



Universidad de San Carlos de Guatemala  
Facultad de Ingeniería  
Escuela de Ingeniería Química

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE  
CINCO ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS EN EL ASERRADERO  
DE LA ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS FORESTALES DE PETÉN.**

**Pablo Alberto Tezén Roldán**

Asesorado por: Inga. Química Telma M. Cano Morales

Co-asesorado por: Ing. For. MSc. José Mario Saravia Molina

Guatemala, abril de 2008

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**



**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA  
CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES  
APROVECHADAS EN EL ASERRADERO DE LA ASOCIACIÓN  
DE COOPERATIVAS FORESTALES DE PETÉN**

**TRABAJO DE GRADUACIÓN**

**PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA**

**POR:**

**PABLO ALBERTO TEZÉN ROLDÁN**

**ASESORADO POR LA INGA. TELMA MARICELA CANO MORALES**

**CO-ASESORADO POR EL ING. JOSÉ MARIO SARAVIA MOLINA**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE**

**INGENIERO QUÍMICO**

**GUATEMALA, ABRIL DE 2008**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
<b>VOCAL III</b>	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>VOCAL V</b>	
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

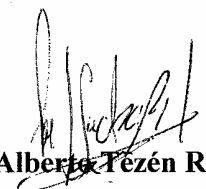
<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Adolfo Narciso Gramajo Antonio
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Manuel Gilberto Galván Estrada
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Victor Manuel Monzón Valdéz
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivónne Véliz Vargas

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la Ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO  
ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS EN EL ASERRADERO DE LA  
ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS FORESTALES DE PETÉN,**

tema que se me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Química, el día 5 de julio de 2007.

  
**Pablo Alberto Tezén Roldán**



CENTRO DE INVESTIGACIONES DE INGENIERIA  
FACULTAD DE INGENIERIA  
UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



Guatemala, 04 Febrero de 2008.


Ingeniero  
Williams Guillermo Álvarez Mejía  
Director  
Escuela de Ingeniería Química

Respetable Ingeniero Álvarez:

Atentamente me dirijo a usted para informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado "DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS EN EL ASERRADERO DE LA ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS FORESTALES DE PETEN" desarrollado por el estudiante de Ingeniería Química Pablo Alberto Tezén Roldán, carné No. 9514065.

Por lo cual, después de haber realizado la revisión del respectivo informe y de haberle hecho las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos para su aprobación.

Atentamente,

  
Ingã. Qca. Telma Maricela Cano Morales  
Colegiado 433

ASESORA  
Supervisora de Laboratorio, Sección Química Industrial/CII



Guatemala, 14 de febrero de 2008.

Ingeniero Williams Álvarez  
Director Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería


Respetable Ingeniero Álvarez.

Por la presente me permito informarle que he revisado el informe final del trabajo de graduación titulado: "DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS EN EL ASERRADERO DE LA ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS FORESTALES DE PETÉN", desarrollado por el estudiante de ingeniería química Pablo Alberto Tezén Roldán, carné No. 9514065.

Después de haber realizado la revisión antes referida, y efectuadas las correcciones pertinentes, considero que llena los requisitos necesarios para su aprobación.

Atentamente,

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"



Ing. For. M.Sc. José Mario Saravia Molina  
Colegiado 637  
Asesor  
Profesor Titular Facultad de Agronomía, USAC



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA**

---

Guatemala, 12 de marzo del 2008  
Ref. EIQ.084.2008

Ingeniero  
**Williams Guillermo Álvarez Mejía**  
DIRECTOR  
Escuela de Ingeniería Química  
Facultad de Ingeniería  
Presente.

Estimado Ingeniero Álvarez:

Como consta en el Acta TG-015-08-B-IF le informo que reunidos los Miembros del Tribunal nombrado por la Escuela de Ingeniería Química, se practicó la revisión del informe final del trabajo de graduación, para optar al título de INGENIERO QUÍMICO al estudiante universitario **PABLO ALBERTO TEZÉN ROLDÁN**, identificado con carné No. **95-14065**, titulado: **DETERMINACION DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS EN EL ASERRADERO DE LA ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS FORESTALES DE PETÉN**, el cual ha sido asesorado por la Ingeniera Química, Telma Maricela Cano Morales como consta en el Acta.

Habiendo encontrado el referido informe final **satisfactorio**, se procede a recomendarle autorice al estudiante **Tezén Roldán** proceder con los trámites requeridos de acuerdo a normas y procedimientos establecidos por la Facultad para su autorización e impresión.

"ID Y ENSEÑAD A TODOS"

Inga. Teresa Lisely de León Arana, M.Sc.

COORDINADORA  
Tribunal que revisó el informe final  
Del trabajo de graduación




ESCUELA DE  
INGENIERIA QUIMICA

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS  
DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

El Director de la Escuela de Ingeniería Química Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía M. Sc. Después de conocer el dictamen del Asesor con el Visto Bueno del Jefe del Departamento al trabajo de Graduación del estudiante **Pablo Alberto Tezén Roldán** titulado: **“DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS EN EL ASERRADERO DE LA ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS FORESTALES DE PETÉN”**, procede a la autorización del mismo.

  
Ing. Williams Guillermo Álvarez Mejía  
DIRECTOR ESCUELA INGENIERIA QUÍMICA



Guatemala, abril de 2,008



Universidad de San Carlos  
de Guatemala



Facultad de Ingeniería  
Decanato

Ref. DTG.113.08

El Decano de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala, luego de conocer la aprobación por parte del Director de la Escuela de Ingeniería Química, al trabajo de graduación titulado: **DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS EN EL ASERRADERO DE LA ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS FORESTALES DE PETÉN**, presentado por la estudiante universitaria **Pablo Alberto Tezén Roldán**, procede a la autorización para la impresión del mismo.

IMPRÍMASE.

A large, handwritten signature in black ink, appearing to read 'Murphy Olimpo Paiz Recinos'.

Ing. Murphy Olimpo Paiz Recinos  
DECANO

Guatemala, abril de 2008



/cc



## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	VII
<b>LISTA DE SÍMBOLOS</b>	XI
<b>GLOSARIO</b>	XIII
<b>RESUMEN</b>	XV
<b>HIPÓTESIS</b>	XVII
<b>OBJETIVOS</b>	XIX
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XXI
<b>1 ANTECEDENTES</b>	1
<b>2 MARCO TEÓRICO</b>	5
2.1 Taninos	5
2.2 Clasificación de taninos	6
2.2.1 Taninos hidrolizables	6
2.2.1.1 Galotaninos	7
2.2.1.2 Elagitaninos	7
2.2.2 Taninos Condensados	7
2.2.3 Taninos fisiológicos	8
2.2.4 Taninos patológicos	8
2.3 Extracción de curtientes vegetales	8
2.3.1 Molienda	9
2.3.2 Extracción	9
2.3.2.1 Procedimientos rurales	9
2.3.2.2 Procedimientos industriales	10
2.3.2.2.1 Difusión en tanque abierto	10
2.3.2.2.2 Colado	11

2.3.2.2.3	Cocción	11
2.3.2.2.4	Autoclave	12
2.3.2.2.5	Contracorriente o sistema de lixiviación	12
2.3.3	Filtrado	13
2.3.4	Decoloración	13
2.3.5	Evaporación	14
2.4	Presentación de taninos	14
2.4.1	Concentrados líquidos	14
2.4.2	Extracto en polvo	14
2.5	Concentraciones más comunes de taninos	15
2.6	Funciones en las plantas	15
2.7	Lixiviación	16
2.7.1	Operaciones en estado no estacionario	17
2.7.2	Velocidad de extracción	18
<b>3</b>	<b>METODOLOGÍA</b>	19
3.1	Localización	19
3.2	Recursos humanos	19
3.3	Materiales	19
3.3.1	Materia prima	19
3.3.2	Cristalería	20
3.3.3	Equipo	20
3.4	Metodología experimental	20
3.4.1	Diseño de tratamientos	20
3.4.2	Diseño experimental	21
3.4.3	Distribución aleatoria del orden de los experimentos	21
3.4.4	Procedimiento	23
3.4.4.1	Extracción de taninos con agua desmineralizada	23
3.4.4.2	Extracción con solución acuosa de sulfito de sodio al 2%	25

3.4.5	Análisis cualitativos	25
3.4.5.1	Reacción a la solución acuosa de gelatina al 1%	25
3.4.5.2	Reacción a la solución acuosa de gelatina-NaCl al 1% y 10% respectivamente	26
3.4.5.3	Reacción al cloruro férrico	26
3.4.6	Análisis cuantitativos	27
3.4.6.1	Determinación del porcentaje de taninos por el método de Stiasny	27
<b>4</b>	<b>ANÁLISIS ESTADÍSTICO</b>	<b>29</b>
<b>5</b>	<b>RESULTADOS</b>	<b>35</b>
<b>6</b>	<b>DISCUSIÓN DE RESULTADOS</b>	<b>41</b>
	CONCLUSIONES	47
	RECOMENDACIONES	49
	BIBLIOGRAFÍA	51
	APÉNDICE A	53
	APÉNDICE B	55
	APÉNDICE C	57
	APÉNDICE D	59
	APÉNDICE E	61
	APÉNDICE F	63
	APÉNDICE G	67
	APÉNDICE H	73
	APÉNDICE I	75



## ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

### FIGURAS

1.	Mezcla solvente corteza en calentamiento	24
2.	Extracto tánico obtenido	24
3.	Comparación de soluciones de extracto tánico con y sin FeCl <sub>3</sub>	27
4.	Calentamiento a reflujo	27
5.	Taninos obtenidos por el método de Stiasny	28
6.	Comportamiento general para el promedio del porcentaje de extracto tánico obtenido de la corteza de las 5 especies forestales en función del solvente utilizado	35
7.	Comportamiento general para el promedio del porcentaje de taninos obtenido de la corteza de las 5 especies forestales en función del solvente utilizado	36
8.	Comparación del valor de $F_{0.05, v_1, v_2}$ obtenido de la tabla de análisis de varianza con el valor tabulado en tablas	38

### TABLAS

I.	Resultados generales de los análisis cualitativos realizados a los extractos tánicos obtenidos con agua desmineralizada como solvente de extracción.	37
----	--	----

II.	Resultados generales de los análisis cualitativos realizados a los extractos tánicos obtenidos con solución acuosa de sulfito de sodio al 2% como solvente de extracción.	37
III.	Comparación de medias de Tukey. Cuadro de subgrupos homogéneos para la media del porcentaje de extracto tánico obtenido.	38
IV.	Comparación de medias de Tukey. Cuadro de subgrupos homogéneos para la media del porcentaje de contenido de taninos obtenido.	39
V.	Extractos tánicos obtenidos (en gramos) para muestras de 100 gramos de corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes.	63
VI.	Rendimiento en el extracto tánico. Taninos obtenidos (en gramos) para muestras de 1 gramo de extracto tánico obtenido de la corteza de las 5 especies forestales utilizando 2 solventes para la obtención del extracto tánico.	64
VII.	Resultados obtenidos para las pruebas cualitativas realizadas a los extractos obtenidos utilizando como solvente agua desmineralizada.	65
VIII.	Resultados obtenidos para las pruebas cualitativas realizadas a los extractos obtenidos utilizando como solvente solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.	66
IX.	Tabla para el análisis de varianza del porcentaje de extracto tánico obtenido de la corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes.	67
X.	Tabla para el análisis de varianza del porcentaje de taninos obtenidos de la corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes.	68



XI.	Tabla de análisis de varianza del porcentaje de extracto tánico obtenido de la corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes (modelo bifactorial).	69
XII.	Tabla de análisis de varianza del porcentaje de taninos obtenido de la corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes (modelo bifactorial).	69
XIII.	Tabla de comparaciones múltiples de medias de Tukey para el porcentaje de extracto tánico obtenido.	70
XIV.	Tabla de comparaciones múltiples de medias de Tukey para el porcentaje de taninos obtenido.	71



## LISTA DE SÍMBOLOS

<b>°C</b>	Hace referencia a temperatura medida en grados Celsius.
<b>FeCl<sub>3</sub></b>	Cloruro férrico.
<b>kPa</b>	Corresponde a presión medida en kilopascales.
<b>m<sup>3</sup></b>	Volumen medido en metros cúbicos.
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dióxido de azufre.
<b>CO<sub>2</sub></b>	Dióxido de carbono.
<b>cm</b>	Longitud medida en centímetros.
<b>g</b>	Masa medida en gramos.
<b>a<sub>n</sub></b>	Hace referencia a la especie forestal utilizada.
<b>b<sub>n</sub></b>	Hace referencia al solvente utilizado.
<b>mL</b>	Volumen medido en mililitros.
<b>NaCl</b>	Cloruro de sodio.
<b>%</b>	Símbolo para denotar porcentaje.
<b>DAP</b>	Diámetro a la altura del pecho.
<b>m</b>	Longitud medida en metros.
<b>mm</b>	Longitud medida en milímetros.
<b>Sol.</b>	Solución.
<b>Ac.</b>	Acuosa.
<b>Gel.</b>	Gelatina.

**Fo** Valor correspondiente a la tabla de distribución  $f$ .

## GLOSARIO

- Amorfo:** Sin forma regular o bien determinada.
- Astringente:** Sustancia, como el alumbre, que se utiliza para contraer tejidos y reducir el moco y otras secreciones. Los astringentes vegetales contienen taninos.
- Difusión:** Flujo de materia desde una zona de mayor concentración a otra de menor concentración, tendente a producir una distribución homogénea.
- Dímero:** Molécula formada por dos unidades de la misma estructura química. La sacarosa es un dímero de glucosa y fructosa.
- Febrífugas:** Referente a sustancias que tienen la propiedad de quitar la fiebre.
- Fungicida:** Sustancias tóxicas que se emplean para impedir el crecimiento o para matar los hongos perjudiciales para las plantas, los animales o el hombre.
- Gambas:** Nombre común de diversos crustáceos decápodos (con diez patas) similares al langostino pero más pequeños.
- Hidrolizar:** Desdoblamiento de una molécula, por acción del agua o por presencia de un ácido.

- Lignina:** Polímero aromático amorfo que se encuentra en las paredes primarias y secundarias de las células de los tejidos de la madera y les da consistencia.
- Liofilizar:** Separar el agua de una sustancia o de una disolución, mediante congelación y posterior sublimación a presión reducida del hielo formado, para dar lugar a un material esponjoso que se disuelve posteriormente con facilidad; se utiliza en la deshidratación de materiales biológicos y otros productos sensibles al calor.
- Lixiviación:** Separación por medio del agua u otro disolvente, de una sustancia soluble de una insoluble en dicho disolvente.
- Súber:** Tejido vegetal con funciones de protección, que sustituye a la epidermis cuando se produce crecimiento secundario.
- Testa:** Cubierta externa de la semilla, derivada del tegumento y de consistencia y dureza variables.
- Vermífuga:** Que tiene la propiedad de matar o expulsar las lombrices intestinales.

## RESUMEN

Se evaluó a nivel laboratorio el contenido tánico en la corteza clasificada como residuo de la actividad del aserrío de cinco de las especies forestales que se aprovechan en el aserradero de la ACOFOP (Asociación de Cooperativas Forestales de Petén), siendo estas caoba (*Swietenia macrophylla* K.), cedro (*Cedrela odorata* L.), manchiche (*Lonchocarpus phaseolifolius* B.), pucte (*Terminalia hayesii* P.) y Santa María (*Calophyllum brasiliense* C.).

Para la obtención de los extractos se utilizaron muestras de 100 gramos de la corteza clasificada como residuo de cada una de las especies forestales y se sometieron a un proceso de secado, molienda y tamizado. El extracto de estas muestras fue obtenido utilizando la técnica de maceración con agitación continua de una sola etapa utilizando para ello dos tipos de solvente, solución acuosa de sulfito de sodio al 2% y agua desmineralizada en una relación de 1:5 de corteza y solvente.

Los extractos obtenidos fueron evaporados y secados para ser sometidos posteriormente a pruebas cuantitativas y cualitativas que permitieron determinar el porcentaje del contenido de extracto tánico y de taninos presentes en cada una de las muestras y determinar la clase de tanino que predomina en cada muestra.

Se obtuvo la mayor cantidad de extracto tánico en la especie forestal caoba, 8.67 % al utilizar agua desmineralizada como solvente de extracción y 19.53 % al utilizar una solución acuosa de sulfito de sodio al 2 %. En esta misma especie se encontró el mayor contenido de taninos, 5.8 % y 12.83 % al utilizar agua desmineralizada y la solución acuosa de sulfito de sodio respectivamente. El rendimiento promedio para estos

extractos tánicos fue de 69.17 % y 64.04 % respectivamente. También se encontró que para esta especie los taninos predominantes son de tipo hidrolizable.



# **HIPÓTESIS**

## **Hipótesis general**

Entre las cinco especies forestales a utilizar, debe existir diferencia estadísticamente significativa entre sus respectivos porcentajes de extracto tánico y de taninos obtenidos de sus respectivas cortezas calificadas como residuo en la actividad de aserrío de la Asociación de Cooperativas Forestales de Petén (ACOFOP).

## **Hipótesis estadística**

Hipótesis nula:  $H_0$

No existe diferencia significativa en el porcentaje de extracto tánico y de taninos obtenidos de las cortezas clasificadas como desechos de la actividad de aserrío entre las cinco especies forestales a utilizar independientemente de que solvente se utilice.

Hipótesis alternativa:  $H_1$

Si existe diferencia significativa en el porcentaje de extracto tánico y de taninos obtenidos de las cortezas clasificadas como desechos de la actividad de aserrío entre las cinco especies forestales a utilizar dependiendo de que solvente se utilice.



## **OBJETIVOS**

### **General**

Determinar el contenido tánico de la corteza calificada como residuo de la actividad del aserrío de cinco especies forestales: caoba, cedro, manchiche, pucte y santa maría aprovechadas por el aserradero de la Asociación de Cooperativas Forestales de Petén (ACOFOP).

### **Específicos**

1. Determinar el contenido de extracto tánico de cada una de las especies forestales a evaluar utilizando la técnica de maceración dinámica de una sola etapa.
2. Comprobar la presencia de taninos en el extracto obtenido por medio de pruebas cualitativas de identificación de taninos.
3. Determinar el contenido tánico de cada una de las cinco especies forestales a evaluar por medio de la prueba cuantitativa denominada método de Stiasny.
4. Comparar la cantidad de extracto tánico y de taninos obtenidos para cada especie en función de dos solventes empleados, a saber, agua desmineralizada y solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.
5. Determinar si estadísticamente son significativos los efectos principales de la especie forestal y el solvente elegido y si existe una interacción significativa entre ambos efectos para la cantidad de extracto tánico y de taninos obtenidos.

6. Determinar mediante el análisis de comparación de medias de Tukey cuál o cuáles de las cinco especies forestales tiene el mayor contenido de extracto tánico y de taninos.

## INTRODUCCIÓN

Entre las especies forestales que se aprovechan en el aserradero de la ACOFOP (Asociación de Cooperativas Forestales de Petén) se encuentran la caoba (*Swietenia macrophylla* K.), el cedro (*Cedrela odorata* L.), el manchiche (*Lonchocarpus phaseolifolius* B.), el pucte (*Terminalia hayesii* P.) y el Santa María (*Calophyllum brasiliense* C.). Esta actividad genera como residuo la corteza de estas especies forestales la cual, se supone, contiene taninos.

En el presente trabajo se hizo una cuantificación del contenido de taninos en la corteza generada como residuo utilizando para la extracción dos solventes distintos, solución acuosa de sulfito de sodio al 2% y agua desmineralizada.

Obtenido el extracto tánico se hicieron análisis cualitativos para identificar la naturaleza de los taninos contenidos en la corteza de cada especie y también se hicieron análisis cuantitativos al extracto tánico para determinar el porcentaje de taninos presentes en la corteza de cada especie. Adicionalmente se hicieron comparaciones estadísticas entre el contenido tánico de las cinco especies.

Finalmente, se determinó cuál de las cinco especies estudiadas tiene el más alto porcentaje de taninos.



## 1. ANTECEDENTES

Los taninos vegetales han adquirido gran importancia a través de los años conforme se ha profundizado en su investigación y encontrado aplicaciones tan variadas. En los últimos años se han realizado diversas investigaciones referentes a taninos, algunas de ellas por tesis de la Escuela de Ingeniería Química de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de San Carlos de Guatemala. Akú Ramírez en “Evaluación del contenido tánico en la corteza de dos especies forestales guatemaltecas, mangle colorado (*Rhizophora mangle*) y pino blanco (*Pinus ayacahite*), por medio de dos métodos de extracción” elaborado en octubre de 2000, evaluó el contenido tánico de las dos especies forestales mencionadas a diferentes ubicaciones a lo largo del árbol, utilizando dos métodos de extracción, con el objeto de determinar a qué altura y con qué solventes se obtiene mejores resultados. Para la obtención de los extractos se utilizaron muestras de corteza provenientes de alturas de 1.30 m, 7.30 m y 10.0 m para la especie mangle colorado y 1.30, 7.30 y 8.05 m para la especie pino blanco. La corteza residual se sometió a dos extracciones más en iguales condiciones que la primera cuando el solvente utilizado fue agua destilada y cuando se utilizó como solvente una solución acuosa de sulfito de sodio al 1%, la corteza residual fue sometida a una segunda extracción en iguales condiciones que la primera. Se determinó que la mayor cantidad recuperada de extractos curtientes se obtuvo al realizar las extracciones con solución acuosa de sulfito de sodio al 1% en la especie pino blanco a 1.30 m de altura de la toma de muestra, siendo 25.47 g la cantidad recuperada lo que equivale a 50.94% de rendimiento.

En “Comparación del porcentaje de extracto tánico de la corteza y de la madera de encino (*Quercus tristis liebm*) proveniente de un bosque natural” elaborado en noviembre de 2004, Gómez Orozco extrajo taninos de la corteza y madera del encino,

tomando para ello muestras de cuatro árboles diferentes de encino, para realizar una comparación en los porcentajes de extracto tánico obtenido en cada extracción realizada, evaluando si la concentración de taninos en esa especie es uniforme, tanto en la corteza como en la madera. Se determinó que el porcentaje de rendimiento de extracto tánico para la corteza es de 12.95% y para la madera es de 1.95%; así como también que los taninos extraídos tanto de la corteza como de la madera en su mayoría son del tipo condensado catéquico; también llegó a determinar que el extracto tánico de la corteza tiene un 61.15% de tanino, mientras que el extracto tánico de la madera tiene un 16.15% de tanino. Estas extracciones fueron realizadas en un rango de temperatura de 25 a 70°C y a presión atmosférica local.

Equité de León, en “Determinación del contenido de taninos en el extracto tánico de la corteza de gmelina (*Gmelina arborea roxb*), utilizando dos métodos de extracción a nivel laboratorio” elaborado en mayo 2004 determinó el contenido de taninos en extracto tánico de corteza de gmelina partiendo de tres diferentes alturas del árbol, por medio de dos métodos de extracción, utilizando agua como solvente para el primer método y solución acuosa de sulfito de sodio al 2% para el segundo método. Utilizó muestras de corteza proveniente de las alturas promedio de 1.30 m, 4.83 m, y 11.16 m. La corteza fue sometida a tres extracciones para cada método utilizado. La mayor recuperación de extracto tánico se observó en las extracciones con solución acuosa de sulfito de sodio al 2% para 1.3 m, y el mayor porcentaje de ácido tánico se dio al utilizar el agua como solvente para la altura de 1.3 m.

Suchini Leytan en mayo 2002 en “Comparación de rendimientos de dos métodos de extracción de taninos (ácido pinutánico) a partir de la corteza del pino caribe (*Pinus caribaea*) a nivel laboratorio” realizó una comparación de los rendimientos de extracción de taninos por dos métodos. El método I, extracción sucesiva (varias etapas) utilizando soxhlet; y el método II, extracción con maceración mecánica (una etapa) utilizando como extractor distintas concentraciones de solución acuosa de sulfito de



sodio anhidro. Se obtuvieron rendimientos de taninos con el método I de 1.55% y con el método II de 1.52% correspondiente a la solución acuosa de sulfito de sodio con una concentración del 2%.

En octubre de 1994, Specher de León en “Estudio de la extracción de divi-divi para uso industrial en Guatemala” Determinó que el extracto proveniente de los frutos de un arbusto abundante en Guatemala, *Caesalpinia coriaria*, tiene una cantidad importante de un tanino vegetal llamado divi-divi, el cual es un tanino hidrolizable de la familia de los elagenotaninos. Además, estudió mediante ensayos industriales de curtición y recurtición de cuero, el poder curtiente del extracto obtenido. Del extracto obtenido determinó su porcentaje de taninos, mediante el análisis oficial de taninos de la Asociación Americana de Químicos y Curtidores, obteniendo un 41.3%, resultado que indicó que el arbusto referido es un producto aún no explotado en nuestro país. El divi-divi mostró ser un buen curtiente de suela en combinación con otro tanino vegetal, si se emplea individualmente el cuero tiende a romperse al flexionarse. Como recurtiente confirió buenas propiedades al cuero tanto empleado individualmente o en combinación con otro tanino vegetal.

En octubre de 2002, Saravia Molina *Et. Al.* en “Extracción y caracterización de taninos en corteza de 3 especies forestales cultivadas en Guatemala, pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede), encino negro (*Quercus brachystachys* Benth) y aliso común (*Alnus jorulensis* HBK). Una alternativa de desarrollo agroindustrial para el uso de taninos naturales” realizaron un experimento bifactorial en bloques al azar, donde cada especie es un bloque, al que se le evaluó la influencia en el porcentaje de extracto tánico de dos factores: edad del árbol y altura a la cual se obtuvo la corteza. El material tánico se obtuvo mediante extracciones sucesivas con agua y con solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. Reportaron un rendimiento promedio de extracto tánico total a escala de laboratorio de 51.27% para el pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede), 45.07% para encino negro (*Quercus brachystachys* Benth) y 42.36% para aliso común (*Alnus jorulensis*

HBK). Realizaron también análisis cualitativos a los extractos obtenidos: reacción con cloruro férrico y con acetato de plomo. Estas pruebas resultaron positivas para todos los extractos, lo que confirmó la presencia de taninos.

En octubre de 2004, Saravia *Et. Al.* en “Determinación del potencial curtiente de los taninos extraídos de la corteza de dos especies forestales nativas guatemaltecas” evaluaron la capacidad recurtiente de los taninos extraídos de dos especies forestales guatemaltecas: Encino (*Quercus brachystachys* Benth) y aliso (*Alnus jorulensis* HBK), comparándolos con un producto importado, el quebracho (*Schinopsis quebrachocolorado* (Schlecht) Baril, Et. Meyer). Utilizando el método de extracción en una sola etapa con solución acuosa de sulfito de sodio al 2%, en planta piloto, se obtuvo un 20.28% de rendimiento de extracto tánico de encino negro y un 26.88% de rendimiento de extracto tánico de aliso común. Se caracterizaron los productos tánicos obtenidos y se determinó que el extracto tánico de encino negro tiene un 42% de taninos y el extracto tánico de aliso tiene un 48% de taninos. Dichos extractos fueron aplicados en el proceso de curtición convencional de 6 pieles de ganado vacuno por cada extracto y se comparó con el producto tánico de importación obtenido del quebracho. Se determinaron las propiedades físico mecánicas de las pieles curtidas y se estableció que en términos generales, la calidad lograda de los cueros es independiente de la especie de donde es obtenido el extracto tánico: quebracho, aliso o encino. La calidad de los cueros obtenidos permite utilizarlos en la industria de calzado para uso cotidiano según la norma UNI 10,594 (características y requisitos del cuero destinado a la industria del calzado, según criterios manejados en Italia).

## 2. MARCO TEÓRICO

### 2.1. Taninos

Los taninos son una mezcla variable y compleja de compuestos químicos, de sabor amargo y astringente, pero en general, son ésteres de un azúcar con un número variable de ácidos fenólicos. Uno de los componentes más comunes de los taninos es el pentagalactoglucosa. A estas mezclas de ésteres fenólicos se les conoce como ácido tánico. Los taninos tienen la propiedad de formar complejos con macromoléculas, particularmente con las proteínas; así forman enlaces colocándose entre las fibras de colágeno de la piel de los animales, por lo que se usan para curtir la piel, dándole flexibilidad y resistencia. Son solubles en agua, acetona y alcohol, e insolubles en éter, benceno y cloroformo. Se oxidan al contacto con el aire, son inodoros y de sabor agrio. Reaccionan con el cloruro férrico y otras sales. Cuando se calientan a 210° C se descomponen produciendo dióxido de carbono y pirogalol. Son poco tóxicos por ingestión o inhalación.

Los taninos son sustancias que se producen en diversas partes de las plantas como por ejemplo: corteza, frutos, hojas, raíces y semillas, pero con particular abundancia en las excreciones patológicas provocadas por ciertos insectos, conocidas comúnmente con el nombre de agallas. A pesar de tener un origen común, la especificidad de las plantas le da a los taninos diferencias en color, calidad y concentración.

Los taninos son polímeros polifenólicos producidos en las plantas como compuestos secundarios y que tienen la habilidad de formar complejos con proteínas, polisacáridos, ácidos nucleicos, esteroides, alcaloides y saponinas, desempeñando en las plantas una acción defensiva frente a los insectos.

Los taninos son un grupo de sustancias complejas que están ampliamente distribuidas en el reino vegetal, en casi todas las familias. Los taninos se presentan en especies de familias vegetales de todo el mundo, se han identificado aproximadamente 500 especies de plantas que contienen varias cantidades de taninos. Entre las principales familias botánicas con importancia en la obtención de taninos se pueden citar a las siguientes: *Leguminosae*, *Rosaceae*, *Polygonaceae*, *Fgaceae*, *Rhyzophoraceae* y *Myrtaceae*. Algunos géneros como las acacias (*Acacia spp.*), los encinos (*Quercus spp.*) y algunos pinos (*Pinus spp.*) que habitan bosques de pino y encino o zonas de transición son importantes en la producción de estos productos.

## **2.2 Clasificación de taninos**

La clasificación de los taninos se hace con base en los siguientes dos criterios:

1. Productos resultantes de la destilación seca: taninos hidrolizables o pirogálicos y taninos condensados.
2. Origen: taninos fisiológicos y taninos patológicos.

### **2.2.1 Taninos hidrolizables**

Son ésteres fácilmente hidrolizables formados por una molécula de azúcar (en general glucosa) unida a un número variable de moléculas de ácidos fenólicos (ácido gálico o su dímero, el ácido elágico). Son comunes de observar en plantas dicotiledóneas. Cuando se destilan en seco producen pirogalol. Dan coloración azul con el  $\text{FeCl}_3$ . No precipitan con soluciones de bromo. Sus núcleos bencénicos están unidos por medio de átomos de oxígeno. Se hidrolizan con facilidad por la acción de los ácidos, bases o enzimas, en un azúcar, un polialcohol y un ácido fenolcarboxílico. Dependiendo del tipo de ácido que produce por la reacción se subdividen en galotaninos (ácido gálico) y elagitaninos (ácido elágico).

### **2.2.1.1 Galotaninos**

Estos están caracterizados por la presencia de ácido galotánico o ácido gálico. Como ejemplo, se puede mencionar al que se obtiene de los frutos de *Caesalpinia spinosa* (nombre común: tara). Este tanino es fácilmente hidrolizable por la acción de la enzima tanasa. Esto permitió asignar la estructura de un éster poligaloílico del ácido químico a dicho tanino, con un peso molecular aproximado de 800. Es común en las agallas del encino y en la raíz del zumaque.

### **2.2.1.2 Elagitaninos**

Su componente principal es el ácido elágico. Como ejemplo, se puede citar al corilagin, primer tanino aislado de este tipo, obtenido de *Caesalpinia coriarea* (nombre común: dividivi) y *Terminalia chebula* (nombre común: microbálano). El isorugosin B, aislado de liquidambar, es otro ejemplo.

### **2.2.2 Taninos condensados**

Los taninos condensados son derivados de unidades de flavan-3,4-dioles (leucoantocianidinas o proantocianidinas monómeras), conocidos actualmente también como proantocianidinas condensadas. Al ser tratados con ácidos en caliente se origina una polimerización progresiva hasta dar taninos amorfos llamados flobafenos o taninos rojos. Dan coloración verde con el  $\text{FeCl}_3$ . Precipitan con soluciones de bromo. Ejemplos de este tipo de taninos se encuentran en la corteza de mimosa (*Acacia mollissima willd*), en la madera de quebracho (*Schinopsis lorenzii*), en la corteza de mangle (*Rhizophora mangle*), en las hojas de lentisco (*Pistacia lentiscus*), en la madera del castaño (*Castanea sativa*), entre otros. Los taninos condensados presentes en leguminosas tropicales se encuentran en tres formas principales: extractables (reactivos con proteína), ligados a proteínas y ligados a fibra. Existen leguminosas donde todos los

taninos son extractables (*Acacia boliviana*) y en otras donde todos son ligados (*Gliricidia sepium*).

Se ha demostrado que el secado de una muestra puede afectar la distribución de taninos en el tejido de una planta. Por ejemplo, se ha observado que en varias leguminosas secadas al horno a 60° C hubo una reducción de taninos extractables y un aumento de taninos ligados en comparación con muestras liofilizadas.

### **2.2.3 Taninos fisiológicos**

Son el resultado de las funciones metabólicas propias de la planta.

### **2.2.4 Taninos patológicos**

Son una respuesta al ataque de insectos, ya sea por ovo posición o por picadura.

## **2.3 Extracción de curtientes vegetales**

La obtención de curtientes vegetales comprende cinco fases básicas:

- Molienda
- Extracción
- Filtrado
- Decoloración
- Evaporación

### **2.3.1 Molienda**

Las partes vegetales a utilizar se machacan en molinos hasta la obtención de virutas o astillas de pequeñas dimensiones. En el caso de la madera se utilizan máquinas desmenuzadoras.

### **2.3.2 Extracción**

Para la extracción se tienen procedimientos de tipo rural y de tipo industrial.

#### **2.3.2.1 Procedimientos rurales**

Las pilas de curtición son cubas o barriles de madera, aunque también se emplean ollas grandes de barro cocido. El procedimiento se describe a continuación.

Se llenan con el material triturado o machacado seis recipientes. El primer día se vierte agua en la primera vasija cubriendo el material. El segundo día, el jugo producido en la primera vasija (A) se vacía en la segunda vasija (B) adicionando agua caliente sobre el material desintegrado en la vasija (A), para su segunda lixiviación. El tercer día, el líquido de la vasija (B) se pasa a la tercera (C), la solución de la vasija (A) se vierte en la (B), en seguida se agrega agua en la vasija (A). El proceso se repite durante siete días, a razón de una vasija por día, al final el material de la primera vasija se habrá lixiviado seis veces, de tal manera que el contenido de la sexta vasija (F) presenta la máxima concentración. El séptimo día el líquido se integra al depósito de reserva. El material agotado de la primera vasija (A) se tira, después de haber vertido su contenido en la vasija (B), se le agrega material triturado nuevo y el líquido de la vasija (E), el cual fue previamente pasado por la cuba de reposición (E-ST). En la quinta vasija (E) se vierte el contenido de la vasija (C), en la sexta (F) el de la cuarta (D) y en ésta la de la segunda (B), a la que se le agrega agua. Durante el octavo día, el líquido de la vasija (A)

se pasa filtrado al depósito de reserva y al material residual se le adiciona el jugo de la quinta vasija (E); a la quinta (E) el de la tercera (C) y a éste se le agrega agua. El líquido de la segunda (B) pasa a la cuarta vasija (D) y el material residual se vacía a la sexta vasija (F). El proceso continúa hasta el duodécimo día, de tal manera que el decimotercero día se estarán realizando las mismas actividades del séptimo día.

Es importante que durante el proceso se observen algunas reglas básicas. El jugo curtiente no debe tener en ningún momento contacto con hierro o con cal; los instrumentos de trabajo y recipientes empleados sólo podrán ser de madera, barro, cobre, latón o cestería. El agua usada para la lixiviación es la de lluvia o de río, en general será blanda y limpia, de ser necesario hay que filtrarla. En la lixiviación el material vegetal se cubrirá completamente con el agua para evitar la oxidación.

### **2.3.2.2 Procedimientos industriales**

#### **2.3.2.2.1 Difusión en tanque abierto**

Método adecuado para la extracción de jugos curtientes a partir de corteza, frutos y hojas; el material desmenuzado se coloca en una serie de grandes depósitos de madera o cobre con agua calentada con vapor. Los recipientes se llenan a diferentes tiempos, en rotación, de tal forma que se establezca una contracorriente, en la que el agua nueva entre en contacto con el material más lixiviado. El agua circula a contracorriente con los sólidos, de manera que progresivamente se enriquece en el componente soluble de la sustancia tratada, hasta que al final rebosa del primer compartimiento más o menos concentrada. De forma análoga la sustancia por lixiviar al avanzar hacia el último compartimiento se pone en contacto con soluciones cada vez más débiles y su contenido de compuestos solubles va disminuyendo. La temperatura del agua del depósito que contiene el material nuevo debe ser de 60°C, aunque en algunas fábricas se calienta hasta 82°C; para la extracción de taninos de cortezas se recomienda conservar la temperatura



por debajo del punto de ebullición, pues al hervir se propicia la precipitación de compuestos insolubles con la consecuente pérdida de taninos y el oscurecimiento del producto. Este proceso de difusión en tanque abierto tarda de tres a cuatro días.

#### **2.3.2.2.2 Colado**

Recomendado para la obtención de jugos curtientes de cortezas y hojas; consiste en llenar un depósito con el material vegetal desmenuzado y someterlo a una corriente de vapor. A continuación se rocía con agua caliente y el líquido resultante se retira a través del fondo del depósito. En comparación con el método de tanque abierto, el de colado se completa en la mitad del tiempo.

#### **2.3.2.2.3 Cocción**

Método utilizado para extraer taninos de la madera; el material se reduce a partículas pequeñas en astilladoras parecidas a las que se emplean en la manufactura de pulpa para papel y combustible, aunque con mayor desmenuzamiento. El proceso consiste en hervir la madera en depósitos dispuestos en serie o batería, un depósito se llena con líquido casi saturado y en él se sumerge la madera, se calienta hasta alcanzar la máxima concentración posible, se retira y el depósito se llena con el líquido del depósito precedente; de tal manera que el líquido del primer depósito pasa al segundo, de éste al tercero y así sucesivamente hasta el depósito final. El tiempo de extracción es de un día.

#### **2.3.2.2.4 Autoclave**

El proceso utiliza temperaturas superiores al punto de ebullición del agua, en autoclaves de cobre que operan a presiones de 200 kPa. dispuestas en batería de ocho unidades, cada una de las cuales contiene 2.5 m<sup>3</sup> de madera desmenuzada. Las autoclaves modernas están provistas de fondos caedizos operados por cilindros hidráulicos que reducen el ciclo de descarga y carga a tres minutos. El método es económico porque usa menos agua y el tiempo de difusión es de sólo 45 minutos. En este procedimiento los residuos pueden emplearse en la manufactura de papel, tableros aglomerados y combustible. Por otra parte, el calentamiento induce la formación de tanato de hierro (compuesto insoluble de color rojo), por lo que en la última etapa se agrega sulfito sódico o disulfito sódico y se mantienen en agua fría.

#### **2.3.2.2.5 Contracorriente o sistema de lixiviación**

La sustancia a tratar se introduce en el primer compartimiento, colocado en el extremo de rebosamiento del tanque, el residuo de la lixiviación se descarga en el último compartimiento, el disolvente se adiciona en éste y la solución concentrada que contiene el componente soluble sale por un vertedero colocado en el primer compartimiento. El disolvente circula a contracorriente de la sustancia tratada hasta que al final rebosa del primer compartimiento en forma más o menos concentrada.

El clasificador de plataformas múltiples es el principal aparato normalizado que aplica el principio de circulación continua a contracorriente; consiste en una serie de dos o más clasificadores unidos e impulsados por un mismo mecanismo; utiliza un solo tanque dividido en dos a seis compartimientos de lavado con sus correspondientes plataformas de escurrimiento.

### **2.3.3 Filtrado**

Los diferentes métodos de extracción producen líquidos concentrados de color muy oscuro con pequeñas impurezas no tánicas, por lo que es indispensable filtrarlos hasta que se tornen translúcidos. Para ello se usan filtros prensa con lonas finas, las lonas se colocan sobre los marcos de los filtros y se inicia la filtración mediante una bomba. Conforme las lonas se tapan, se incrementa la presión y por último se inyecta agua caliente para lavar los polvos que reciben el nombre genérico de cachaza.

### **2.3.4 Decoloración**

Los líquidos concentrados y filtrados que se reciben en los tanques de almacenamiento son de color rojo moreno, por lo que se deben someter a un proceso de evaporación directa, o bien a un tratamiento químico a base de dióxido de azufre para decolorarlos.

La sulfitación de los extractos tánicos se realiza mediante dos sistemas. El sistema escalera, en el cual los líquidos van cayendo por gravedad y en sentido contrario asciende la concentración de  $\text{SO}_2$ , que es equivalente al proceso de cascada. El otro sistema se lleva a cabo en una torre de 15 a 30 metros de altura, llena de piedras calizas y silicosas entre las que desciende lentamente el líquido por sulfitar y asciende también de forma lenta el  $\text{SO}_2$ , mismo que es inyectado en la torre a través de una pequeña regadera y una bomba a presión.

### **2.3.5 Evaporación**

Se realiza en tanques abiertos o cerrados y al vacío con calentamiento directo o mediante vapor, en el caso de líquidos decolorados no es recomendable el uso de tanques abiertos porque se emite a la atmósfera CO<sub>2</sub>. Generalmente, los tanques se evaporan a sequedad, están provistos de un agitador interior que de manera constante raspa el fondo para evitar que el tanino se pegue. Si el calentamiento es directo se favorece la carbonización del extracto.

## **2.4 Presentación de taninos**

Los taninos pueden presentarse de la siguiente manera.

### **2.4.1 Concentrados líquidos**

Son de consistencia semejante al caramelo, requieren de mayor evaporación para poder verterlos en sacos o cubas hasta quedar como un producto amorfo con un contenido de humedad del 20%. También se pasan por máquinas de presión para elaborar cubos de 2 a 3 cm de arista.

### **2.4.2 Extracto en polvo**

Se obtiene al concentrar hasta un 45% en vacío, a continuación el producto es secado al vacío para reducirlo a polvo con una humedad del 5%.

## **2.5 Concentraciones más comunes de taninos**

Las concentraciones más comunes son las siguientes:

- Presentación líquida 25 al 45% de tanino
- Presentación sólida 45 al 65% de tanino
- Presentación en polvo 55 al 70% de tanino

## **2.6 Funciones en las plantas**

Los taninos cumplen con las siguientes funciones en la planta:

- Contribuyen a la formación del súber.
- Son imprescindibles en la formación de sustancias vegetales, como aceites esenciales, resinas, lignina, etc.
- Juegan un papel protector, evitando el ataque de insectos y hongos, de allí que se le atribuya propiedades funguicidas y bacteriostáticas.
- Cumplen un papel moderador de los procesos de oxidación y de acciones antifermentos.
- Se les considera sustancias de reserva, y por otro lado, materiales de desecho. En este último caso, luego de proteger a la planta en ciertas etapas del crecimiento, finalmente se destruyen o depositan como producto del metabolismo en ciertos tejidos muertos de la planta madura, como el súber externo, el leño y las agallas.

## 2.7 Lixiviación

La extracción sólido líquido o lixiviación es un proceso, en el cual se extrae de un sólido uno o varios constituyentes, mediante la utilización de un disolvente líquido. Los constituyentes que se desean extraer deben ser solubles en el solvente utilizado y el resto del sólido debe ser inerte al solvente. En este proceso ambas fases entran en contacto íntimo y el soluto o los solutos pueden difundirse desde el sólido a la fase líquida, lo que produce una separación de los componentes originales del sólido. El proceso completo de extracción suele comprender la recuperación por separado del solvente y el soluto. La extracción sólido líquido tiene gran importancia en un gran número de procesos industriales. Por ejemplo, en metalurgia en la extracción de cobre con ácido sulfúrico, oro con cianuro o también en el caso del azúcar, que se separa por lixiviación de la remolacha con agua caliente. Los aceites vegetales se recuperan a partir de semillas, como los de soya y de algodón mediante lixiviación con disolventes orgánicos. La extracción de colorantes se realiza a partir de materias sólidas por lixiviación con alcohol o soda. El éxito en un proceso de lixiviación y la técnica que se va a utilizar dependen con mucha frecuencia de cualquier tratamiento previo que se le pueda dar al sólido. En algunos casos, las pequeñas partículas del material soluble están completamente rodeadas de una matriz de materia insoluble. Entonces, el disolvente se debe difundir en la masa y la solución resultante se debe difundir hacia el exterior antes de poder lograr una separación. Esto es lo que sucede con muchos materiales metalúrgicos. La trituración y molienda de estos sólidos acelerará bastante la acción de lixiviación, porque las porciones solubles son entonces más accesibles al disolvente.

Los cuerpos vegetales y animales tienen una estructura celular, los productos naturales que se van a lixiviar a partir de estos materiales se encuentran generalmente dentro de las células. Si las paredes celulares permanecen intactas después de la exposición a un disolvente adecuado, entonces en la acción de lixiviación interviene la ósmosis del soluto a través de las paredes celulares. Éste puede ser un proceso lento.

Sin embargo, moler el material lo suficientemente pequeño como para liberar el contenido de las células puede reducir el tiempo de lixiviación.

En general, en la industria química se utiliza el término lixiviación para los procesos de extracción sólido líquido, pero cuando se trata de alimentos, hierbas y otros productos para consumo humano se emplea el término maceración. En este caso el solvente suele ser agua, pero también se emplean otros líquidos como vinagre, jugos, alcoholes o aceites aderezados con diversos ingredientes que modificarán las propiedades de extracción del medio líquido.

Generalmente, el producto que se desea utilizar es el extracto que se obtiene pero en otras ocasiones se desea utilizar el sólido sin los compuestos que se le han extraído o incluso ambas partes. Por ejemplo si extraemos cafeína del café, podemos emplear el café descafeinado para hacer una infusión tradicional libre de cafeína y la cafeína para la confección de refrescos u otros usos.

### **2.7.1 Operaciones en estado no estacionario**

Las operaciones en estado no estacionario incluyen aquellas en que los sólidos y los líquidos se ponen en contacto únicamente en forma de lotes y también aquellas en que un lote del sólido se pone en contacto con una corriente que fluye continuamente del líquido (método por semilotes). Las partículas sólidas gruesas generalmente se tratan en lechos fijos mediante métodos de percolación, mientras que los sólidos finamente divididos, que pueden mantenerse más fácilmente en suspensión, pueden dispersarse en todo el líquido con la ayuda de algún tipo de agitador.

### 2.7.2 Velocidad de extracción

La velocidad de extracción es afectada por los siguientes factores:

- Temperatura
- Concentración del solvente
- Tamaño de las partículas
- Porosidad
- Agitación

Al aumentar la temperatura se aumenta la velocidad porque la solubilidad es mayor, el aumento de temperatura es muy usado en procesos de reacción química. La temperatura máxima para cada sistema está limitada por: el punto de ebullición del solvente, el punto de degradación del producto o del solvente, solubilidad de impurezas y por economía.

La concentración del solvente es importante para soluciones acuosas, debido a la saturación y a la existencia de reacciones químicas, es de poca importancia cuando la extracción es controlada por difusión.

La reducción de partículas tiene gran importancia, porque aumenta el área de contacto y disminuye el tiempo necesario para la extracción.

La porosidad permite que el líquido penetre a través de los canales formados por los poros dentro del sólido, aumentando así el área activa para la extracción.

La agitación da una mayor eficiencia en la extracción debido a que disminuye la película de flujo que cubre la superficie del sólido en reposo y que actúa como una resistencia a la difusión.



## **3. METODOLOGÍA**

### **3.1 Localización**

La parte experimental de la investigación se llevó a cabo en el Laboratorio de Química y Laboratorio de Química Industrial, Centro de Investigaciones de Ingeniería de la Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala.

### **3.2 Recursos humanos**

Investigador: Pablo Alberto Tezén Roldán  
Asesor: Ingeniera Química Telma Maricela Cano Morales  
Co-asesor: Ingeniero Forestal MSc. José Mario Saravia Molina

### **3.3 Materiales**

#### **3.3.1 Materia prima**

Muestras obtenidas al azar de un lote de corteza proveniente de la troza destinada al aserrío en las concesiones forestales.

Muestras de corteza de aproximadamente 100 gramos de las cinco especies forestales, secadas a temperatura de 70° C hasta lograr un contenido de humedad menor de 15%.

### **3.3.2 Cristalería**

Tubos de ensayo, balones, earlenmeyers, embudos, varilla de agitación, buretas graduadas, probetas, beackers y termómetro.

### **3.3.3 Equipo**

- Horno de laboratorio. Marca Thelco. Modelo 130 DM. Rango 40°-250°C.
- Plancha eléctrica con agitación. Marca Corning. Modelo PC-620D. Rango de temperatura 25°-550° C. Rango de agitación 60-1150 rpm.
- Bomba de vacío. Marca Dryfast. Modelo 2010B-01. Presión máxima 146 mbar. Flujo 12.7 L/min.
- Balanza analítica. Marca Sartorius. Modelo AC1215. Rango 120 g. Precisión 0.0001 g.
- Balanza de precisión. Marca Mettler Toledo. Modelo PR503DR. Rango 510 g. Precisión 0.01 g / 0.001 g.

## **3.4 Metodología experimental**

### **3.4.1 Diseño de tratamientos**

Se determinó el contenido tánico de la corteza de las cinco especies en mención utilizando dos diferentes solventes para la extracción. La extracción se realizó por el método de extracción con maceración mecánica de una etapa. Los solventes utilizados fueron agua desmineralizada y una solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. Para la extracción a cada especie con cada solvente se hicieron tres repeticiones.

### **3.4.2 Diseño experimental**

El diseño del experimento es de tipo factorial utilizando para ello dos factores. La forma en que se realizó el análisis se describe en la parte cuatro de este documento bajo el encabezado de análisis estadístico.

Las unidades experimentales corresponden a 100 g de corteza seca de las 5 diferentes especies ( $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ ).

El efecto del solvente fue evaluado al someter las muestras de corteza de las diferentes especies a la extracción utilizando dos diferentes tipos de solvente ( $b_1, b_2$ ).

Así se tiene: 5 especies x 2 solventes = 10 tratamientos. Para cada tratamiento se realizaron 3 repeticiones. Así se tiene un total de  $5 \times 2 \times 3 = 30$  unidades experimentales.

### **3.4.3 Distribución aleatoria del orden de los experimentos**

La realización de los experimentos se hizo en orden aleatorio tal como se presenta en el siguiente cuadro. El orden fue obtenido luego de hacer una elección aleatoria de cada uno. El número de cada especie corresponde de la siguiente manera: Especie 1: Caoba; Especie 2: Cedro; Especie 3: Manchiche; Especie 4: Pucte y Especie 5: Santa María. El número de solvente corresponde así: Solvente 1: agua desmineralizada y Solvente 2: solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.

Experimento	Especie	Solvente	Repetición
1	4	2	2
2	5	1	2
3	3	1	1
4	2	2	3
5	4	1	2
6	2	1	2
7	1	2	3
8	3	2	2
9	2	1	1
10	5	2	2
11	1	2	2
12	3	2	3
13	3	1	3
14	3	1	2
15	2	2	1
16	5	1	3
17	4	2	3
18	2	2	2
19	3	2	1
20	1	1	2
21	4	1	1
22	1	2	1
23	5	2	3
24	2	1	3
25	1	1	1
26	1	1	3
27	4	2	1
28	4	1	3

Continúa			
29	5	1	1
30	5	2	1

### 3.4.4 Procedimiento

Tomado del manual de laboratorio de fitoquímica de la Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia, Escuela de Química Farmacéutica, Departamento de Farmacognosia y Fitoquímica de la Universidad de San Carlos de Guatemala y de Semarnap, colorantes y taninos (véase bibliografía numerales 6 y 11).

#### 3.4.4.1 Extracción de tanino con agua desmineralizada

1. Tomar una muestra de 100 gramos de corteza previamente molida y seca y colocarla en un beacker de 1000 mL.
2. Adicionar 500 mL de agua desmineralizada, con el fin de obtener una relación de corteza solvente de 1:5.
3. Llevar la mezcla a 70°C manteniendo esta temperatura durante 45 minutos en una plancha de calentamiento con agitación.

Figura 1. Mezcla solvente-corteza en calentamiento.



4. Dejar enfriar la mezcla a temperatura ambiente y agregar 15 gotas de solución acuosa de NaCl al 10%, con el objetivo de precipitar compuestos no tánicos y así evitar obtener un resultado positivo-falso.

5. Filtrar la solución o suspensión resultante ya sea al vacío o por gravedad.

6. Evaporar el solvente del filtrado a 70°C utilizando la plancha de calentamiento con agitación.

7. Secar el producto final a temperatura no mayor de 70°C en el secador eléctrico.

8. El residuo obtenido es el extracto tánico.

Figura 2. Extracto tánico obtenido.



#### **3.4.4.2 Extracción con solución acuosa de sulfito de sodio al 2%**

1. Tomar una muestra de 100 gramos de corteza previamente molida y seca y colocarla en un beacker de 1000 mL.
2. Adicionar 500 mL de solución acuosa de sulfito de sodio al 2%, con el fin de obtener una relación de corteza solvente de 1:5.
3. Llevar la mezcla a 70°C manteniendo esta temperatura durante 45 minutos en una plancha de calentamiento con agitación.
4. Filtrar la solución o suspensión resultante ya sea al vacío o por gravedad.
5. Evaporar el solvente del filtrado a 70°C utilizando la plancha de calentamiento con agitación.
6. Secar el producto final a temperatura no mayor de 70°C en el secador eléctrico.
7. El residuo obtenido es el extracto tánico.

#### **3.4.5 Análisis cualitativos**

Se realizaron los siguientes análisis para determinar la presencia de taninos en el extracto obtenido.

##### **3.4.5.1 Reacción a la solución acuosa de gelatina al 1%**

Colocar 5 mL de una dilución al 5% del extracto tánico en un tubo de ensayo. Añadir 10 gotas de solución de gelatina al 1%. La obtención de un precipitado indica la presencia de taninos en el extracto.

#### **3.4.5.2 Reacción a la solución acuosa de gelatina y NaCl al 1% y 10% respectivamente**

Colocar 5 mL de una dilución al 5% del extracto tánico en un tubo de ensayo. Añadir 10 gotas de solución acuosa de gelatina y NaCl al 1% y 10% respectivamente. La obtención de un precipitado indica la presencia de taninos en el extracto. Con esta solución es más fácil obtener un precipitado que con la solución que únicamente contiene gelatina.

#### **3.4.5.3 Reacción al cloruro férrico**

Colocar 5 mL de una dilución al 5% del extracto tánico en un tubo de ensayo. Añadir 10 gotas de solución de  $\text{FeCl}_3$  al 10%. Asumiendo que se formó precipitado en el análisis de la solución acuosa de gelatina y NaCl, la aparición de una coloración verde-grisáceo implica presencia de taninos del tipo condensados mientras que la aparición de una coloración azul-grisáceo implica la presencia de taninos del tipo hidrolizables.

Un resultado negativo con el análisis de gelatina y NaCl, pero producción de coloración verde-grisáceo o azul-grisáceo implica ausencia de taninos y los cambios de coloración se atribuyen a otros constituyentes fenólicos del vegetal.



Figura 3. Comparación de soluciones de extracto tánico con y sin  $\text{FeCl}_3$ .



### 3.4.6 Análisis cuantitativos

#### 3.4.6.1 Determinación del porcentaje de taninos por el método de Stiasny

Disolver una muestra de 1 g de extracto tánico en 100 mL de agua desmineralizada. Adicionar 10 mL de  $\text{HCl}$  10M y 20 mL de formaldehído al 37%. Calentar a reflujo por 30 minutos. Filtrar en caliente tarando previamente el papel filtro. Lavar el precipitado con agua desmineralizada caliente (5 x 10 mL). Secar el producto retenido en el papel filtro en una desecadora con  $\text{CaCl}_2$ . Pesarse el producto obtenido para determinar el contenido tánico. El rendimiento de taninos se expresa como porcentaje del peso del material inicial.

Figura 4. Calentamiento a reflujo.



Figura 5. Taninos obtenidos por el método de Stiasny.



## 4. ANÁLISIS ESTADÍSTICO

Como análisis estadístico se utilizó un diseño factorial de dos factores. Para el factor especie forestal se tuvo  $a$  niveles (5), uno por cada especie y para el factor solvente se tuvo  $b$  niveles (2) uno por cada solvente. Para cada combinación posible de especie-solvente se realizaron  $n$  repeticiones (3) y los datos obtenidos se tabularon como se muestra a continuación.

		Solvente							
		Agua				Solución acuosa sulfito de sodio			
		$Y_{ijk}$	$Y_{ij\cdot}$	$\tilde{Y}_{ij\cdot}$	$Y_{ijk}$	$Y_{ij\cdot}$	$\tilde{Y}_{ij\cdot}$	$Y_{i\cdot\cdot}$	$\tilde{Y}_{i\cdot\cdot}$
<b>Especie Forestal</b>	<b>Caoba</b>	$Y_{111}$	$Y_{11\cdot}$	$\tilde{Y}_{11\cdot}$	$Y_{121}$	$Y_{12\cdot}$	$\tilde{Y}_{12\cdot}$	$Y_{1\cdot\cdot}$	$\tilde{Y}_{1\cdot\cdot}$
		$Y_{112}$			$Y_{122}$				
		$Y_{113}$			$Y_{123}$				
	<b>Cedro</b>	$Y_{211}$	$Y_{21\cdot}$	$\tilde{Y}_{21\cdot}$	$Y_{221}$	$Y_{22\cdot}$	$\tilde{Y}_{22\cdot}$	$Y_{2\cdot\cdot}$	$\tilde{Y}_{2\cdot\cdot}$
		$Y_{212}$			$Y_{222}$				
		$Y_{213}$			$Y_{223}$				
	<b>Manchiche</b>	$Y_{311}$	$Y_{31\cdot}$	$\tilde{Y}_{31\cdot}$	$Y_{321}$	$Y_{32\cdot}$	$\tilde{Y}_{32\cdot}$	$Y_{3\cdot\cdot}$	$\tilde{Y}_{3\cdot\cdot}$
		$Y_{312}$			$Y_{322}$				
		$Y_{313}$			$Y_{323}$				
	<b>Pucte</b>	$Y_{411}$	$Y_{41\cdot}$	$\tilde{Y}_{41\cdot}$	$Y_{421}$	$Y_{42\cdot}$	$\tilde{Y}_{42\cdot}$	$Y_{4\cdot\cdot}$	$\tilde{Y}_{4\cdot\cdot}$
		$Y_{412}$			$Y_{422}$				
		$Y_{413}$			$Y_{423}$				
	<b>Santa María</b>	$Y_{511}$	$Y_{51\cdot}$	$\tilde{Y}_{51\cdot}$	$Y_{521}$	$Y_{52\cdot}$	$\tilde{Y}_{52\cdot}$	$Y_{5\cdot\cdot}$	$\tilde{Y}_{5\cdot\cdot}$
		$Y_{512}$			$Y_{522}$				
		$Y_{513}$			$Y_{523}$				
	<b><math>Y_{\cdot j\cdot}</math></b>	$Y_{\cdot 1\cdot}$		$Y_{\cdot 2\cdot}$			$Y_{\cdot\cdot\cdot}$		
	<b><math>\tilde{Y}_{\cdot j\cdot}</math></b>	$\tilde{Y}_{\cdot 1\cdot}$		$\tilde{Y}_{\cdot 2\cdot}$				$\tilde{Y}_{\cdot\cdot\cdot}$	

Se representa por  $Y_{ijk}$  al resultado que se obtuvo para cada observación realizada, en donde  $i$  representa el nivel del factor especie forestal,  $j$  el nivel del factor solvente y  $k$  el número de repetición para la combinación de factores  $ij$ .

La suma de los valores obtenidos para las  $n$  repeticiones para cada combinación de factores  $ij$  se representó por  $Y_{ij\cdot}$ , el respectivo valor promedio por  $\tilde{Y}_{ij\cdot}$ , el valor obtenido de la suma de todas las observaciones para cada nivel del factor especie forestal (total de fila) se representó por  $Y_{i\cdot\cdot}$ , su correspondiente valor promedio (valor promedio de fila) se representó por  $\tilde{Y}_{i\cdot\cdot}$  y de manera similar se obtuvieron los valores para el total de columna y el valor promedio de columna que se representaron por  $Y_{\cdot j\cdot}$  y  $\tilde{Y}_{\cdot j\cdot}$  respectivamente. El gran total, valor obtenido de la suma de los valores obtenidos las  $a*b*n$  observaciones se representó por  $Y_{\cdot\cdot\cdot}$  y el respectivo promedio por  $\tilde{Y}_{\cdot\cdot\cdot}$ . A continuación se describe la manera en que se obtuvo el valor de cada uno.

$$Y_{i\cdot\cdot} = \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}$$

$$\tilde{Y}_{i\cdot\cdot} = \frac{Y_{i\cdot\cdot}}{bn}$$

$$i = 1, 2, \dots, a.$$

$$Y_{\cdot j\cdot} = \sum_{i=1}^a \sum_{k=1}^n Y_{ijk}$$

$$\tilde{Y}_{\cdot j\cdot} = \frac{Y_{\cdot j\cdot}}{an}$$

$$j = 1, 2, \dots, b.$$

$$Y_{ij\cdot} = \sum_{k=1}^n Y_{ijk}$$

$$\tilde{Y}_{ij\cdot} = \frac{Y_{ij\cdot}}{n}$$

$$i = 1, 2, \dots, a.$$

$$j = 1, 2, \dots, b.$$

$$Y_{\dots} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}$$

$$\tilde{Y}_{\dots} = \frac{Y_{\dots}}{abn}$$

La suma total de cuadrados se calculó mediante

$$SS_T = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \sum_{k=1}^n Y_{ijk}^2 - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

Las sumas de cuadrados para los efectos principales se calcularon mediante

$$SS_A = \sum_{i=1}^a \frac{Y_{i\cdot\cdot}^2}{bn} - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

$$SS_B = \sum_{j=1}^b \frac{Y_{\cdot j\cdot}^2}{an} - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

Convino obtener  $SS_{AB}$  en dos etapas. Primero se calculó la suma de cuadrados entre los totales de las  $ab$  celdas, conocida como la suma de cuadrados debido a los “subtotales”.

$$SS_{\text{subtotales}} = \sum_{i=1}^a \sum_{j=1}^b \frac{Y_{ij\cdot}^2}{n} - \frac{Y_{\dots}^2}{abn}$$

Esta suma de cuadrados contiene a  $SS_A$  y  $SS_B$ . Por lo tanto, la segunda etapa consistió en calcular  $SS_{AB}$  mediante

$$SS_{AB} = SS_{\text{subtotales}} - SS_A - SS_B$$

La  $SS_E$  se calculó por diferencia

$$SS_E = SS_T - SS_{AB} - SS_A - SS_B$$

o bien

$$SS_E = SS_T - SS_{subtotales}$$

La forma de tabular los datos para el análisis de varianza para el modelo bifactorial se presenta a continuación.

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	$F_0$
Tratamientos A	$SS_A$	a-1	$MS_A = \frac{SS_A}{a-1}$	$F_0 = \frac{MS_A}{MS_E}$
Tratamientos B	$SS_B$	b-1	$MS_B = \frac{SS_B}{b-1}$	$F_0 = \frac{MS_B}{MS_E}$
Interacción	$SS_{AB}$	(a-1)(b-1)	$MS_{AB} = \frac{SS_{AB}}{(a-1)(b-1)}$	$F_0 = \frac{MS_{AB}}{MS_E}$
Error	$SS_E$	ab(n-1)	$MS_E = \frac{SS_E}{ab(n-1)}$	
Total	$SS_T$	abn-1		

Se procedió entonces a comparar el valor de  $F_{\alpha,(a-1)(b-1),ab(n-1)}$ , el cual se encuentra tabulado en tablas (ver apéndice H), con el valor de  $F_0$  obtenido para la fila de la interacción de los factores en la tabla anterior. Si el valor obtenido en los cálculos realizados es menor al obtenido de tablas entonces se acepta  $H_0$  y se concluye que no existe una interacción significativa entre los factores. De lo contrario se rechaza  $H_0$ , se acepta  $H_1$  y se concluye que existe una interacción significativa entre los dos factores.

Además, se comparó el valor de  $F_{\alpha,(a-1),ab(n-1)}$  con el valor obtenido de  $F_0$  para la fila de *Tratamientos A*. Si el valor obtenido en los cálculos realizados es mayor al obtenido de tablas se concluye que es significativo el efecto del factor *especie forestal* elegida, de lo contrario se concluye que el efecto no es significativo. Igualmente se comparó el valor de  $F_{\alpha,(b-1),ab(n-1)}$  con el valor obtenido de  $F_0$  para la fila de *Tratamientos B*. Si el valor obtenido en los cálculos realizados es mayor al obtenido de tablas se concluye que es significativo el efecto del factor *solvente* elegido, de lo contrario se concluye que el efecto no es significativo.

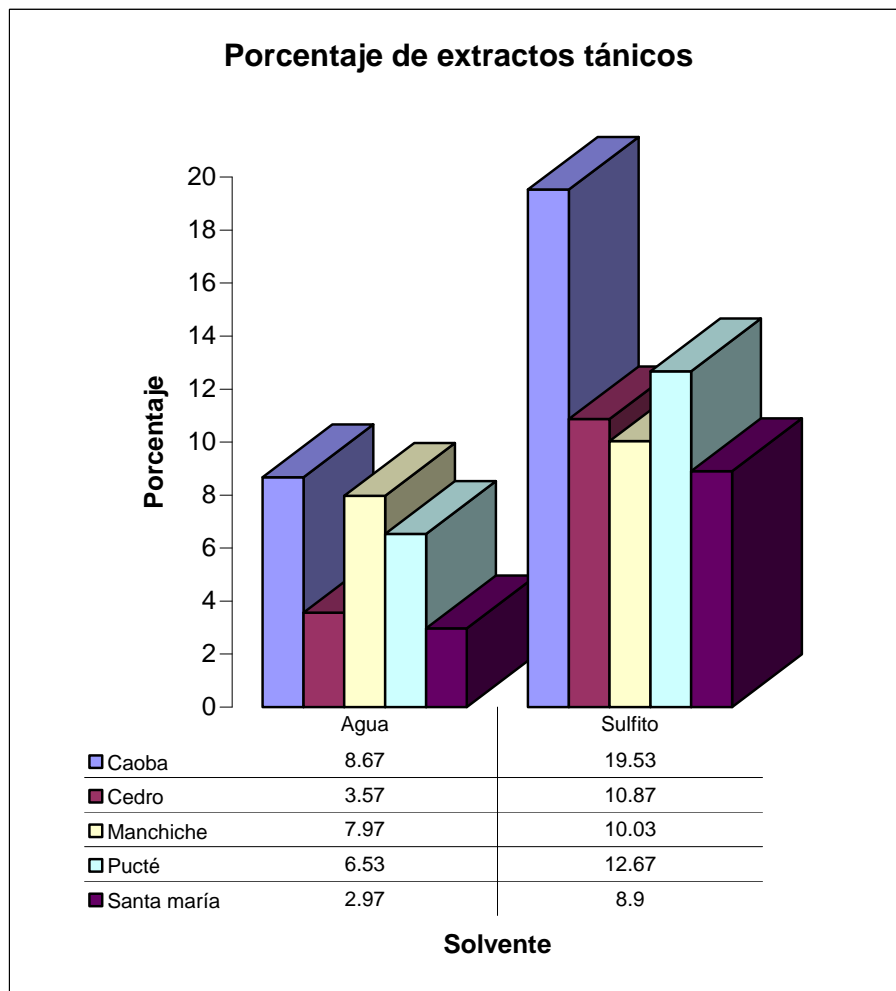
Finalmente, se utilizó un programa de estadística para computadora para realizar el análisis de comparación de medias de Tukey que nos permitió determinar entre cuales especies existe diferencia significativa entre el porcentaje de extracto tánico obtenido y el porcentaje de taninos y cual de las cinco especies posee la mayor cantidad de ambos. Los datos obtenidos con el programa se encuentran en las tablas XIII y XIV del apéndice G.





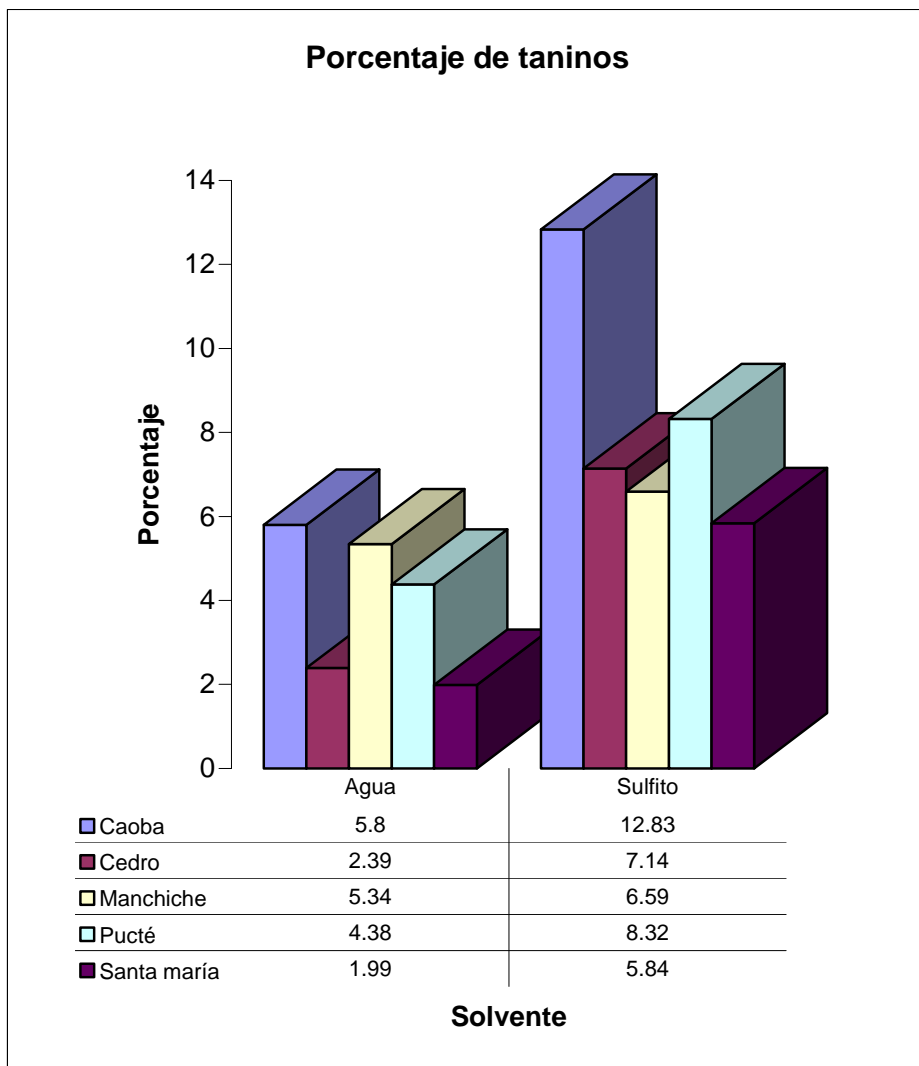
## 5. RESULTADOS

Figura 6. Comportamiento general para la media del porcentaje de extracto tánico obtenido de la corteza de las 5 especies forestales en función del solvente utilizado.



Fuente: Datos calculados (véase apéndice G).

Figura 7. Comportamiento general para la media del porcentaje de taninos obtenido de la corteza de las 5 especies forestales en función del solvente utilizado



Fuente: Datos calculados (véase apéndice G).

Tabla I. Resultados generales de los análisis cualitativos realizados a los extractos tánicos obtenidos con agua desmineralizada como solvente de extracción.

		<b>Solvente: agua desmineralizada</b>		
		<b>Sol. ac. de gel. al 1%</b>	<b>Sol. ac. de gel. y NaCl al 1% y 10% resp.</b>	<b>Coloración a la solución de cloruro férrico</b>
<b>Especies forestales</b>	<b>Caoba</b>	Si precipita	Si precipita	Azul grisáceo
	<b>Cedro</b>	Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo
	<b>Manchiche</b>	No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
	<b>Pucte</b>	Si precipita	Si precipita	Azul grisáceo
	<b>Santa María</b>	Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo

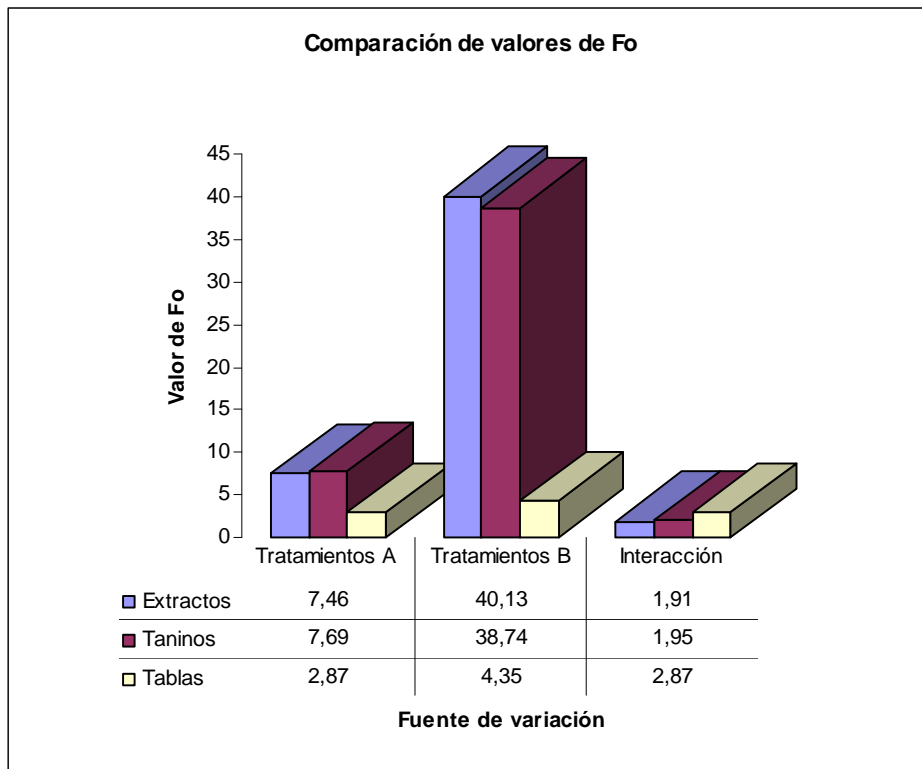
Fuente: Datos originales (véase apéndice F).

Tabla II. Resultados generales de los análisis cualitativos realizados a los extractos tánicos obtenidos con solución acuosa de sulfito de sodio al 2% como solvente de extracción.

		<b>Solvente: sol. ac. de sulfito de sodio al 2%</b>		
		<b>Sol. ac. de gel. al 1%</b>	<b>Sol. ac. de gel. y NaCl al 1% y 10% resp.</b>	<b>Coloración a la solución de cloruro férrico</b>
<b>Especies forestales</b>	<b>Caoba</b>	No precipita	Si precipita	Azul grisáceo
	<b>Cedro</b>	No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
	<b>Manchiche</b>	No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
	<b>Pucte</b>	No precipita	Si precipita	Azul grisáceo
	<b>Santa María</b>	No precipita	Si precipita	Verde grisáceo

Fuente: Datos originales (véase apéndice F).

Figura 8. Comparación del valor de  $F_{0,05,v_1,v_2}$  obtenido de la tabla de análisis de varianza para los tratamientos A y B con el valor tabulado en tablas (Apéndice H).



Fuente: Datos calculados (véase apéndice G).

Tabla III. Comparación de medias de Tukey. Cuadro de subgrupos homogéneos para la media del porcentaje de extracto tánico obtenido.

Especie	N	Subgrupo	
		1	2
StaMaria	6	5.933	
Cedro	6	7.217	
Manchiche	6	9	
Pucte	6	9.6	9.6
Caoba	6		14.1
Sig.		0.194	0.075

Fuente: Datos calculados (véase apéndice G).

Tabla IV. Comparación de medias de Tukey. Cuadro de subgrupos homogéneos para la media del porcentaje de contenido de taninos obtenido.

Especie	N	Subgrupos	
		1	2
StaMaria	6	3.917	
Cedro	6	4.75	
Manchiche	6	5.967	
Pucte	6	6.35	6.35
Caoba	6		9.317
Sig.		0.187	0.074

Fuente: Datos calculados (Véase apéndice G).



## 6. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

### 6.2.1 Análisis de figuras

#### 6.1.1 Figura 6

En la figura 6 se muestran graficados los promedios de los porcentajes de extractos tánicos obtenidos de las 3 repeticiones realizadas para cada una de las especies forestales utilizando ambos solventes. De la figura puede notarse que en general, el mayor porcentaje de extracto tánico se obtiene cuando se utiliza como solvente de extracción la solución acuosa de sulfito de sodio al 2% en comparación a la utilización de agua desmineralizada como solvente de extracción. Puede observarse también que el mayor porcentaje de extracto tánico se obtuvo de la especie forestal caoba (*Swietenia macrophylla* K.), con un valor promedio de 8.67% al utilizar agua desmineralizada como solvente de extracción y un 19.53% al utilizar una solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. Esta especie también presentó la mayor variación del contenido tánico obtenido al cambiar de solvente de extracción. El menor porcentaje de extracto tánico se obtuvo de la especie forestal santa maría (*calophyllum brasiliense* C.), con un 2.97% al utilizar agua desmineralizada y un 8.90% al utilizar una solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. La menor variación del porcentaje de contenido tánico obtenido al cambiar de solvente de extracción la presentó la especie forestal manchiche (*Lonchocarpus phaseolifolius* B.). De esta especie se obtuvo un contenido de extracto tánico promedio de 7.97% al utilizar agua desmineralizada y un 10.03% al utilizar la solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. Para todas de las especies se observó aumento del porcentaje del contenido tánico al utilizar una solución acuosa de sulfito de sodio al 2% como solvente de extracción en lugar de agua desmineralizada.

### 6.1.2 Figura 7

En la figura 7 se presenta graficado el valor promedio del contenido de taninos obtenido para las 3 repeticiones realizadas para cada especie forestal utilizando ambos solventes de extracción. En esta figura puede notarse un comportamiento similar al que se presenta en la figura 6. El mayor valor de contenido de taninos en la corteza lo presentó la especie forestal caoba (*Swietenia macrophylla* K.) con 5.8% al utilizar agua desmineralizada como solvente de extracción y un 12.83% al utilizar solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. El menor valor de contenido de taninos en la corteza lo presentó la especie santa maría (*calophyllum brasiliense* C.) con un 1.99% al utilizar agua desmineralizada y un 5.84% al utilizar la solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. También se observa que para la caoba se obtuvo la mayor variación del contenido de taninos al cambiar de solvente de extracción. La menor variación al cambio de solvente la presentó la especie manchiche (*Lonchocarpus phaseolifolius* B.) con un contenido de taninos de 5.34% al utilizar agua desmineralizada y un 6.59 al utilizar la solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.

### 6.1.3 Figura 8

En la figura 8 se presenta una comparación entre los valores obtenidos de la tabla de análisis de varianza para los tratamientos A y B y los valores tabulados de  $F_{0.05, \nu_1, \nu_2}$  (ver apéndice H). Para esta, 0.05 es el nivel de error (el nivel de confianza es  $1 - 0.05 = 0.95$ ),  $\nu_1$  son los grados de libertad del numerador (grados de libertad para los tratamientos A, los tratamientos B y la interacción) y  $\nu_2$  son los grados de libertad del denominador (grados de libertad para el error). Como puede notarse, tanto para los extractos tánicos como para los taninos los resultados son similares. Para los tratamientos A y B el valor obtenido de  $F_0$  es mayor al valor tabulado, lo cual significa que estadísticamente son significativos los efectos principales de la especie forestal elegida y el tipo de solvente de extracción elegido para la cantidad de extracto tánico y



de taninos obtenidos. Para la interacción el valor obtenido de  $F_0$  es menor al valor tabulado lo cual significa que estadísticamente no existe una interacción significativa entre la especie forestal elegida y el tipo de solvente de extracción elegido para la cantidad de extracto tánico y taninos obtenidos.

## **6.2 Análisis de tablas**

### 6.2.1 Tabla I

En la tabla I se presentan los resultados generales de los análisis cualitativos efectuados a los extractos tánicos al utilizar como solvente de extracción agua desmineralizada. Puede notarse que para la prueba de la solución de gelatina al 1% en ninguna de las muestras se pudo apreciar precipitado alguno. Al utilizar la solución de gelatina al 1% y NaCl al 10% se pudo apreciar formación de precipitado en todas la muestras. Estos resultados confirman la presencia de taninos en los extractos vegetales obtenidos. Para la prueba de la solución de cloruro férrico se obtuvo coloración azul grisáceo para las muestras de extractos tánicos de las especies caoba y pucte, lo cual indica que en estos extractos predominan los taninos del tipo hidrolizable. Para las especies cedro, manchiche y santa maría se obtuvo coloración verde grisáceo en esta prueba lo que indica que en estos extractos predominan los taninos del tipo condensados.

### 6.2.2 Tabla II

En esta tabla se presentan los resultados generales para las pruebas cualitativas realizadas a los extractos obtenidos utilizando como solvente la solución acuosa de sulfito de sodio al 2%. En esta tabla se tienen resultados similares a los de la tabla I. Para la prueba de la solución de gelatina al 1% no se observó formación de precipitado para la especie manchiche, mientras que para las demás especies si se formó precipitado. Para la prueba de la solución de gelatina al 1% y NaCl al 10% se observó formación de

precipitado para todas las especies. Finalmente, para la prueba de la solución de cloruro férrico se observó, al igual que en la tabla I, que para las especies caoba y pucte predominan los taninos del tipo hidrolizable y para las especies restantes predominan los taninos del tipo condensados.

#### 6.2.4 Tabla III

En la tabla III se muestran agrupadas las especies forestales en dos subgrupos como resultado de la realización del análisis de comparación de medias de Tukey. Este análisis efectúa una diferencia (I-J) entre la media obtenida para el porcentaje de extracto tánico obtenido para una especie (I) en las n repeticiones con ambos solventes y la media obtenida para las otras 4 especies (J) tal como se muestra en la tabla XIII en el apéndice G. Además, de acuerdo a la distribución del porcentaje de extracto tánico obtenido para cada especie en las n repeticiones establece un intervalo de confianza de 95% para la diferencia de las medias entre las especies. Este intervalo indica las unidades en que puede variar la diferencia entre medias con un 95% de confianza. Cuando este intervalo de confianza para la diferencia entre dos especies tiene límites inferior y superior con diferente signo, es decir que el intervalo incluye el cero, se dice que ambas especies no tienen diferencia significativa entre el porcentaje de extracto tánico obtenido. De esta manera se reúnen en un mismo subgrupo en la tabla III. Puede notarse entonces de esta tabla que para la especie caoba se obtuvo la mayor cantidad de extracto tánico y que es significativamente superior a las especies santa maría, cedro y manchiche. Con el pucte no tiene diferencia significativa.

#### 6.2.4 Tabla IV

Esta tabla es similar a la tabla III, con la diferencia que la tabla IV es para el porcentaje de taninos en las especies forestales. De igual manera se puede notar que la caoba es la especie con mayor contenido de taninos y que es significativamente superior

a las especies santa maría, cedro y manchiche, y que no presenta diferencia significativa con la especie pucte.



## CONCLUSIONES

1. Para las cinco especies forestales utilizadas, caoba, cedro, manchiche, pucte y santa maría, el mayor extracto tánico y el mayor contenido tánico se obtiene al utilizar como solvente de extracción la solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.
2. Al utilizar agua desmineralizada como solvente de extracción el mayor contenido de extracto tánico y de taninos se obtiene de la especie forestal caoba, 8.67% y 5.8% respectivamente; seguida en orden decreciente por las especies manchiche, 7.97% y 5.34%; pucte, 6.53% y 4.38%; cedro, 3.57% y 2.39%; y santa maría, 2.97% y 1.99% respectivamente.
3. Al utilizar la solución acuosa de sulfito de sodio al 2% como solvente de extracción el mayor contenido de extracto tánico y de taninos se obtiene de la especie forestal caoba, 19.53% y 12.83% respectivamente; seguida en orden decreciente por las especies pucte, 12.67% y 8.32%; cedro, 10.87% y 7.14%; manchiche, 10.03% y 6.59%; y santa maría, 8.9% y 5.84% respectivamente.
4. Para las especies forestales caoba y pucte se determinó que predomina la presencia de taninos del tipo hidrolizable, mientras que para las especies cedro, manchiche y santa maría se determinó que predomina la presencia de taninos del tipo condensados.
5. Estadísticamente, los efectos principales de la especie forestal y el solvente elegido son significativos en la cantidad de extracto tánico y de taninos obtenidos. Sin embargo, no existe una interacción significativa entre ambos efectos para la cantidad de extracto tánico y taninos obtenidos.

6. De acuerdo al análisis de comparación de medias de Tukey realizado, la especie forestal con mayor contenido de extracto tánico y de taninos es la caoba, y no presenta diferencia significativa con el pucte.
  
7. Las especies forestales santa maría, cedro, manchiche y pucte son las especies con menor contenido de extracto tánico y de taninos, y no presentan diferencia significativa entre ellas.

## RECOMENDACIONES

1. Hacer comparaciones de la cantidad de extracto tánico obtenido utilizando la técnica de extracción por maceración continua de una sola etapa tal como se realizó en el presente trabajo y la misma técnica utilizando 3 etapas sucesivas.
2. Comparar la cantidad de taninos obtenidos utilizando el método gravimétrico de Stiasny y utilizando un método volumétrico de Löwenthal fundamentado en la oxidación del tanino por  $\text{KMnO}_4$  en presencia de añil sulfonado, sirviendo este como indicador y regulador de la reacción.
3. Hacer una evaluación económica para determinar si es factible utilizar a nivel industrial el extracto tánico de la caoba o del pucte debido a que estas son las especies con mayor porcentaje de extracto y de taninos obtenido.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Akú Ramírez, Ingrid Liliana. Evaluación del contenido tánico en la corteza de dos especies forestales guatemaltecas, mangle colorado (*Rhizophora mangle*) y pino blanco (*Pinus ayacahuite*), por medio de dos métodos de extracción. Tesis de ingeniería química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2000.
2. Asociación de comunidades forestales de Petén (ACOFOP). **Guía básica para los habitantes de las comunidades forestales.** Grupo Multicolor. Guatemala 2005.
3. Barrance A. *Et. Al.* **Árboles de Centroamérica. Un manual para extensionistas.** Oxford Forestry Institute. Centro agronómico tropical de investigación y enseñanza. Costa Rica 2003.
4. Equité de León, Madeleine Walleska. Determinación del contenido de taninos en el extracto tánico de la corteza de melina (*Gmelina arborea Roxb.*), utilizando dos métodos de extracción a nivel laboratorio. Tesis de ingeniería química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2004.
5. Gómez Orozco, Edson Daniel. Comparación del porcentaje de extracto tánico de la corteza y de la madera de encino (*Quercus tristis liebm*) proveniente de un bosque natural. Tesis de ingeniería química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2004.
6. Medinilla Aldana, Beatriz Eugenia. **Manual de laboratorio de fitoquímica.** Universidad de San Carlos de Guatemala. Facultad de Ciencias Químicas y Farmacia. Escuela de Química Farmacéutica. Departamento de Farmacognosia y Fitoquímica. S.l. S.e. S.a.
7. Montgomery, Douglas C. **Diseño y análisis de experimentos.** Grupo editorial Iberoamérica. México 1991.

8. Ortiz Albures, Sergio Waldemar. Obtención y caracterización de los extractos crudos de “Psidium Guajava” a nivel planta piloto de extracción destilación por medio de tres métodos de extracción. Tesis de ingeniería química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1992.
9. Saravia M. *Et. Al.* **Determinación del potencial curtiente de los taninos extraídos de la corteza de dos especies forestales nativas guatemaltecas.** Centro de Investigaciones de Ingeniería, CII. Instituto de Investigaciones Agronómicas y Ambientales, IIA. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2004.
10. Saravia M. *Et. Al.* **Extracción y caracterización de taninos en corteza de 3 especies forestales cultivadas en Guatemala, pino ocote (*Pinus oocarpa* Schiede), encino negro (*Quercus brachystachys* Benth) y aliso común (*Alnus jorulensis* HBK). Una alternativa de desarrollo agroindustrial para el uso de taninos naturales.** Centro de investigaciones de ingeniería CII. Instituto de Investigaciones Agronómicas IIA. Dirección General de Investigación DIGI. Universidad de San Carlos de Guatemala, 2002.
11. Semarnap. **Colorantes y taninos.**  
<http://www.semarnat.gob.mx/pfnm/Taninos.html>. Abril 2006
12. Specher de León, Augusto Javier. Estudio de la extracción de divi-divi para uso industrial en Guatemala. Tesis de ingeniería química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 1994.
13. Suchini Leytán, José Manuel. Comparación de rendimientos de dos métodos de extracción de taninos (ácido pinutánico) a partir de la corteza del pino caribe (*Pinus caribaea*) a nivel laboratorio. Tesis de ingeniería química. Guatemala, Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de ingeniería, 2002.
14. Walpole, Ronald E. **Probabilidad y estadística.** 4<sup>a</sup> ed. Editorial McGraw-Hill. México 1992.

## APÉNDICE A

### CAOBA

*(Swietenia macrophylla K.)*

Sinónimos: *Swietenia belizensis* Lundell; *S. candollei* Pittier; *S. Krukovii* Gleason; *S. macrophylla* var. *marabaensis* Ledoux & Lobato; *S. tessmannii* Harms

Nombre común en Guatemala: Caoba.

Produce una de las maderas mas conocidas y apreciadas del mundo para muebles y ha sido comercializada y utilizada internacionalmente por mas de 400 años. Es una especie de crecimiento moderadamente rápido con características favorables para plantaciones, que puede producir madera de aserrío en turnos de rotación de 30 a 40 años. La principal desventaja a la plantación es su susceptibilidad al barrenador del tallo (*Hypsipyla grandella*). Este insecto puede atacar diversas estructuras del árbol, pero el daño principal lo causa al barrenar el brote principal en árboles jóvenes, lo cual provoca ramificación, bifurcaciones y así el valor comercial del árbol se ve disminuido o anulado.

La madera es conocida en todo el mundo por su atractivo acabado y figura altamente decorativa, así como por sus buenas propiedades para usos comerciales. Aunque se usa principalmente para muebles y chapas decorativas, su facilidad para trabajarla y su alta resistencia en comparación a su peso la hace apta para un gran número de usos como construcción ligera de embarcaciones, instrumentos musicales, modelos y maquetas. Tiene enorme valor comercial para la industria de tableros de calidad, aunque la variación en color, su grano ondulado, nudosidad y daños por el perforador, así como su escasez limitan un poco su aptitud para chapas de calidad.

También tiene un rango de usos menos frecuentes como medicinas, tintes y taninos en la corteza. La infusión de la corteza y semillas se usa contra diarrea y fiebre. La semilla es muy amarga y se ha usado para calmar el dolor de muelas. Contiene también aceites usados en la preparación de cosméticos.

Su distribución natural es amplia, desde la región atlántica del sureste de México a través de América Central, el norte de América del Sur (Colombia, Venezuela, Ecuador, Perú) y en el sur de la cuenca del Amazonas en Bolivia y Brasil.

Es un árbol no deciduo, de 30 a 45 m de altura habitualmente, pero que puede alcanzar los 50 m y 2 m de DAP. Produce un fuste largo y recto, cilíndrico, libre de ramas en los primeros 12-18 m, a menudo con grandes aletones. Las copas de los árboles mayores pueden alcanzar hasta 20 m de diámetro. La corteza es gris, lisa de joven, marrón oscura acanalada y escamosa de maduro. Sus hojas son compuestas, de 16-40 cm de largo, alternas y agrupadas al final de las ramillas. Cada hoja tiene 3-6 pares de hojuelas opuestas, 9-14 cm de largo. Sus flores son pequeñas, con cinco pétalos blanco amarillentos, agrupadas en inflorescencias axilares. Son unisexuales y el árbol es monoico. Sus frutos son cápsulas leñosas, erectas, 12-22 cm de largo por 6-10 cm de ancho. Cuando maduran y se secan las 4-5 valvas del fruto se abren desde la base. Las semillas quedan entonces expuestas y colgando por las alas en el centro del fruto. Cada fruto contiene 35-45 semillas aladas, color marrón y de 7.5-12 cm de largo incluyendo el ala.

## **APÉNDICE B**

### **CEDRO**

*(Cedrela odorata L.)*

Sinónimos: *Cedrela mexicana* Benth.; *Cedrela occidentalis* (L.) O. Kuntze; *Cedrela yucatanica* Blake.

Nombres comunes en Guatemala: cedro, yau c'haj.

Su principal producto es la madera de excelente calidad, que se usa para construcción ligera, decoración de interiores y construcción de barcos. Con ella se hacen muebles finos, instrumentos musicales, cajas de puros y carpintería y ebanistería en general. El olor de la madera hace que se use para joyeros, cajas de cigarros, gabinetes, etc., además de ser reportado el proteger frente a las polillas.

La infusión que se obtiene del cocimiento de hojas, raíz, madera y corteza se usa para bronquitis, dolor estomacal, problemas de la digestión, hemorragias, y epilepsia. Las semillas poseen propiedades vermífugas y la corteza abortivas y febrífugas.

Está distribuido naturalmente de México a Bolivia y norte de Argentina, y en el Caribe. Debido a su amplia distribución en América tropical forma parte de la flora nativa de la mayoría de países latinoamericanos, a excepción de Chile.

Crece hasta 30-40 m en altura y 100-300 cm DAP, con fuste cilíndrico. La forma depende de la profundidad del suelo, pues en suelos poco profundos desarrolla un extenso sistema radical superficial y aletones bien desarrollados, mientras que en suelos profundos y fértiles las raíces son profundas y el tronco aflautado. La copa es amplia y

rala. Las hojas son alternas, compuestas, paripinnadas, con 5-11 pares de hojuelas, lanceoladas a ovaladas que miden 5-16 cm de largo. Las flores son blanco verdosas, agrupadas en racimos de 30-50 cm al final de las ramas. Las cápsulas son inicialmente verdes y cambian a café oscuro cuando maduran. Son leñosas, redondeadas en ambos extremos y se abren a lo largo en 5 partes, cada una conteniendo 30-40 semillas. Las semillas son planas, ovoides, con un ala y miden 5-6 mm (18-20 mm incluyendo el ala). Se reconoce bien al machacar las hojas entre las manos pues dejan un cierto olor a ajo, y por la corteza de los adultos, muy fisurada a lo largo.

## APÉNDICE C

### MANCHICHE

*(Lonchocarpus phaseolifolius B.)*

Sinónimos: *L. costaricensis*: *Derris costaricensis* Donn. Smith. Pittier; *L. guatemalensis*; *L. darienensis* Pittier; *L. dumetorum* Brandegee; *L. megalanthus* Pittier; *L. proteranthus* Pittier; *L. xuul* Lundell; *L. heptaphyllus*: *Amerimnon latifolium* Willd.; *Cytisus membranaceus* Sessé & Moc.; *Dalbergia heptaphylla* Poir.; *D. pentaphylla* Poir.; *L. belizensis* Lundell; *L. latifolius* (Willd.) H.B.K.; *L. pentaphyllus* (Poir.) Kunth ex DC.; *L. castilloi*; *L. trifoliatus* Standl.; *L. rugosus*: *Lonchocarpus apricus* Lundell.

Nombres comunes en Guatemala: Manchiche, manchuch, chaperno, gusano y palo gusano.

La dureza y trabajabilidad de esta madera le hace tener usos similares a lo largo de su distribución en América Central. Tradicionalmente, se venía usando para yugos y ejes de carretas. Hoy día, sus usos principales son aquellos donde no hace excesiva falta trabajar mucho la madera, como construcción en general y rústica, donde el acabado y niveles de carpintería empleados no sean muy elevados. También se aprecia como leña y para estacas y postes de cercas. En este último caso, a veces necesitan ser tratadas, dependiendo de la durabilidad. Tiene gran potencial para pisos industriales y decorativos usando la adecuada tecnología. También se puede usar para mangos para herramientas. En general, es madera demasiado dura y pesada para contra chapado. Su madera es muy apreciada para embarcaciones de calado medio. Su corteza tiene una sustancia tóxica llamada rotenona, con propiedades insecticidas.

En Guatemala, se encuentra distribuida en Quiché, Alta Verapaz e Izabal, pero principalmente en Petén.

Es un árbol de hasta 30-35 m de altura y 1 m de DAP. La dureza y el grano de su madera (oblicuo o muy irregular) la hace difícil de trabajar con máquina o con herramientas manuales. La textura de la madera es áspera. Estas características la hacen muy resistente al ataque de insectos y a la descomposición.



## APÉNDICE D

### PUCTE

*(Terminalia hayesii P.)*

Sinónimos: *T. amazonia*: *Bucida angustifolia* DC.; *B. buceras* var. *angustifolia* (DC.) Eichler; *Chuncoa amazonia* J. F. Gmel.; *Chuncoa obovata* (Ruiz & Pav.) Pers.; *Gimbernatea obovata* Ruiz & Pav.; *Myrobalanus obovatus* Ruiz & Pav.; *Terminalia excelsa* Liebm. ex Hemsl.; *T. amazonia*; *T. obovata* (Ruiz & Pav.) Steud.; *T. odontoptera* Van Huerck & Muell. Arg. *T. lucida*: *T. firma* Mart.

Nombres comunes en Guatemala: canchán, canxún, kanshan, pocte y pucte.

Es un árbol grande, ampliamente distribuido en el bosque lluvioso y altamente valorado por su madera de alta calidad. Junto con su crecimiento moderado, aun en suelos de mediana fertilidad, falta de plagas o patógenos serios hasta la fecha, y habilidad aparente a prosperar en rodales puros, es un buen candidato para plantar a altitudes bajas hasta medianas.

Produce una madera dura y durable, que es cotizada en los mercados nacionales e internacionales. Por su alta fortaleza y acabado atractivo tiene diversos usos en construcción general, mueblería, pisos y construcción externa, incluyendo en durmientes para ferrocarriles y puentes. Se recomienda para mangos de herramientas, encofrados, puentes, pilotes, tarimas, pisos industriales, chapas parquet, barriles y puertas.

La corteza es rica en taninos y se utiliza para curar pieles de animales. También como ornamental atractivo a veces se encuentra en parques y áreas recreativas.

Tiene una amplia distribución natural desde el sur de México, a través de América Central hasta Brasil y Perú, incluyendo Trinidad. Es un componente de bosque lluvioso a lo largo de toda su distribución, y frecuente en bosques de galería (a la orilla de ríos).

Es un árbol grande de hasta 50 m de altura (típicamente 20-35 m) y 1.5 m de DAP. Los árboles maduros típicamente tienen gambas grandes, con fustes limpios y cilíndricos a alturas de hasta 20 m. Corteza delgada, gris-café, con fisuras verticales. Hojas pequeñas (2-4.5 cm de largo) simples, puntiagudas, con márgenes enteros. Se concentran en las puntas de las ramas. Flores pequeñas, 6 mm de diámetro, verdes y ubicadas en espigas cuando los árboles están brevemente sin hojas, en los meses más secos del año. El fruto es alado (sámara), café-dorado cuando está maduro, de 1.5-2 cm de ancho, con dos alas grandes y tres de menor tamaño. Cada fruto contiene una semilla amarillenta, pequeña (2mm).

## **APÉNDICE E**

### **SANTA MARÍA**

*(Calophyllum brasiliense C.)*

Sinónimos: *Calophyllum antillatum* Britton; *Calophyllum brasiliense* var. *antillatum* (Britton) Standl.; *Calophyllum brasiliensis*; *Calophyllum calaba* Jacq.; *Calophyllum chiapense* Standl.; *Calophyllum jacquini* Faw. & Rendle.; *Calophyllum reko*i Standl.

Nombres comunes en Guatemala: leche, leche amarilla, maría, marío y santa maría.

La madera ha sido utilizada para construcción de botes desde el siglo XVII. Actualmente es una de las especies forestales de mayor interés debido a la gama de usos que se puede dar a su madera, lo cual la ubica entre las especies más versátiles. Muchos madereros incluso la comparan con la caoba, debido a las cualidades de la madera. Se emplea para traviesas de ferrocarril, construcción marina, costillas, mástiles, quillas y pisos de embarcaciones, estructuras de puentes, postes, carpintería general, construcción de interiores y exteriores. También se considera buena para pulpa para papel.

Se ha extraído aceite de las semillas, que en algunas comunidades rurales se ha usado para iluminación y curar enfermedades cutáneas. La corteza, hervida por 25 minutos produce un tinte de color pardo, excelente en la tinción de fibras naturales. Las hojas pueden ser usadas en parches medicinales antiinflamatorios y en infusiones para el asma y problemas estomacales. Los frutos son buen alimento para cerdos. La resina, llamada bálsamo de maría, ha sido usada medicinalmente para controlar la comezón de la piel, cicatrizar úlceras y reducir inflamaciones. En Petén, se coloca en una tela, se calienta y se pone sobre el brazo para reducir su hinchazón. También tiene propiedades

laxantes. Los frutos y brotes tiernos de esta especie son fuente de alimento para una gran cantidad de animales del bosque.

Éste árbol se distribuye desde el sur de México a través de América Central y las Antillas hasta el norte de América del Sur, en las tierras bajas de Bolivia y Brasil. Ha sido plantada en las Islas Guadalupe, Florida, Hawai, Bermuda, Cuba, Dominicana y Puerto Rico, Costa Rica, Guatemala, México y Brasil.

Es un árbol grande, de hasta 45 m de altura, más comúnmente de 20-30 m y 40-60 cm de DAP, aunque puede llegar hasta 2 m, con fuste recto, cilíndrico, libre de ramas en los 2/3 basales, algunas veces con pequeños contrafuertes en la base. La copa es redondeada, densa, con ramas gruesas, ascendentes, torcidas. La corteza es lisa o con fisuras en forma de diamante, lo cual es una característica distintiva del árbol, de color gris o café grisáceo con algunas partes de color amarillento. Las hojas son típicamente lustrosas y brillantes, simples, enteras y opuestas. Algunos árboles producen solo flores masculinas, mientras que otros producen tanto masculinas como femeninas. Las flores son pequeñas, de color crema amarillento, en inflorescencias racimosas, generalmente mas cortas que las hojas. Sus frutos son bayas globosas de 1-3 cm de diámetro, de color verde pálido, amarillento a marrón en la madurez y pulpa de olor fragante. Contienen una sola semilla, ovoide o esférica, de testa gruesa y de color pardo.

## APÉNDICE F

### DATOS ORIGINALES

Tabla V. Extractos tánicos obtenidos (en gramos) para muestras de 100 gramos de corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes.

		Solvente	
		Agua	Solución acuosa sulfito de sodio
Especies forestales	Caoba	6.3	18.1
		9.4	23.8
		10.3	16.7
	Cedro	3.8	6.7
		3.2	15.7
		3.7	10.2
	Manchiche	7.1	9.3
		8.7	6.8
		8.1	14
	Pucte	6.8	17.8
		8.2	9.2
		4.6	11
	Santa María	2.8	9.7
		3.2	7.9
		2.9	9.1

Fuente: Análisis experimentales realizados en el laboratorio.

Tabla VI. Rendimiento en el extracto tánico. Taninos obtenidos (en gramos) para muestras de 1 gramo de extracto tánico obtenido de la corteza de las 5 especies forestales utilizando 2 solventes para la obtención del extracto.

		Solvente			
		Agua		Solución acuosa sulfito de sodio	
		Valor	Promedio	Valor	Promedio
<b>Especies forestales</b>	<b>Caoba</b>	0.6698	0.6917	0.6566	0.6404
		0.6358		0.6352	
		0.7696		0.6295	
	<b>Cedro</b>	0.6057	0.6417	0.2610	0.2467
		0.6273		0.3413	
		0.6921		0.1379	
	<b>Manchiche</b>	0.5497	0.5955	0.6991	0.5004
		0.6132		0.3914	
		0.6236		0.4108	
	<b>Pucte</b>	0.5252	0.4229	0.2847	0.2574
		0.3658		0.2320	
		0.3777		0.2555	
	<b>Santa María</b>	0.5585	0.5029	0.2835	0.3367
		0.4025		0.3587	
		0.5477		0.3679	

Fuente: Análisis experimentales realizados en el laboratorio.

Tabla VII. Resultados obtenidos para las pruebas cualitativas realizadas a los extractos obtenidos utilizando como solvente agua desmineralizada.

		<b>Solvente: agua desmineralizada</b>		
		<b>Sol. Ac. De gel. Al 1%</b>	<b>Sol. Ac. De gel. Y NaCl al 1% y 10% resp.</b>	<b>Coloración a la solución de cloruro férrico</b>
<b>Especies forestales</b>	<b>Caoba</b>	No precipita	Si precipita	Azul grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Azul grisáceo
		No precipita	Si precipita	Azul grisáceo
	<b>Cedro</b>	Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
	<b>Manchiche</b>	No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo
	<b>Pucte</b>	Si precipita	Si precipita	Azul grisáceo
		No precipita	Si precipita	Azul grisáceo
		No precipita	Si precipita	Azul grisáceo
	<b>Santa María</b>	No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo

Fuente: Análisis experimentales realizados en el laboratorio.

Tabla VIII. Resultados obtenidos para las pruebas cualitativas realizadas a los extractos obtenidos utilizando como solvente solución acuosa de sulfito de sodio al 2%.

		<b>Solvente: sol. ac. de sulfito de sodio al 2%</b>		
		<b>Sol. ac. de gel. al 1%</b>	<b>Sol. ac. de gel. y NaCl al 1% y 10% resp.</b>	<b>Coloración a la solución de cloruro férrico</b>
<b>Especies forestales</b>	<b>Caoba</b>	Si precipita	Si precipita	Azul grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Azul grisáceo
		No precipita	Si precipita	Azul grisáceo
	<b>Cedro</b>	Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
	<b>Manchiche</b>	No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		No precipita	Si precipita	Verde grisáceo
	<b>Pucte</b>	Si precipita	Si precipita	Azul grisáceo
		No precipita	Si precipita	Azul grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Azul grisáceo
	<b>Santa María</b>	Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo
		Si precipita	Si precipita	Verde grisáceo

Fuente: Análisis experimentales realizados en el laboratorio.



## APÉNDICE G

### DATOS CALCULADOS

Tabla IX. Tabla para el análisis de varianza del porcentaje de extracto tánico obtenido de la corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes.

		Solvente							
		Agua			Solución acuosa sulfito de sodio				
		$Y_{ijk}$	$Y_{ij\cdot}$	$\bar{Y}_{ij\cdot}$	$Y_{ijk}$	$Y_{ij\cdot}$	$\bar{Y}_{ij\cdot}$	$Y_{i\cdot\cdot}$	$\bar{Y}_{i\cdot\cdot}$
<b>Especie Forestal</b>	<b>Caoba</b>	6.3	26.0	8.67	18.1	58.6	19.53	84.60	14.10
		9.4			23.8				
		10.3			16.7				
	<b>Cedro</b>	3.8	10.7	3.57	6.7	32.6	10.87	43.30	7.22
		3.2			15.7				
		3.7			10.2				
	<b>Manchiche</b>	7.1	23.9	7.97	9.3	30.1	10.03	54.00	9.00
		8.7			6.8				
		8.1			14.0				
	<b>Pucte</b>	6.8	19.6	6.53	17.8	38.0	12.67	57.60	9.60
		8.2			9.2				
		4.6			11.0				
	<b>Santa María</b>	2.8	8.9	2.97	9.7	26.7	8.90	35.60	5.93
		3.2			7.9				
		2.9			9.1				
		<b><math>Y_{\cdot j\cdot}</math></b>	89.1			186.0		275.1	
		<b><math>\bar{Y}_{\cdot j\cdot}</math></b>	5.94			12.40			9.17

Fuente: Datos originales (véase apéndice F).

Tabla X. Tabla para el análisis de varianza del porcentaje de taninos obtenidos de la corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes.

		Solvente								
		Agua			Solución acuosa sulfito de sodio					
		$Y_{ijk}$	$Y_{ij\cdot}$	$\tilde{Y}_{ij\cdot}$	$Y_{ijk}$	$Y_{ij\cdot}$	$\tilde{Y}_{ij\cdot}$	$Y_{i\cdot\cdot}$		
<b>Especie Forestal</b>	<b>Caoba</b>	4.2	17.4	5.8	11.9	38.5	12.83	55.9	9.32	
		6.3			15.6					
		6.9			11.0					
	<b>Cedro</b>	2.5	7.2	2.39	4.4	21.4	7.14	28.6	4.76	
		2.1			10.3					
		2.5			6.7					
	<b>Manchiche</b>	4.8	16.0	5.34	6.1	19.8	6.59	35.8	5.96	
		5.8			4.5					
		5.4			9.2					
	<b>Pucte</b>	4.6	13.1	4.38	11.7	25.0	8.32	38.1	6.35	
		5.5			6.0					
		3.1			7.2					
	<b>Santa María</b>	1.9	6.0	1.99	6.4	17.5	5.84	23.5	3.92	
		2.1			5.2					
		1.9			6.0					
		$Y_{\cdot j\cdot}$	59.7			122.1		181.8		
		$\tilde{Y}_{\cdot j\cdot}$	3.98			8.14			6.06	

Fuente: Datos originales (véase apéndice F).

Tabla XI. Tabla de análisis de varianza del porcentaje de extracto tánico obtenido de la corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes (modelo bifactorial).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F <sub>0</sub>
Tratamientos A	232.86	4	58.22	7.46
Tratamientos B	312.99	1	312.99	40.13
Interacción	59.72	4	14.93	1.91
Error	156.00	20	7.80	
Total	761.56	29		

Fuente: Datos calculados.

Tabla XII. Tabla de análisis de varianza del porcentaje de taninos obtenido de la corteza de las 5 especies forestales trabajadas utilizando 2 solventes (modelo bifactorial).

Fuente de variación	Suma de cuadrados	Grados de libertad	Media de cuadrados	F <sub>0</sub>
Tratamientos A	103.00	4	25.75	7.69
Tratamientos B	129.79	1	129.79	38.74
Interacción	26.07	4	6.52	1.95
Error	66.91	20	3.35	
Total	325.77	29		

Fuente: Datos calculados.

Tabla XIII. Tabla de comparaciones múltiples de medias de Tukey para el porcentaje de extracto tánico obtenido.

Especie (I)	Especie (J)	Diferencia entre medias (I-J)	Std. Error	Significancia	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Caoba	Cedro	6.883	1.6125	0.003	2.058	11.708
	Manchiche	5.1	1.6125	0.035	0.275	9.925
	Pucte	4.5	1.6125	0.075	-0.325	9.325
	StaMaria	8.167	1.6125	0.001	3.342	12.992
Cedro	Caoba	-6.883	1.6125	0.003	-11.708	-2.058
	Manchiche	-1.783	1.6125	0.801	-6.608	3.042
	Pucte	-2.383	1.6125	0.587	-7.208	2.442
	StaMaria	1.283	1.6125	0.929	-3.542	6.108
Manchiche	Caoba	-5.1	1.6125	0.035	-9.925	-0.275
	Cedro	1.783	1.6125	0.801	-3.042	6.608
	Pucte	-0.6	1.6125	0.996	-5.425	4.225
	StaMaria	3.067	1.6125	0.348	-1.758	7.892
Pucte	Caoba	-4.5	1.6125	0.075	-9.325	0.325
	Cedro	2.383	1.6125	0.587	-2.442	7.208
	Manchiche	0.6	1.6125	0.996	-4.225	5.425
	StaMaria	3.667	1.6125	0.194	-1.158	8.492
Sta. María	Caoba	-8.167	1.6125	0.001	-12.992	-3.342
	Cedro	-1.283	1.6125	0.929	-6.108	3.542
	Manchiche	-3.067	1.6125	0.348	-7.892	1.758
	Pucte	-3.667	1.6125	0.194	-8.492	1.158

Fuente: Software para estadística SPSS.

Tabla XIV. Tabla de comparaciones múltiples de medias de Tukey para el porcentaje de taninos obtenido.

Especie (I)	Especie (J)	Diferencia entre medias (I-J)	Std. Error	Significancia	Intervalo de confianza 95%	
					Límite inferior	Límite superior
Caoba	Cedro	4.567	1.0599	0.003	1.395	7.738
	Manchiche	3.35	1.0599	0.035	0.178	6.522
	Pucte	2.967	1.0599	0.074	-0.205	6.138
	Sta. María	5.4	1.0599	0	2.228	8.572
Cedro	Caoba	-4.567	1.0599	0.003	-7.738	-1.395
	Manchiche	-1.217	1.0599	0.78	-4.388	1.955
	Pucte	-1.6	1.0599	0.568	-4.772	1.572
	Sta. María	0.833	1.0599	0.932	-2.338	4.005
Manchiche	Caoba	-3.35	1.0599	0.035	-6.522	-0.178
	Cedro	1.217	1.0599	0.78	-1.955	4.388
	Pucte	-0.383	1.0599	0.996	-3.555	2.788
	Sta. María	2.05	1.0599	0.332	-1.122	5.222
Pucte	Caoba	-2.967	1.0599	0.074	-6.138	0.205
	Cedro	1.6	1.0599	0.568	-1.572	4.772
	Manchiche	0.383	1.0599	0.996	-2.788	3.555
	Sta. María	2.433	1.0599	0.187	-0.738	5.605
Sta. María	Caoba	-5.4	1.0599	0	-8.572	-2.228
	Cedro	-0.833	1.0599	0.932	-4.005	2.338
	Manchiche	-2.05	1.0599	0.332	-5.222	1.122
	Pucte	-2.433	1.0599	0.187	-5.605	0.738

Fuente: Software para estadística SPSS.



## APÉNDICE H

### PUNTOS PORCENTUALES DE LA DISTRIBUCIÓN F

$F_{\alpha, v_1/v_2}$		Grados de libertad para el numerador ( $v_1$ )																			
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	12	15	20	24	30	40	60	120	$\infty$	
$v_2$	1	161.4	199.5	215.7	224.6	230.2	234.0	236.8	238.9	240.5	241.9	243.9	245.9	248.0	249.1	250.1	251.1	252.2	253.3	254.3	
	2	18.51	19.00	19.16	19.25	19.30	19.33	19.35	19.37	19.38	19.40	19.41	19.43	19.45	19.46	19.47	19.48	19.49	19.50	19.50	
3	10.13	9.55	9.28	9.12	9.01	8.94	8.89	8.85	8.81	8.79	8.74	8.70	8.66	8.64	8.62	8.59	8.57	8.55	8.53		
4	7.71	6.94	6.59	6.39	6.26	6.16	6.09	6.04	6.00	5.96	5.91	5.86	5.80	5.77	5.75	5.72	5.69	5.66	5.63		
5	6.61	5.79	5.41	5.19	5.05	4.95	4.88	4.82	4.77	4.74	4.68	4.62	4.56	4.53	4.50	4.46	4.43	4.40	4.36		
6	5.99	5.14	4.76	4.53	4.39	4.28	4.21	4.15	4.10	4.06	4.00	3.94	3.87	3.84	3.81	3.77	3.74	3.70	3.67		
7	5.59	4.74	4.35	4.12	3.97	3.87	3.79	3.73	3.68	3.64	3.57	3.51	3.44	3.41	3.38	3.34	3.30	3.27	3.23		
8	5.32	4.46	4.07	3.84	3.69	3.58	3.50	3.44	3.39	3.35	3.28	3.22	3.15	3.12	3.08	3.04	3.01	2.97	2.93		
9	5.12	4.26	3.86	3.63	3.48	3.37	3.29	3.23	3.18	3.14	3.07	3.01	2.94	2.90	2.86	2.83	2.79	2.75	2.71		
10	4.96	4.10	3.71	3.48	3.33	3.22	3.14	3.07	3.02	2.98	2.91	2.85	2.77	2.74	2.70	2.66	2.62	2.58	2.54		
11	4.84	3.98	3.59	3.36	3.20	3.09	3.01	2.95	2.90	2.85	2.79	2.72	2.65	2.61	2.57	2.53	2.49	2.45	2.40		
12	4.75	3.89	3.49	3.26	3.11	3.00	2.91	2.85	2.80	2.75	2.69	2.62	2.54	2.51	2.47	2.43	2.38	2.34	2.30		
13	4.67	3.81	3.41	3.18	3.03	2.92	2.83	2.77	2.71	2.67	2.60	2.53	2.46	2.42	2.38	2.34	2.30	2.25	2.21		
14	4.60	3.74	3.34	3.11	2.96	2.85	2.76	2.70	2.65	2.60	2.53	2.46	2.39	2.35	2.31	2.27	2.22	2.18	2.13		
15	4.54	3.68	3.29	3.06	2.90	2.79	2.71	2.64	2.59	2.54	2.48	2.40	2.33	2.29	2.25	2.20	2.16	2.11	2.07		
16	4.49	3.63	3.24	3.01	2.85	2.74	2.66	2.59	2.54	2.49	2.42	2.35	2.28	2.24	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01		
17	4.45	3.59	3.20	2.96	2.81	2.70	2.61	2.55	2.49	2.45	2.38	2.31	2.23	2.19	2.15	2.10	2.06	2.01	1.96		
18	4.41	3.55	3.16	2.93	2.77	2.66	2.58	2.51	2.46	2.41	2.34	2.27	2.19	2.15	2.11	2.06	2.02	1.97	1.92		
19	4.38	3.52	3.13	2.90	2.74	2.63	2.54	2.48	2.42	2.38	2.31	2.23	2.16	2.11	2.07	2.03	1.98	1.93	1.88		
20	4.35	3.49	3.10	2.87	2.71	2.60	2.51	2.45	2.39	2.35	2.28	2.20	2.12	2.08	2.04	1.99	1.95	1.90	1.84		
21	4.32	3.47	3.07	2.84	2.68	2.57	2.49	2.42	2.37	2.32	2.25	2.18	2.10	2.05	2.01	1.96	1.92	1.87	1.81		
22	4.30	3.44	3.05	2.82	2.66	2.55	2.46	2.40	2.34	2.30	2.23	2.15	2.07	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.78		
23	4.28	3.42	3.03	2.80	2.64	2.53	2.44	2.37	2.32	2.27	2.20	2.13	2.05	2.01	1.96	1.91	1.86	1.81	1.76		
24	4.26	3.40	3.01	2.78	2.62	2.51	2.42	2.36	2.30	2.25	2.18	2.11	2.03	1.98	1.94	1.89	1.84	1.79	1.73		
25	4.24	3.39	2.99	2.76	2.60	2.49	2.40	2.34	2.28	2.24	2.16	2.09	2.01	1.96	1.92	1.87	1.82	1.77	1.71		
26	4.23	3.37	2.96	2.74	2.59	2.47	2.39	2.32	2.27	2.22	2.15	2.07	1.99	1.95	1.90	1.85	1.80	1.75	1.69		
27	4.21	3.35	2.96	2.73	2.57	2.46	2.37	2.31	2.25	2.20	2.13	2.06	1.97	1.93	1.88	1.84	1.79	1.73	1.67		
28	4.20	3.34	2.95	2.71	2.56	2.45	2.36	2.29	2.24	2.19	2.12	2.04	1.96	1.91	1.87	1.82	1.77	1.71	1.65		
29	4.18	3.33	2.93	2.70	2.55	2.43	2.35	2.28	2.22	2.18	2.10	2.03	1.94	1.90	1.85	1.81	1.75	1.70	1.64		
30	4.17	3.32	2.92	2.69	2.53	2.42	2.33	2.27	2.21	2.16	2.09	2.01	1.93	1.89	1.84	1.79	1.74	1.68	1.62		
40	4.08	3.23	2.84	2.61	2.45	2.34	2.25	2.18	2.12	2.08	2.00	1.92	1.84	1.79	1.74	1.69	1.64	1.58	1.51		
60	4.00	3.15	2.76	2.53	2.37	2.25	2.17	2.10	2.04	1.99	1.92	1.84	1.75	1.70	1.65	1.59	1.53	1.47	1.39		
120	3.92	3.07	2.68	2.45	2.29	2.17	2.09	2.02	1.96	1.91	1.83	1.75	1.66	1.61	1.55	1.50	1.44	1.38	1.30		
$\infty$	3.84	3.00	2.60	2.37	2.21	2.10	2.01	1.94	1.88	1.83	1.75	1.67	1.57	1.52	1.46	1.39	1.32	1.25	1.17		

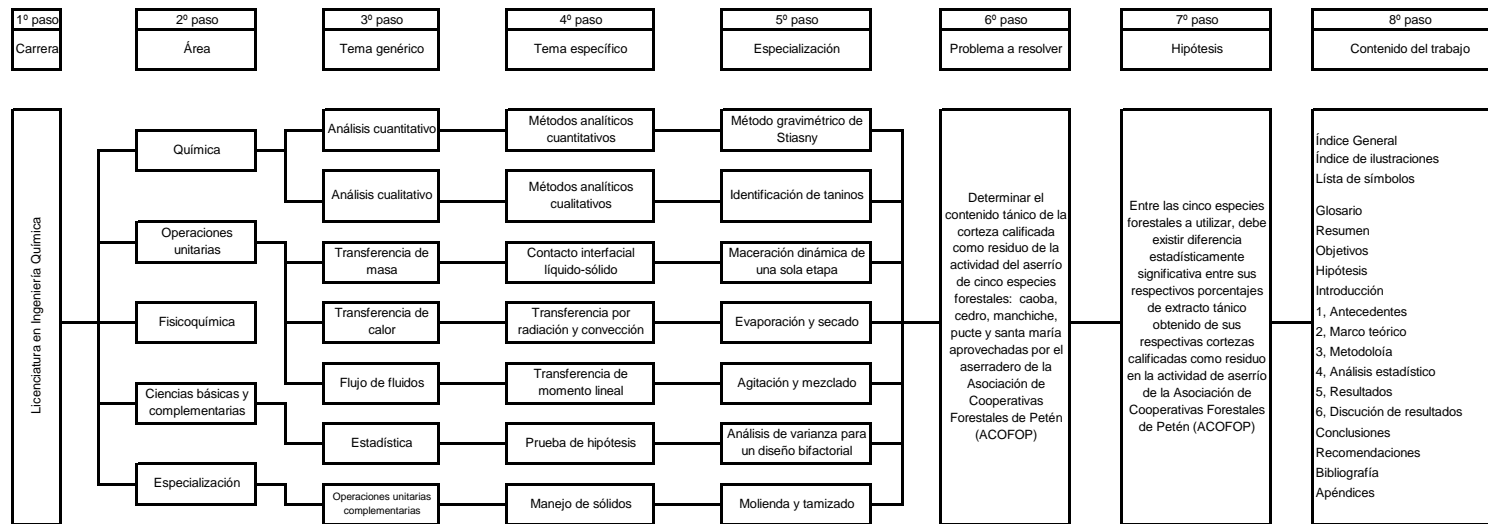
Fuente: Apéndice de bibliografía 7





# DETERMINACIÓN DEL CONTENIDO TÁNICO EN LA CORTEZA DE CINCO ESPECIES FORESTALES APROVECHADAS EN EL ASERRADERO DE LA ASOCIACIÓN DE COOPERATIVAS FORESTALES DE

## Cuadro de cursos relacionados



**APÉNDICE I**

