldulensis* de 44.82%. Mientras que Pedraza (2006) reporta valores para *Eucalyptus saligna* de 33.36 y 29.09% para *E. citriodora*. Resultados bajos en comparación con presentados en este estudio para *Mammea americana* L.

TANINOS

Para los valores promedio de contenido de taninos, la corteza tiene un alto rendimiento con valor de 25.14% (cuadro 43, Fig. 47) en comparación con las otras zonas del árbol, teniendo para duramen un rendimiento de 8.12% (cuadro 40, Fig. 44) y albura con 7.06% (cuadro 37, fig. 41). Como se observa la corteza presenta un porcentaje considerable en contenido de taninos por lo que se muestra resultados de otras especies pero sólo para corteza; Trugilho *et al.* (2003) en su estudio para la determinación de taninos para corteza proporcionan los siguientes datos: *E. camaldulensis* 6.24%, *E. citriodora* 1.06%, *E. robusta* 1.32% y *E. saligna* 3.72%. Por otro lado Colín (2005) menciona que para *Erythroxyton compactum* Rose un valor máximo de 5.2%, mientras que para *Seena skinneri* (Benth) obtuvo un rendimiento de 14.4%.

TANINOS HIDROLIZABLES

Las tres zonas de la especie en estudio, en cuanto a taninos hidrolizables presentaron coloración azul – violeta siendo muy intensa en la zona del duramen y la corteza, lo que no ocurrió en la albura ya que esta presentó una coloración ms tenue que las anteriores. Lo que nos indica que están presentes los taninos hidrolizables aunque en menor cantidad en la albura.

8. CONCLUSIONES

- La corteza resulto ser más ácida que las otras zonas del árbol, con un pH promedio de 4.91, esto antes de la extracción con solventes.
- La corteza presenta mayor porcentaje de sustancias inorgánicas, con 4.14% mientras que el más bajo lo presentó la albura con 0.44%.
- El porcentaje de material soluble en sosa más alto lo presenta la corteza con 60.65%, y el más bajo la albura con 28.42%.
- La zona del árbol con mayor porcentaje de sustancias extraíbles fue la corteza con un 49.05%, el porcentaje más bajo lo presenta la albura con 17.32%.
- Bajo la secuencia de extracción, la mayor solubilidad tanto para albura, duramen y corteza, se obtuvieron con acetona.
- El pH después de la extracción con solventes de polaridad creciente fue mayor para la corteza con 6.61 y el más bajo para la albura con 6.04.
- El contenido de lignina para las tres zonas resultó mayor la corteza con 34.36% y el menor para albura con 29.89%.
- La cantidad de holocelulosa para las distintas zonas fue mayor para la albura con 83.88%, mientras que el menor fue para la corteza con 64.52%.
- Se determinó que las condiciones óptimas de extracción para Extracto Total fueron iguales para el duramen y la corteza con un tiempo de extracción de 120 min, temperatura de 87°C y una relación de baño 0.083. Para el No. de Stiasny las condiciones fueron variables para las tres zonas. Mientras que para el contenido de taninos las condiciones fueron semejantes para las tres zonas en con una temperatura de 87°C y una relación de 0.083.
- La evaluación de taninos a nivel laboratorio reportó que para el Extracto total el porcentaje promedio mayor fue para la corteza con un rendimiento 27.33%, y el más bajo para la albura con 8.36%.
- Para el No. de Stiasny el mayor valor obtenido fue para el duramen con 94.38%, y 89.57% para la albura el más bajo.
- El contenido de taninos en las muestras lo presentó la corteza con 25.14% como el mayor, mientras que el más bajo la presenta la albura con 7.06%.
- Todas las muestras indicaron la presencia de taninos hidrolizables, siendo menor la coloración presentada en la albura.

9. RECOMENDACIONES

- Realizar estudios cualitativos de todas las especies mediante energía dispersiva de rayos x, para determinar las sales inorgánicas que se encuentran presentes en esta especie.
- Se recomienda que los extractos de la corteza sean evaluados siguiendo las técnicas del American Leather Chemist Association (ALCA) para determinar la pureza de los taninos que contiene esta especie y así considerarla como subproducto, debido a que la materia prima tiene otros usos. Jazca (1954), Buchanan (1963), Mule y González (1973) citados por Iturria (1992) mencionan que para que el contenido de taninos presente en una muestra no es factor decisivo para considerar conveniente la explotación de dicha materia prima, debe de conjuntarse para esto contenido y pureza del extracto, la cual debe ser mayor o cercana a 50%, para de algún modo se pueda garantizar que la explotación del producto podría ser conveniente económicamente.
- Hacer las extracciones acuosas con aditivos químicos como Carbonato de sodio, Sulfito de sodio, Hidróxido de sodio, etc., para lograr una cantidad mayor en la extracción de taninos.
- Determinar el tipo de compuestos presentes tanto en los extraíbles y en el extracto tánico de la corteza y duramen ya que fueron los que mejores resultados presentaron.
- Realizar estudios de propiedades tecnológicas.

BIBLIOGRAFÍA

Aguilar R. R. 2006. Caracterización química básica de cinco especies (*Agarista mexicana*, *Arbutus glandulosa*, *Arbutus xalapensis*, *Clethra macrophylla* y *Persea americana*) del estado de Michoacán, México. Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

Anzaldo H. J, Vargas R. J. J, Fuentes T. F, Silva G. J. A, Rutiaga Q. J. G., Sanjuán D. R. 2004. La madera de aguacate (*Persea americana* Mill.) como materia prima para la fabricación de cartón corrugado, Ciencia Nicolaita 39:207-216.

Bennett, F.W., J.M. Owens & R.M. Corrigan. 1996. Guía científica de Truman para operaciones de control de plagas. Universidad de Purdue, proyecto de comunicaciones. Advanstar. Estados Unidos.

Carballo L. R. 1989. The influence of chemical composition and age of *caribea* pine Wood (*Pinus caribea*) on the physical and mechanical properties as well as on the field of sulfite pulp. Report of Candidate Minimum Examination Faculty of the Wood Technology, University College of Forestry and Wood Technology . Zvolen. Rep. Eslovaca.

Cedeño L. M. E., Viteri H. K. V. 2009. Estudio el comportamiento de la pulpa congelada y del aceite de semillas obtenido de dos variedades diferentes de mamey *Colocarpum mammosum* (mamey colorado) y *Mammea americana* (mamey de Cartagena). Revista Tecnológica ESPOL, Vol. XX No. XX Centro de Investigación Científica y Tecnológica (CICYT). Guayaquil, Ecuador.

Colín U. S. 2005. Determinación experimental de las condiciones óptimas de extracción de taninos a partir de dos cortezas (*Erythroxyton compactum* Rose y *Senna skinneri* (Benth) Irwin & Barneby). Tesis Licenciatura. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Michoacán, México.

Dickson, T.R. 1990. Química, enfoque ecológico. Noriega-Limusa, México DF

Fengel D, Ucar, Wegener, G. 1979 Zur Isolierung und Charakterisierung der Polysaccharide des Buchenholzes (*Fagus sylvatica* L.) Papier: 33:233-239.

Fengel D, Wegener G. 1983 Wood, Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter. Berlin.

Fors, A. J. 1965 Maderas cubanas. Habana, Cuba: Instituto Nacional de la Reforma Agraria.

Finnegan, R.A.; Merkel, K.E. 1972b. Constituents of *Mammea americana* L. XI: Oxidation of *mamein* and *mammeisin*. Journal of Pharmaceutical Sciences. 61(10): 1603-1608.

Finnegan, R.A.; Merkel, K.E.; Back, N. 1972b. Constituents of *Mammea americana* L. VIII: Novel structural variations on the mamein theme and antitumor activity of mamein and related coumarin and phloroglucinol derivation. Journal of Pharmaceutical Sciences. 61(10): 1599-1603.

Fossum T, harler N, Libert J. 1972. The inorganic content of woods. Svenks Papperst. 8: 305-309.

Francis, J. K. 1989. *Mammea americana* L. Mamey, mammee-apple. SO-ITF-SM-22. New Orleans, LA: U.S. Department of agriculture, forest service, Southern Forest Experiment Station.

Geilfus, F. 1994. El árbol al servicio del agricultor. Manual de reforestación para el desarrollo de especies.

Hillis W. E. 1971. Distribution Properties and Formation of some Wood Stability Wood. Sc. Technol. 5:272-289.

Hillis W. E. 1984. Eucalyptus for wood production. CSIRO ACADEMIC PRESS.

Huerta C. M. 1996. Distribución, dendrología y estructura de cuatro leguminosas en Jalisco y su posible aprovechamiento. Tesis de Maestría, Universidad de Guadalajara. Guadalajara, Jalisco.

Iturria Luna A. M. 1992. Estudios de sustancias tánicas de cuatro cortezas de especies tropicales. Tesis Profesional. Escuela Politécnica. Universidad de Guadalajara. México.

Kollman F. 1936. Technologie des Holzes. Springer. Berlin.

Montgomery, D.C. 1991. Diseño y análisis de experimentos. Grupo Editorial Iberoamérica. Mexico.

Morales L. A. *et al.* 1993. Componentes volátiles de Mamey (*Mammea americana* L.). Revista Colombiana de Química. Vol. 22. No. 1. Bogotá, Colombia. pp 9 – 14.

Pedraza B. F. E. 2006. Composición química de la corteza de 4 especies de eucalipto y evaluación de sus extractos tánicos. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México.

Petterson R. C. 1984. The Chemical composition of Wood, pp. 57-126. (in: Rowel R (ed) The Chemistry of Solid Wood. American Chemistry Society. Washington)

Pérez R. H. A. 1995. Determinación experimental de las condiciones óptimas de extracción de taninos de vainas de casahuate usando agua como solvente. Tesis profesional. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich., México.

Pino P. O. *et al.* 2007. Isolation and characterisation of active compounds from *Mammea americana* Lin.. Revista Cubana de Química. Vol.XIX, No. 1. Pp 74 – 77. La Habana, Cuba.

Poblete *et al.*, 1991. Extraíbles de la madera, sus características y efectos sobre la utilización de esta materia prima 34. Facultad de Ciencias Forestales. Universidad Austral de Chile.

Rowel M. R. 1984. The chemistry of solid Wood. American Chemistry society. Washington, D. C. U. S. A.

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

Rutiaga Q. J. G. 2001. Chemische und biologische Untersuchungen zum Verhalten dauerhafter Holzarten und ihrer Extrakte gegenüber holzbauenden Pilzen. Buchverlag Gräffelfing. München.

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

Shiraishi N. *et al.* 1991. Wood and Cellulose Chemistry. Pp 1225. (In: David N. Hon S. C. (Eds). University South Carolina. U. S.

TAPPI, 2000. Test Methods TAPPI Press. Atlanta.

Tellez S. C. 2004. Descripción anatómica, caracterización físico mecánica y análisis químico de la madera de *Andira inermis* (W. Wright) DC. Tesis de Maestría. Morelia, Michoacán

Tredelemberg R. 1936. Das Holz als Rohstoff. J. F. Lehmanns Verlag. Munchen, Berlin.

Trugilho P.F, Mori F. A., Lima J. T., Pereira C. D. 2003. Determinação do teor de taninos na casca de Eucaliptus spp. Nota técnica. Cerne, Lavras, 9(2): 246-254.

Vidrio M. E. 1995. Estudio de las características físicas y químicas del Tepeguaje (*Lysiloma acapulcensis*) y su potencial como materia prima en la obtención de pulpa celulósica. Tesis de Licenciatura. Universidad de Guadalajara. 95 pp.

Waterman, P. G., Mole, S. 1994. Blackwell Scientific Publications, pp 85-96.

Weissman G, Kubel H, Lange W. 1989. Untersuchungen zur Cancerogenität von Holzstaub – Die Extraktstoffe von Eichenholz (*Quercus robur* L) *Holzforschung* 43 (2): 75-82.

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

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

Zizumbo C. F. 1998. Estudio tecnológico de la Madera de *Pithecellobium ebano* (Benth) Berlan, como fundamento para su aprovechamiento racional. Tesis de Maestría. Facultad de Ingeniería en Tecnología de la Madera. Universidad Michoacana de San Nicolás de Hidalgo. Morelia, Mich. México.

http://es.wikipedia.org/wiki/Ario_de_Rosales

<http://mapserver.inegi.org.mx/geografia>

<http://www.inegi.org.mx/>