

U N I V E R S I D A D D E C O N C E P C I O N

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Silvicultura

CARACTERIZACION DE *SALIX VIMINALIS* ACORDE A SU CONTENIDO DE
EXTRAIBLES Y CAPACIDAD ENERGETICA TOTAL



MEMORIA PARA OPTAR
AL TITULO DE
INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE
1998

CARACTERIZACION DE *SALIX VIMINALIS* ACORDE A SU CONTENIDO DE
EXTRAIBLES Y CAPACIDAD ENERGETICA TOTAL

Profesor Asesor ~~Sara Gnecco Donoso~~
 Profesora Asociada;
 Licenciada en Química;
 Dra. en Ciencias Químicas

Profesor Asesor ~~Jaime Rodríguez Gutiérrez~~
 Profesor Asistente; Químico;
 Dr. en Química

Director Departamento
 Silvicultura ~~Eduardo Peña Fernández~~
 Profesor Asistente;
 Ingeniero Forestal; M.Sc.

Decano Facultad de Ciencias
 Forestales ~~Jaime García Sandoval~~
 Profesor Asociado;
 Ingeniero Forestal

Calificación de la memoria de título:

Sara Gnecco Donoso	:	96	puntos
Jaime Rodríguez Gutiérrez	:	96	puntos

*Ante todo, quiero agradecer a Dios
por sobre todas las cosas...*

Agradecimientos

- A la profesora Dra. Sara Gnecco, por su comprensión, incondicional apoyo y valiosa ayuda en mi formación personal.
- A la Dra. Juanita Freer y al profesor Dr. Jaime Rodríguez, por su valiosa cooperación en el desarrollo de esta tesis.
- A todo el personal del Departamento de Química Orgánica.
- A todos mis amigos y docentes del Laboratorio de Recursos Renovables por su paciencia y cooperación en el trabajo de esta tesis.
- A Carmen Durán V. Por sus valiosos consejos y constante preocupación.
- A Marta Abalos de INFOR Santiago por su colaboración en la recolección de muestras y apoyo financiero.
- A todos mis amigos y familiares que contribuyeron de alguna u otra manera al desarrollo de este trabajo.

Muchas Gracias

INDICE DE MATERIAS

CAPITULOS	PAGINA	
I	INTRODUCCION.....	1
	1.1 Perspectiva energética mundial.....	1
	1.2 Situación energética de Chile.....	2
	1.3 Biomasa como fuente de energía y ma- terias primas.....	2
	1.4 Madera: Composición química y rendi- miento energético.....	4
	1.4.1 Composición química.....	4
	1.4.2 Rendimiento energético.....	6
	1.5 Elección de la especie <i>S. viminialis</i> ..	7
	1.6 Características de la especie.....	7
	1.6.1 Características botánicas.....	8
	1.6.2 Beneficios ambientales.....	9
	1.6.3 La especie en Chile.....	9
	1.6.4 Problemas percibidos.....	10
	1.7 Objetivo del estudio.....	11
II	MATERIALES Y METODOS.....	12
	2.1 Materiales de laboratorio.....	12
	2.1.1 Reactivos.....	12
	2.1.2 Aparato de extracción.....	12
	2.1.3 Equipos.....	12
	2.1.3.1 Análisis elemental cuantita- tivo (AEC).....	12
	2.1.3.2 Análisis espectroscópico.....	12
	2.1.3.3 Análisis térmico.....	13

	2.2 Obtención y preparación de las muestras.....	13
	2.2.1 Obtención de muestras.....	13
	2.2.2 Preparación de las muestras y determinación del contenido de humedad.....	14
	2.2.3 Método de extracción.....	14
	2.2.4 Análisis de residuos y extractos.....	15
III	RESULTADOS Y DISCUSION.....	16
	3.1 Contenido de humedad y porcentaje madera- corteza.....	16
	3.2 Cuantificación de extraíbles.....	16
	3.3 Análisis espectroscópico de los extractos.....	17
	3.3.1 Análisis del extracto 1: Benceno-Etanol.....	22
	3.3.2 Análisis del extracto 2: Etanol..	22
	3.3.3 Análisis del extracto 3: Agua destilada.....	23
	3.4 Determinación del poder calórico.....	23
	3.5 Razón molar C:H.....	25
	3.6 Análisis térmico.....	25
	3.6.1 Calorimetría Diferencial de Barrido(CDB).....	25
	3.6.1.1 Efecto de los extraíbles.....	29
	3.6.2 Termogravimetría(TGA).....	29
IV	CONCLUSIONES.....	31
	5.1 Proyecciones.....	32
V	RESUMEN.....	33
	SUMMARY.....	34
VI	BIBLIOGRAFIA.....	35



INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
	<u>En el</u>	
	<u>texto</u>	
1	Ventajas y desventajas de la biomasa como combustible.....	3
2	Procesos de conversión de la biomasa.....	4
3	Origen y época de recolección de las muestras de <i>S. viminalis</i>	13
4	Cuantificación de extraíbles de la corteza de <i>S. viminalis</i> de diferentes procedencias.....	16
5	Cuantificación de extraíbles de la madera de <i>S. viminalis</i> de diferentes procedencias.....	17
6	Información de los principales grupos funcionales presentes en los extractos de <i>S. viminalis</i> utilizando análisis infrarrojo(IR).....	18
7	Información de los principales grupos funcionales presentes en los extractos de <i>S. viminalis</i> utilizando RMN de ^1H	19
8	Información de los principales grupos funcionales posiblemente presentes en los extractos de <i>S. viminalis</i> utilizando RMN de ^{13}C	20

9	Calor de combustión y razón molar C:H para las distintas procedencias de <i>S. viminalis</i>	24
---	--	----

En el

apéndice

1	Análisis elemental cuantitativo de muestras de <i>S. viminalis</i> provenientes de Chimbarongo.....	39
2	Análisis elemental cuantitativo de muestras de <i>S. viminalis</i> provenientes de Concepción.....	40
3	Análisis elemental cuantitativo de muestras de <i>S. viminalis</i> provenientes de Angol.....	40
4	Análisis elemental cuantitativo de muestras de <i>S. viminalis</i> provenientes de Coyhaique.....	41

INDICE DE FIGURAS

FIGURA N°		PÁGINA
<u>En</u>	<u>el</u>	
	<u>texto</u>	
1	Fuentes energéticas de Chile.....	2
2	Componentes químicos de la madera.....	5
3	Forma arbórea de <i>Salix sp.</i> , detalle de flor y ramillas.....	8
4	Esquema de extracción de <i>S. viminalis</i> utilizando diferentes solventes.....	14
5	Espectro infrarrojo de extracto soluble en benceno- etanol proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> de Concepción.....	21
6	Espectro infrarrojo de extracto soluble en etanol proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> Concepción.....	21
7	Espectro infrarrojo de extracto soluble en agua destilada proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> de Concepción.....	21
8	Termografía de madera de <i>S. viminalis</i> proveniente de Chimbarongo.....	26
9	Termografía comparativa: Corteza sin extraer v/s extraída con benceno- etanol proveniente de corteza de Concepción.....	30
<u>En</u>	<u>el</u>	
	<u>apéndice</u>	
1A	Espectro de RMN de ^1H del extracto soluble en benceno- etanol proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> de Concepción....	42
	Espectro de RMN de ^1H del extracto	

2A	soluble en etanol proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> de Concepción.....	42
3A	Espectro de RMN de ^1H del extracto soluble en agua destilada proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> de Concepción....	42
4A	Espectro de RMN de ^{13}C del extracto soluble en benceno- etanol proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> de Concepción...	43
5A	Espectro RMN de ^{13}C del extracto soluble en etanol proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> de Concepción	43
6A	Espectro de RMN de ^{13}C del extracto soluble en agua destilada proveniente de corteza de <i>S. viminalis</i> de Concepción...	43



I INTRODUCCION

1.1 Perspectiva energética mundial.

La principal fuente energética del mundo la constituyen los combustibles fósiles, que abastecen alrededor de un 80% del consumo total de energía. Entre éstos el más utilizado es el petróleo, con una participación de aproximadamente el 40% del total mundial(1). Este combustible, no renovable, es una de las mayores fuentes de la actual contaminación, a través de sus emisiones de SO_x, CO₂ y NO_x, siendo estos últimos los causantes directos de la lluvia ácida y del efecto invernadero (2). Lo anterior, sumado a las crisis energéticas de 1973 y 1980, la Guerra del Golfo, otros conflictos internacionales y las desventajas de importar recursos, hacen necesaria la búsqueda de energías alternativas para reducir la dependencia del petróleo (3, 4).

Dentro de las fuentes energéticas alternativas al petróleo destacan: carbón, gas natural, energía nuclear, geotérmica, eólica, hidroeléctrica y solar entre otras (2, 5). Las dos primeras, al igual que el petróleo, son combustibles fósiles no renovables además de contaminantes. La energía nuclear es peligrosa, debido a la radiación que emite y el manejo de sus residuos. Las energías geotérmica, eólica y solar solucionan muchos de los inconvenientes antes mencionados, sin embargo, es imposible pensar en una sustitución total de los combustibles fósiles en el corto plazo (3).

1.2 Situación energética de Chile.

En Chile, al igual que en el resto del mundo, la principal fuente energética la constituyen los combustibles fósiles (Figura 1). Éstos, si bien son producidos en nuestro país, no alcanzan para abastecer el mercado. Por ello cerca de un 90% proviene de importaciones, con los perjuicios económicos que ello implica. De lo anterior se desprende que cualquier fuente de energía producida en Chile, permitiría un ahorro de divisas (4, 6, 7).

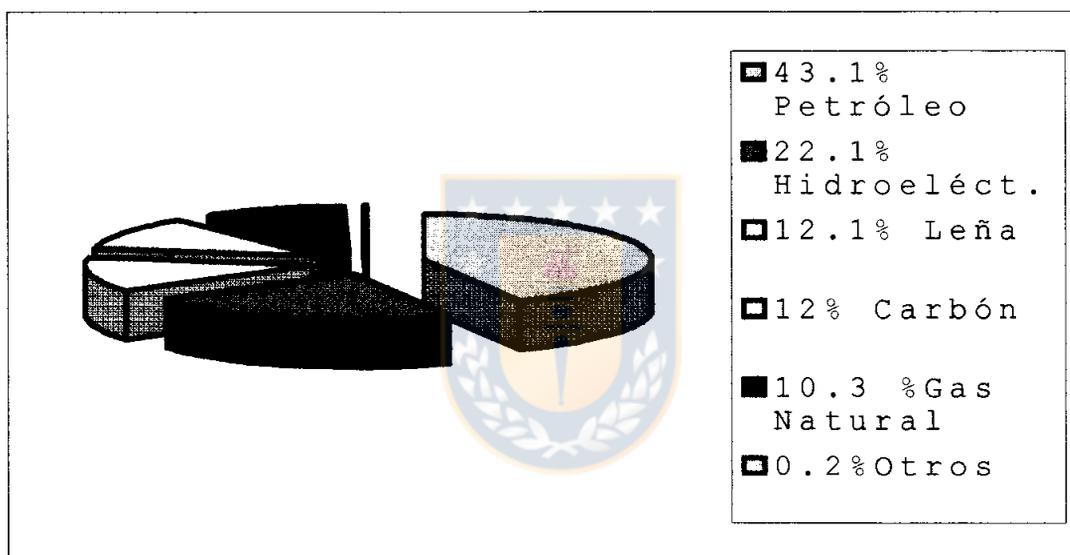


Figura 1. Fuentes energéticas de Chile.

1.3 Biomasa como fuente de energía y materias primas.

La energía obtenida a partir de la biomasa, considerada clave para el futuro, proviene de la única transformación biológica de la energía solar. Puede obtenerse de la reutilización de desechos o desde cultivos energéticos, es decir, plantaciones de especies de rápido crecimiento con esos fines. (10, 18, 22).

El uso de la biomasa como combustible, comparada con el uso de combustibles fósiles presenta tanto ventajas como desventajas, éstas se encuentran resumidas en la Tabla 1 (4, 8, 9).

Tabla 1. Ventajas y desventajas de la biomasa como combustible.

Ventajas	Desventajas
1. Recurso renovable, no incrementa el CO ₂ de la atmósfera.	1. Contenido térmico relativamente bajo en comparación con los combustibles fósiles.
2. Materia prima de fácil obtención y de precio relativamente bajo.	2. Alto contenido de humedad, con consiguientes pérdidas de energía.
3. Procesos de conversión biológica tienen potencial de conservar el componente nitrógeno del suelo.	3. Baja densidad, debe manejarse en grandes volúmenes. Posee forma poco homogénea y es de difícil manipulación.

Sin embargo, algunos de los inconvenientes del uso de este tipo de energía tiene solución mediante procesos de conversión (Tabla 2). Estos se realizan principalmente para remover el contenido de humedad, que a su vez mejora la conservación y aumenta el contenido calórico del combustible. Los procesos de conversión pueden dar origen a una gran gama de productos entre los que destacan el etanol, metanol y diesel (4, 8, 9, 10, 11).

Tabla 2. Procesos de conversión de biomasa.

Tipo de conversión	Proceso	Productos posibles
Bioquímica	Digestión Anaeróbica	Metano
	Fermentación Enzimática	Etanol
	Fermentación Aeróbica	Compost
	Combustión directa	Calor, vapor, electricidad
Térmica	Pirólisis gasificación	Carbón, petróleo y gas

La elección de una especie arbórea para un cultivo productor de bioenergía, dependerá no sólo de sus propiedades biológicas (rendimiento de biomasa por ha o velocidad de crecimiento), sino también de las propiedades físicas y químicas de su madera tales como: contenido de humedad, densidad, calor de combustión, contenido de extraíbles, holocelulosa, lignina, alfacelulosa y cenizas (9, 12).

1.4 Madera: Composición química y rendimiento energético.

1.4.1 Composición química. Tanto la madera como la corteza están compuestas principalmente de celulosa, poliosas, lignina, cenizas y extraíbles, sólo varía su proporción (Figura 2) (13, 14, 15).

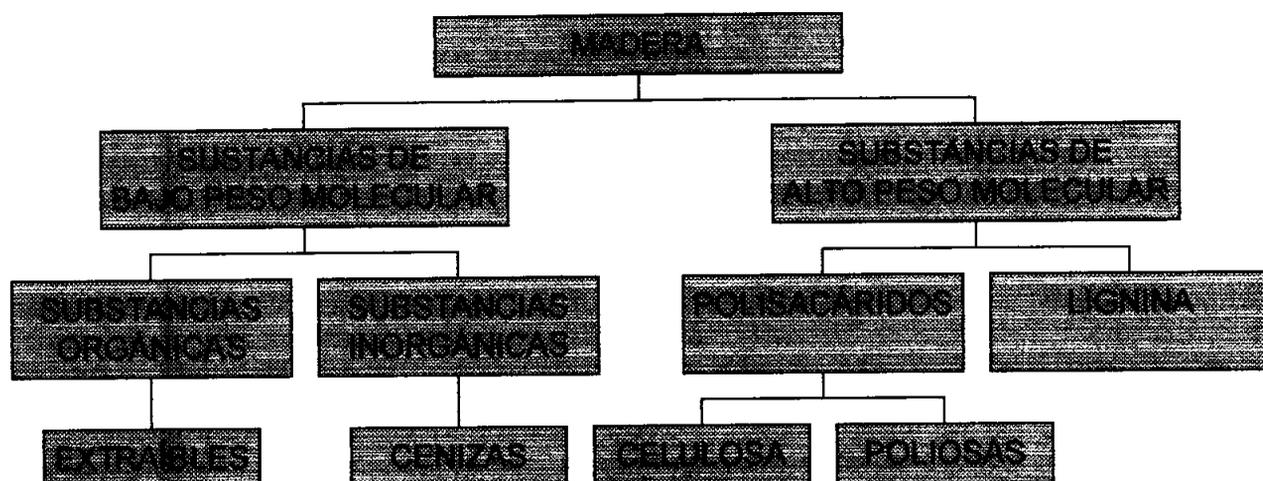


Figura 2. Componentes químicos de la madera.

Los extraíbles son compuestos orgánicos solubles en solventes polares y no polares, de ellos se pueden obtener una serie de productos potencialmente útiles en la fabricación de adhesivos, paneles, impermeabilizantes; además se usan en las industrias de minería y curtiembre, entre otros.

Entre los extraíbles de la madera se encuentran: compuestos alifáticos (ceras y grasas), terpenos, terpenoides y compuestos fenólicos. La corteza contiene los compuestos anteriores, presentes en mayor variedad y cantidad. Los extraíbles de maderas duras están compuestos, principalmente, de grasas, ceras y esteroides, éstos varían según la especie, individuo e incluso dentro de un mismo árbol(14, 15, 16).

1.4.2 Rendimiento energético. Las cantidades relativas de los diversos componentes de la madera y de la corteza afectan no sólo el calor de combustión, sino también la energía neta liberada y la velocidad de liberación de energía bajo diferentes condiciones de pirólisis¹ y combustión (17).

A temperaturas elevadas de pirólisis, se produce carbonización y una variedad de productos volátiles, algunos de los cuales podrían condensarse a la forma líquida. Las proporciones relativas de estos productos, dependen tanto de la composición del combustible como de su temperatura de reacción, velocidad de calentamiento y disponibilidad de oxígeno (18).

En consecuencia, la composición del combustible y las condiciones del proceso utilizado tienen una fuerte influencia sobre los productos de reacción y la velocidad o liberación de calor. Así, las reacciones de pirólisis y combustión proveen medios de convertir biomasa a distintos tipos de combustibles sólidos, líquidos o gaseosos, con o sin producción de otros compuestos químicos que se podrían separar desde los productos de pirólisis (17).

¹ Pirólisis: Rompimiento térmico o destilación destructiva de hidrocarburos en una atmósfera inerte.

1.5 Elección de la especie *Salix viminalis*.

En otros países existe vasta experiencia sobre silvicultura y rendimientos de especies de rápido crecimiento, especialmente sobre los géneros *Salix* sp. y *Populus* sp. (12, 19). Es así como en Suecia un 18% de la energía requerida, es producida a partir de estas especies, fundamentalmente de *S. viminalis* (20).

En plantaciones de *S. viminalis* con fines artesanales, en Chile (Chimbarongo, VI región) se han obtenido rendimientos de hasta 12 t/ha de material seco al año. Esto representa una ventaja comparativa, si se considera que en Suecia, incluyendo silvicultura, manejo y mejoramiento genético, se logran 10 t/ha de materia seca anuales (20, 21, 22).

De lo anterior se deduce que *S. viminalis* es una especie de rápido crecimiento, adecuada para la producción de biomasa y que potencialmente podría ser utilizada con fines económicos.

1.6 Características de la especie.

El *S. viminalis* (Figura 3) es conocido en Chile con el nombre común de mimbre, y durante muchos años ha sido utilizado como fuente de materia prima para la fabricación de muebles, cestos y artesanías.

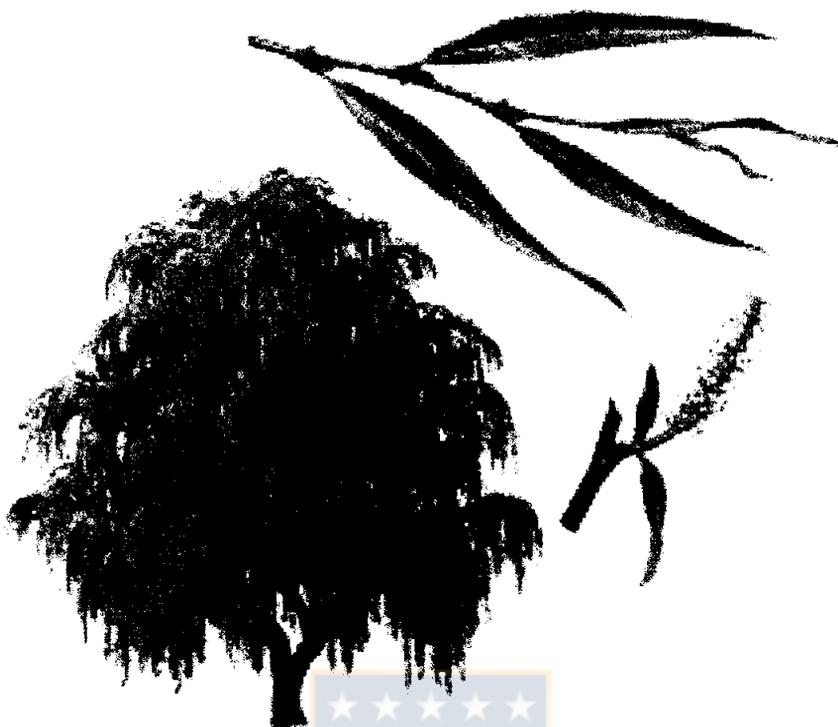


Figura 3. Forma arbórea de *Salix* sp., detalle de flor y ramillas.

1.6.1 Característica botánicas. *S. viminalis* crece entre cuatro a cinco metros de altura, aunque en ocasiones suele alcanzar la forma arbórea y crecer hasta 10 m de altura; posee ramas largas y flexibles, cubiertas de corteza amarilla. Las hojas son lineares, con márgenes irregulares y nerviación central amarillenta, son alternas caducas con pecíolo corto. Su fruto es una cápsula sésil, cubierta de pilosidad. Su propagación se realiza mediante semillas, por esqueje o por propágulos² y su hábitat son los lugares húmedos y frescos (23, 24)

² Propágulo: tallo que emite raíces por aquellos nudos que entran en contacto con el suelo.

1.6.2 Beneficios ambientales. La energía que se puede obtener a partir de *S. viminalis* no tiene emisiones netas de CO₂, por lo que no contribuye al efecto invernadero. Además, es uno de los tipos de combustibles obtenidos a partir de biomasa más eficientes en lo que a rendimiento energético se refiere, ya que la energía generada supera 19 veces a la requerida para producirla (20).

Esta especie posee además la facultad no sólo de tolerar, sino también absorber los metales pesados presentes en el suelo, y así recuperar terrenos para otros fines (19, 20). Las aguas contaminadas y servidas son utilizadas por el *Salix* sp. como fuente de fertilizantes, entregando como producto aguas más limpias que podrían ser reutilizadas (20).

Finalmente, se puede agregar que el *Salix* sp., protege de la erosión, mejora los suelos, el entorno de ríos, lagos y cursos de agua en general, con todos los beneficios paisajísticos que ello conlleva (19).

1.6.3 La especie en Chile. En nuestro país las condiciones climáticas para el mimbre son favorables, prueba de ello es que la especie ha crecido en forma silvestre desde la VI a la XII Región. En Coyhaique, la especie se ha adaptado de manera tal, que suele crecer hasta convertirse en árbol, sin ningún tipo de manejo, situación no observada en ninguna otra parte del país (21).

Esta especie se ajusta también a las tierras de secano, resiste la sequía, heladas y nieve. Se puede cosechar anualmente, debido a que se extraen sólo las ramas y rebrota con gran facilidad a partir de su sistema radicular, bien establecido (24).

1.6.4 Problemas percibidos.

Los principales problemas de establecer *Salix* sp., son similares a los de introducir cualquier cultivo energético y dependen del material propiamente tal (desventajas de la biomasa como combustible) y del entorno.

Al establecer monocultivos podrían existir problemas con plagas y enfermedades por la reducida variedad genética y problemas con uso de fertilizantes y herbicidas a gran escala. Por otra parte los problemas que pueden surgir con los campesinos al tratar de cambiar el uso de sus tierras que por años se han dedicado a la agricultura convencional(20).

1.7 Objetivo del estudio.

Considerando que las ventajas de esta especie priman sobre sus inconvenientes, se ha dado inicio a este estudio que tiene por objetivo caracterizar desde el punto de vista energético y de su composición química muestras de distintas procedencias. Los resultados permitirán evaluar la conveniencia de establecer masivamente cultivos de *S. viminalis* en el país, con el fin de disponer de una fuente alternativa de bioenergía.



II MATERIALES Y METODOS

2.1 Materiales de laboratorio.

2.1.1 Reactivos.

Etanol P.A. Merck.

Benceno P.A. Merck.

2.1.2 Aparato de extracción.

Equipo Soxhlet.

2.1.3 Equipos.

Todos los análisis fueron realizados en equipos pertenecientes a distintos laboratorios del Departamento de Química Orgánica, en la Facultad de Ciencias Químicas de la Universidad de Concepción.

2.1.3.1 Análisis elemental cuantitativo (AEC). Realizado en el Laboratorio de Recursos Renovable en un equipo Fisons EA 1108 CHNSO.

2.1.3.2 Análisis espectroscópico El análisis infrarrojo (IR) fue realizado un equipo Nicolet 550 Magna. Por otra parte, el análisis de resonancia magnética nuclear (RMN) se realizó en un espectrómetro Bruker de 250MHz. El DMSO₆ se utilizó tanto para la disolución de las muestras como para la calibración del equipo.

2.1.3.3 Análisis térmico. El equipo utilizado fue un analizador térmico Polymer Laboratories Thermal Science Division, modelo STA625. Éste realiza conjuntamente la Termogravimetría (TGA) y la Calorimetría Diferencial de Barrido (CDB). Las condiciones de este estudio para CDB fueron una velocidad de calentamiento de 10°C/min, atmósfera de aire y temperaturas desde 50 a 550°C.

2.2 Obtención y preparación de las muestras.

2.2.1 Obtención de muestras. La especie seleccionada correspondió a *S. viminalis*. Las muestras fueron obtenidas de diferentes procedencias y fueron denominadas de acuerdo a su ubicación con respecto a la distribución de la especie en el país (tabla 3).

Tabla 3. Origen y época de recolección de las muestras de *S. viminalis*.

Sector	Zona de distribución	Época de recolección
Norte	Chimbarongo, VI región	Primavera
Centro-Norte	Concepción, VIII región	Otoño
Centro-Sur	Angol, IX región	Primavera
Sur	Coyhaique, XI región	Primavera

2.2.2 Preparación de las muestras y determinación del contenido de humedad. Las muestras se dividieron en madera y corteza, las ramas desprovistas de corteza fueron seccionadas utilizando medios mecánicos. Las muestras fueron secadas hasta obtener peso constante, utilizando un horno a 50°C. La humedad se determinó por diferencia de peso de las muestras secas y frescas. Tanto la madera como la corteza fueron molidas hasta un tamaño igual o menor a 200 μm , empleando para ello un molino de cuchillos.

2.2.3 Método de extracción.

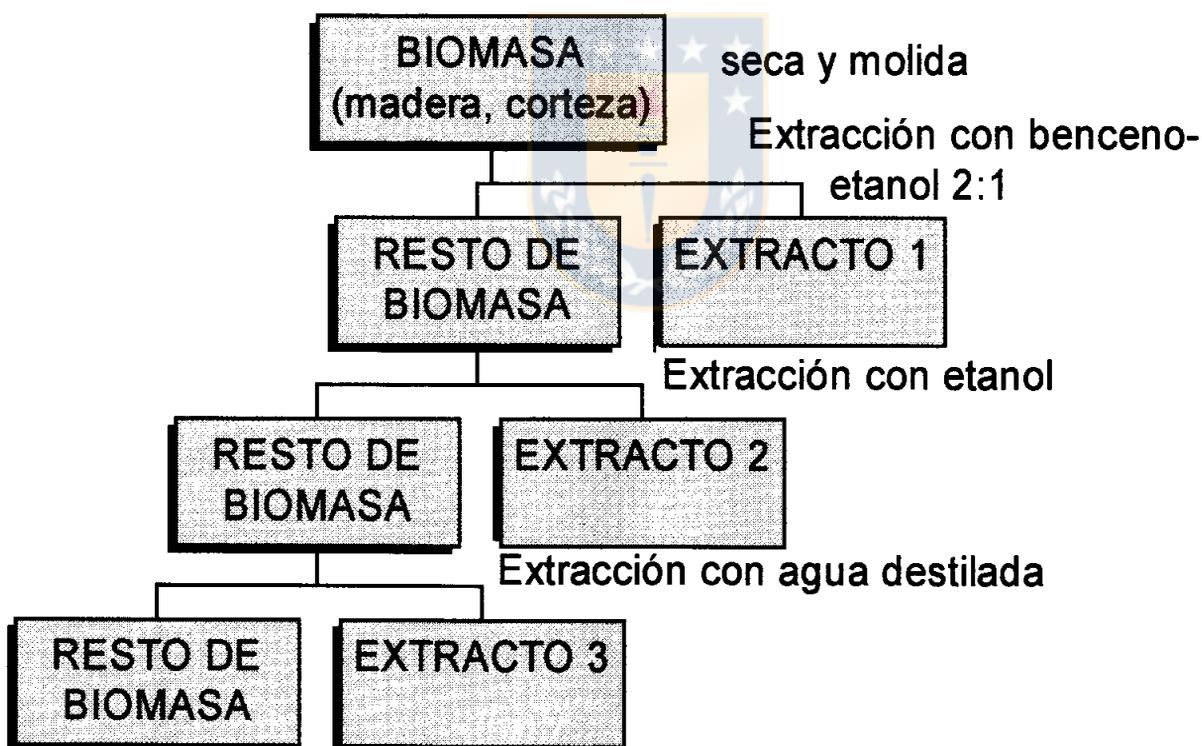
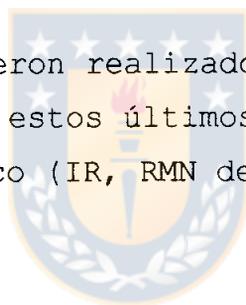


Figura 4. Esquema de extracción de *S. viminalis*, seguido en este estudio.

La extracción de la corteza y de las ramas se efectuó de acuerdo al método ANSI/ASTM D 1105-56 (27). Primero se realizó una extracción con una mezcla de un volumen de etanol y dos volúmenes de benceno, luego una extracción con etanol para finalmente extraer con agua destilada, la diferencia de peso luego de la extracción indicó la cantidad de extraíbles.

2.2.4 Análisis de residuos y extractos. Parte de las muestras fueron separadas después de cada extracción, (residuos) tanto para Análisis Elemental Cuantitativo, como para las pruebas de Calorimetría Diferencial de Barrido y Termogravimetría.

Los mismos análisis fueron realizados a corteza, madera sin extraer y extractos. A estos últimos que además se les hizo análisis espectroscópico (IR, RMN de ^1H y ^{13}C).



III RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 Contenido de humedad y porcentaje corteza- madera.

El contenido de humedad para las cuatro muestras de corteza fue, en promedio, de un 46%, mientras que el de la madera alcanzó, en promedio, a un 38%.

El porcentaje de corteza para las muestras obtenidas de distintas procedencias alcanzó, en promedio, a un 18% con respecto al peso total de la rama, en base a peso seco.

3.2 Cuantificación de extraíbles.

El contenido total promedio de extraíbles de la corteza (38%) supera ampliamente al de la madera (10%). Se observa una tendencia a la disminución de extraíbles de corteza desde la distribución norte a la más austral (tabla 4). Con respecto a la madera, no se observan diferencias apreciables del contenido total de extraíbles para los distintos orígenes (tabla 5). Los porcentajes de extraíbles de madera y corteza son similares a los informados por Kringstin et al. (1993) para especies de *Salix* sp. del hemisferio norte.

Tabla 4 Cuantificación de extraíbles de la corteza de *S. viminalis* de diferentes procedencias.

Procedencia	Chimbarongo	Concepción	Angol	Coyhaique
Extraíbles (%)				
Benceno-etanol	8.41	12.32	8.66	9.91
Etanol	34.16	21.43	13.09	7.94
Agua	ND	7.39	15.03	16.76
Total	> 42	41.14	36.78	34.61

ND: No determinado.

Tabla 5 Cuantificación de extraíbles de la madera de *S. viminialis* de diferentes procedencias.

Procedencia	Chimbarongo	Concepción	Angol	Coyhaique
Extraíbles (%)				
Benceno-etanol	4.34	3.15	4.67	4.25
Etanol	2.21	1.68	1.54	1.96
Agua	3.90	4.57	ND	5.93
Total	10.45	9.4	>6.21	12.14

ND: No determinado.

3.3 Análisis espectroscópico de los extractos

Si bien existen diferencias cuantitativas entre el contenido de extraíbles de corteza y madera, no se aprecian, a través de los análisis espectroscópicos (IR y RMN), diferencias de tipo cualitativo entre los extractos obtenidos con el mismo solvente desde corteza o madera.

La diferenciación de los extractos obtenidos con el mismo solvente a partir de las muestras de las distintas procedencias pareciera ser también sólo cuantitativa, ya que en los espectros se encuentran bandas y peaks, correspondientes a grupos funcionales característicos, muy similares.

Debido a lo anterior, el análisis espectroscópico de los extractos obtenidos con el mismo solvente, desde corteza o madera de especies de *S. viminialis* de las diferentes procedencias se hizo en forma global, de acuerdo a la polaridad creciente del solvente utilizado en la extracción (ver capítulo II pág. 14)

Extracto 1, solvente benceno- etanol

Extracto 2, solvente etanol

Extracto 3, solvente agua destilada.

La información global de las señales principales presentes en los espectros de los extractos, correspondiente a diferentes grupos funcionales se encuentra resumida en las tablas 6, 7 y 8. En las figuras 5, 6, 7 se presentan como ejemplo los espectros IR de extractos de corteza provenientes de Concepción. Los espectros RMN de ^1H y de ^{13}C de los extractos 1, 2 y 3, de corteza proveniente de Concepción se presentan en las figuras 1A, 2A y 3A del apéndice.

Tabla 6. Información de los principales grupos funcionales presentes en los extractos de *S. viminalis* utilizando análisis infrarrojo.

Enlace	Grupos funcionales y posibles compuestos del extracto	Señal IR (cm^{-1}) aproximada
$\text{R}-\text{O}-\text{H}$	Fenoles y alcoholes en general	~ 3369-3424
$\begin{array}{c} \\ \text{R}-\text{C}-\text{R} \\ \\ \text{H} \end{array}$	Enlace C-H con hibridación sp^3	~2920
$\begin{array}{c} \text{R} \\ > \\ \text{C} \\ < \\ \text{G} \end{array}$	Cetonas, aldehídos, ácidos carboxílicos y ésteres (G= R, H, OH, OR')	~1730
$\begin{array}{c} \text{R} & & \text{R} \\ > & & < \\ \text{C} & & \text{C} \\ < & & > \\ \text{R} & & \text{R} \end{array}$	Enlace C=C con hibridación sp^2	~1610
	Anillo aromático	~1515
$\begin{array}{c} \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}-\text{H} \\ \\ \text{R} \end{array}$	Fenoles y alcoholes en general	~1200-1000

Tabla 7. Información de los principales grupos funcionales presentes en los extractos de *S. viminalis* utilizando análisis RMN de ^1H .

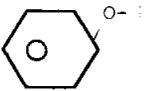
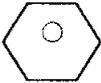
Átomo	Grupos funcionales en compuestos del extracto	Señal RMN de ^1H (δ en ppm) aproximada
$\begin{array}{c} \\ \text{R}-\text{C}-\text{H} \\ \end{array}$	H unidos a carbonos con hibridación sp^3 cuyos vecinos poseen la misma hibridación	~0.9
$\text{R}-\text{O}-\text{H}$	Alcoholes en general	~1-5
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C}-\text{C}-\text{CH}_2-\text{R} \\ \\ \text{H} \end{array}$	H unidos a carbonos con hibridación sp^3 cuyos vecinos poseen la misma hibridación	~1.2-1.3
$\begin{array}{c} \text{H} \text{ R} \\ \\ -\text{C}-\text{C}-\text{O}- \\ \\ \text{R} \end{array}$	H unidos a un carbono sp^3 vecino a un carbono sustituido y unido a un oxígeno	~1-1.5
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \\ -\text{C}-\text{C}-\text{R} \\ \end{array}$	H unidos a carbono sp^3 vecino a un carbonilo	~2-2.8
$\begin{array}{c} \\ \text{R}-\text{C}-\text{O}- \\ \end{array}$	H unidos a un carbono vecino a un oxígeno	~3.5-4
$\begin{array}{c} \text{R} \\ > \text{C} = \text{CH}_2 \\ \text{R} \end{array}$	H unidos a un carbono sp^2 cuyo vecino se encuentra disustituido	~4.5-6
$\begin{array}{c} \text{H} \\ \\ \text{R}-\text{C} = \text{C} < \\ \quad \text{R} \\ \text{H} \end{array}$	H unidos a carbonos sp^2 sustituidos cis o trans	~4.5-8
	H unido a un oxígeno de un fenol	~4-10
	H unidos a un anillo aromático	~6.5-8

Tabla 8. Información de los principales grupos funcionales presentes en los extractos de *S. viminalis* utilizando análisis RMN de ^{13}C .

Átomo	Tipos de C en compuestos del extracto	Señales en RMN de ^{13}C (δ en ppm) aproximadas
$\text{H}_3\text{C}-\text{CH}_2-$	Carbono sp^3	~0.8-4
$-\text{C}-\text{O}-$	Carbono sp^3 unido a oxígeno	~40-80
$>\text{C}=\text{C}<$	Carbono sp^2	~105-150
	Carbono sp^2 de anillo aromático	~110-170
	Carbono sp^2 de anillo aromático unido a un oxígeno (Fenoles)	~155-165
$-\text{C}(=\text{O})-\text{O}-\text{R}$	Carbono de un éster	~160-170
$\text{R}-\text{C}(=\text{O})-\text{R}$	Carbonilo de cetona	~190-220

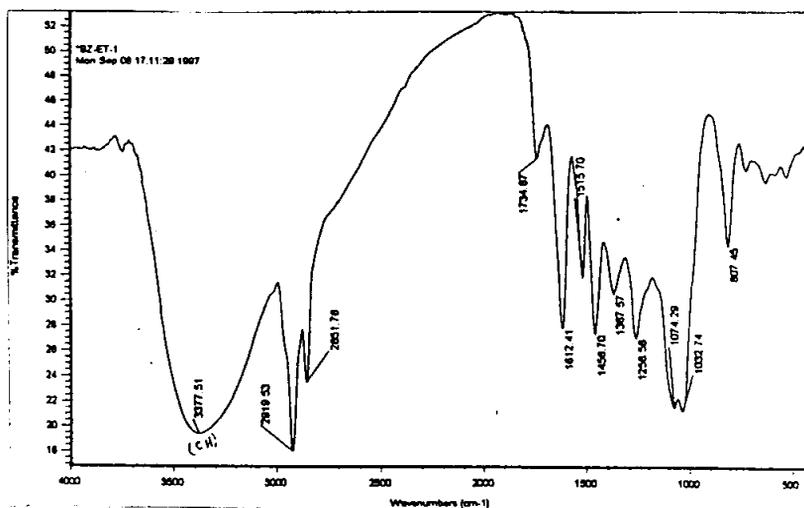


Figura 5. Espectro infrarrojo de extracto soluble en benceno- etanol proveniente de corteza de Concepción.

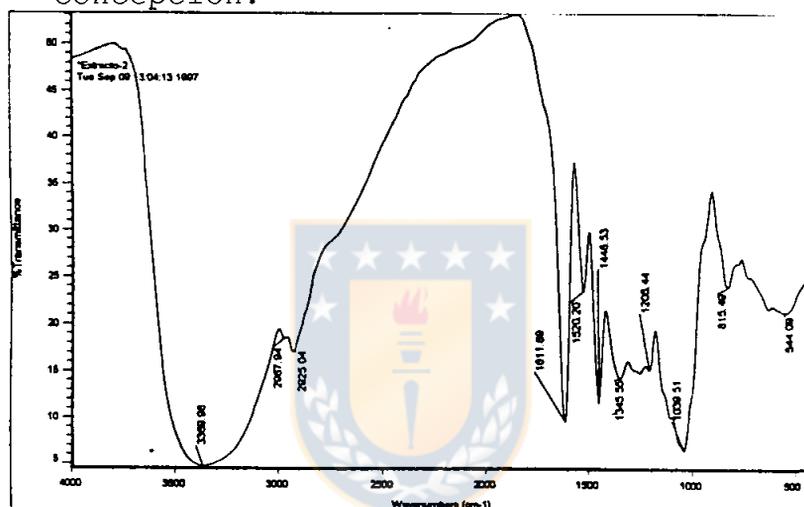


Figura 6. Espectro infrarrojo de extracto soluble en etanol proveniente de corteza de Concepción.

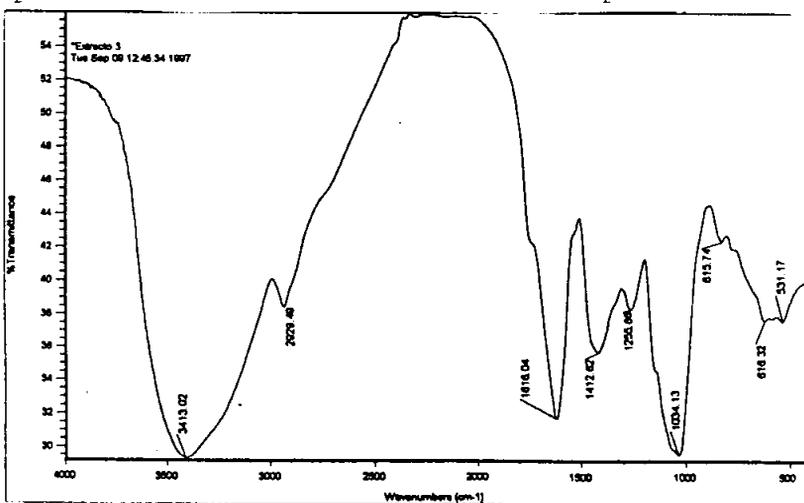


Figura 7. Espectro infrarrojo de extracto soluble en agua destilada proveniente de corteza de Concepción.

3.3.1 Análisis del extracto 1: Benceno- etanol. En los espectros IR de este tipo de extracto se encuentra la banda característica de las vibraciones de tensión de -OH, situación que se confirma con los singletes anchos que se presentan en RMN de ^1H entre δ 2-5 ppm. Además de ésta, se encuentran en el IR las señales de tensión correspondientes a enlaces C-H, C=C y -C-O, siendo las dos primeras ratificadas con RMN de ^1H . De particular importancia resulta la vibración que pertenece al grupo C=O (1730 cm^{-1}), ya que, como se verá posteriormente, ésta desaparece en los extractos siguientes.

3.3.2 Análisis del Extracto 2: Etanol. Este extracto es más polar que el anterior, esto se verifica con la mayor intensidad relativa de la banda de los OH en el espectro IR. La banda correspondiente a vibraciones CH pierde intensidad, mientras que se intensifica la correspondiente a los enlaces C-O. Sin embargo, lo más destacable es que la banda característica del grupo C=O (1730 cm^{-1}) desaparece, con lo que se descarta la posibilidad de encontrar cetonas, aldehídos, ésteres y ácidos carboxílicos, la desaparición de estos últimos se ratifican al no existir señal entre δ 9 y 12 ppm en el espectro de RMN de ^1H .

3.3.3 Análisis del extracto 3: Agua destilada. Este extracto se diferencia del anterior, principalmente, por la disminución en el IR de una de las bandas de los grupos =CH (1515 cm^{-1}), que es la indicadora, además, de posibilidad de anillo aromático. Del RMN de ^{13}C , se infiere la desaparición, casi por completo, de peaks sobre 120 ppm, lo que confirma la pérdida de grupos C=O, detectada previamente en el espectro IR.

De la información anterior se deduce que, dada la presencia de los grupos funcionales mencionados, deberían existir sustancias químicas como ceras, compuestos aromáticos, alcoholes, fenoles, compuestos carbonílicos y compuestos carboxílicos, con aplicaciones en rubros distintos al de la producción de energía.

3.4 Determinación del poder calórico.

Utilizando los datos de AEC (Tabla 1, 2 y 3 del apéndice) y mediante la fórmula de Dulong³ (8), se calculó el calor de combustión de madera, corteza, extractos y residuos obtenidos de muestras de *S. viminalis* de las distintas procedencias.

Los resultados obtenidos se encuentran resumidos en la tabla 9, la denominación de extractos y residuos se realizó de acuerdo al esquema de extracción utilizado (ver Parte II pág. 14).

³ $\Delta\text{H}_{\text{comb.}} = (14544 \text{ C} + 62028 (\text{H} - \text{O}/8) + 4050\text{S}) / 5.555 \times 10^{-3}$ Kcal/g
donde C, H, O, S son los porcentajes decimales de estos elementos.

Tabla 9. Calor de combustión y razón molar C:H para las distintas procedencias de *S. viminalis*.

	Chimbarongo		Concepción		Coyhaique	
	ΔH Comb. (Kcal/g)	Razón C:H ^a	ΔH Comb. (Kcal/g)	Razón C:H ^a	ΔH Comb. (Kcal/g)	Razón C:H ^a
Corteza						
Sin extraer	3.91	0.68	4.36	0.64	4.08	0.66
Extracto 1	6.12	0.56	6.43	0.64	7.24	0.62
Residuo 1	3.65	0.65	3.88	0.65	3.85	0.72
Extracto 2	5.07	0.65	4.86	0.74	4.91	0.68
Residuo 2	3.73	0.72	4.00	0.59	3.94	0.67
Extracto3	1.77	0.45	2.88	0.63	3.48	0.70
Residuo 3	ND	ND	4.65	0.49	3.98	0.61
Madera						
Sin extraer	3.93	0.63	3.99	0.61	3.96	0.63
Extracto 1	5.87	0.67	7.29	0.62	6.12	0.65
Residuo 1	3.73	0.62	3.98	0.58	3.71	0.68
Extracto 2	4.56	0.60	4.60	0.66	3.60	0.53
Residuo 2	3.76	0.63	4.02	0.58	3.89	0.62
Extracto3	3.05	0.64	2.84	0.59	2.81	0.62
Residuo 3	3.84	0.67	3.95	0.60	4.16	0.62

a: Razón molar C:H calculada a partir de los datos de AEC

El poder calórico calculado resulta aceptable, sobretodo si se le compara con el de otras especies arbóreas cultivadas con fines energéticos como el *Populus* sp. (4.3 kcal/g) (12). Tomando en cuenta el poder calórico promedio y el rendimiento de biomasa seca por ha, mediante un cálculo sencillo se obtiene una producción potencial de 48×10^6 Kcal/ha/año.

Los componentes de mayor contenido energético se encuentran, tanto en corteza como en madera, en el extracto 1, luego el extracto 2 y finalmente el extracto 3.

La disminución del contenido energético, luego de realizar las extracciones, no es tan significativo (en algunos casos, incluso aumenta), por lo que se justificaría la implementación de un sistema integrado que permitiera extraer compuestos químicos de interés, manteniendo la producción de energía sin mayores variaciones.

3.5 Razón molar C:H.

Mientras mayor sea el contenido de C e H (menor razón molar C:H) de una sustancia orgánica, mejor es su respuesta como combustible. El poder calórico se incrementa al aumentar el grado de saturación del C y disminuye al aumentar el porcentaje de O.

Los valores de C:H de los extractos, residuos, madera y corteza obtenidos en este estudio, se encuentran en el rango 0.45 y 0.74 (Tabla 7), valores que se aproximan, incluso, a la gasolina (0.45-0.50) o a el aceite combustible (0.53-0.59) (8).

3.6 Análisis térmico.

3.6.1 Calorimetría Diferencial de Barrido.

Esta técnica, que describe el proceso de pirólisis y combustión, da origen a una termografía (Figura 8) cuya tendencia fue similar tanto para la madera como para la corteza de las muestras obtenidas de las diferentes procedencias de *S. viminalis*.

Peso de muestra: 2.708 MG

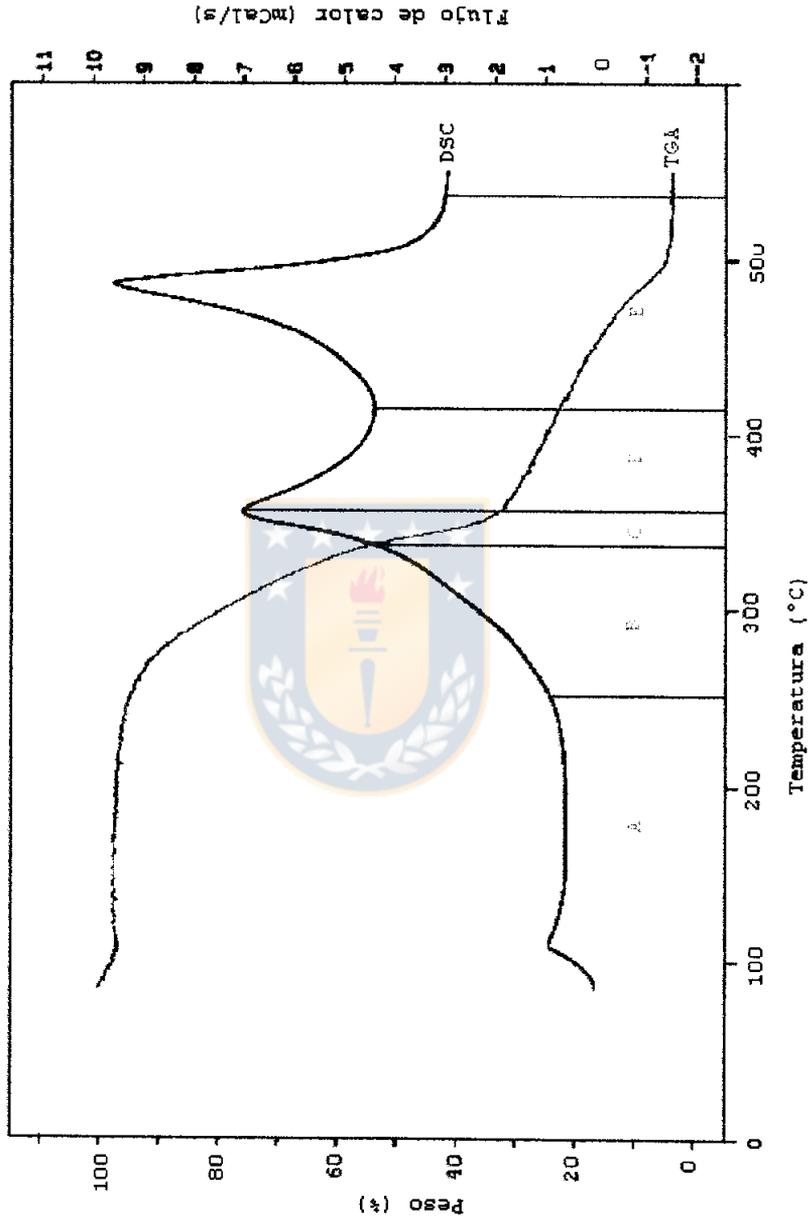


Figura 8. Termografía de madera de *S. viminalis* proveniente de Chimbarongo.

La termografía comienza con una zona endotérmica (A) que se extiende hasta los 225°C. La energía absorbida en esta zona es utilizada por el combustible para aumentar su temperatura y evaporar algunos gases producidos en la etapa inicial de la pirólisis (CO₂ y H₂O). El fin de la zona endotérmica coincide con la temperatura de pirólisis de la madera (225°C) informada por otros autores (25).

Varias investigaciones coinciden en señalar que la temperatura en que el proceso de degradación de la madera comienza a ser exotérmico, en una atmósfera libre de oxígeno, es de 280°C. Cuando se tiene una atmósfera en que el oxígeno se encuentra presente, este proceso de degradación comienza a temperaturas menores. En este trabajo la zona exotérmica comienza entre los 240-250°C.

La zona exotérmica comprendida entre los 250 y los 320°C (Zona B) se caracteriza por poseer una pendiente ligeramente constante, lo que evidencia que la velocidad de liberación del calor es uniforme a través de este rango. Se ha informado (18) que en esta zona se llevan a cabo importantes procesos como la degradación de la lignina y hemicelulosa. El inicio de la zona exotérmica está dominada por una baja oxidación y reacciones de deshidratación y depolimerización con una consecuente producción de calor baja y sostenida (18).

Al comienzo de la zona C el cambio en la velocidad de liberación de calor por grado de temperatura incrementa en un corto período y luego permanece constante. Este cambio en la velocidad, ocurre debido a que en este tramo se desarrollan las reacciones de pirólisis más rigurosas, entre las que se incluyen la producción de glucosanos, a través de la rápida división de los enlaces glicosídicos (22).

A los 350 °C comienza una zona endotérmica (zona D), ya que el calor liberado por pequeñas cantidades de moléculas de madera, no es suficiente para mantener la alta tasa de liberación neta de energía. Esta zona tiene su punto más bajo a los 415 °C. La gran energía requerida en esta zona podría explicarse tanto por la baja concentración de oxígeno frente a una excesiva concentración de gases de la pirólisis, como por las reacciones endotérmicas de evaporación de glucosanos y otros productos de pirólisis (18).

La zona E se caracteriza no sólo por ser exotérmica sino además por poseer el peak más alto (480 °C). En esta zona se convierten productos de pirólisis a sustancias carbonáceas altamente reactivas, las que logran que se produzca una energía considerable, pese a que gran parte de la madera ha sido consumida. Esta zona comienza a los 410°C y termina a los 520°C aproximadamente cuando se consumen las últimas sustancias carbonáceas.

3.6.1.1 Efecto de los extraíbles. Al comparar las termografías de los materiales sin extraer con los extraídos previamente, se observa que la presencia de extraíbles solubles en benceno- etanol acelera la liberación de energía y aumenta la velocidad de pirólisis (figura 9).

En la extracción con agua destilada, debido a que se remueven compuestos más polares con bajo contenido energético, la energía calórica total del residuo aumenta (tabla 9) en comparación con el residuo obtenido después de la extracción con etanol (figura 10).

3.6.2 Termogravimetría.

En todos los termogramas (madera, corteza y residuos respectivos) (ejemplo figura 8) se observa un porcentaje de pérdida de masa entre 90 y 95%.

La pequeña pérdida de masa inicial, observada a temperaturas menores que 200°C, corresponde a la evaporación del agua que absorbieron las muestras durante el período de preparación.

A los 250°C comienza un aumento en la velocidad de pérdida de masa, coincidiendo las máximas con los procesos exotérmicos ya discutidos (250-320 y 410-520 °C).

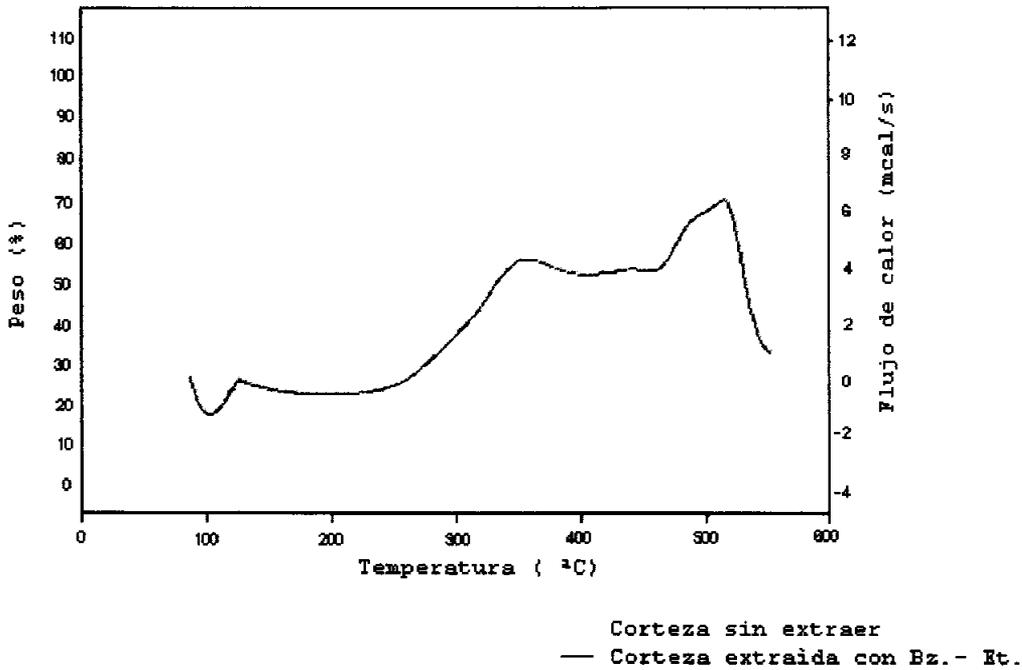


Figura 9. Termografía comparativa: Corteza sin extraer v/s extraída con benceno- etanol proveniente de corteza de Concepción.

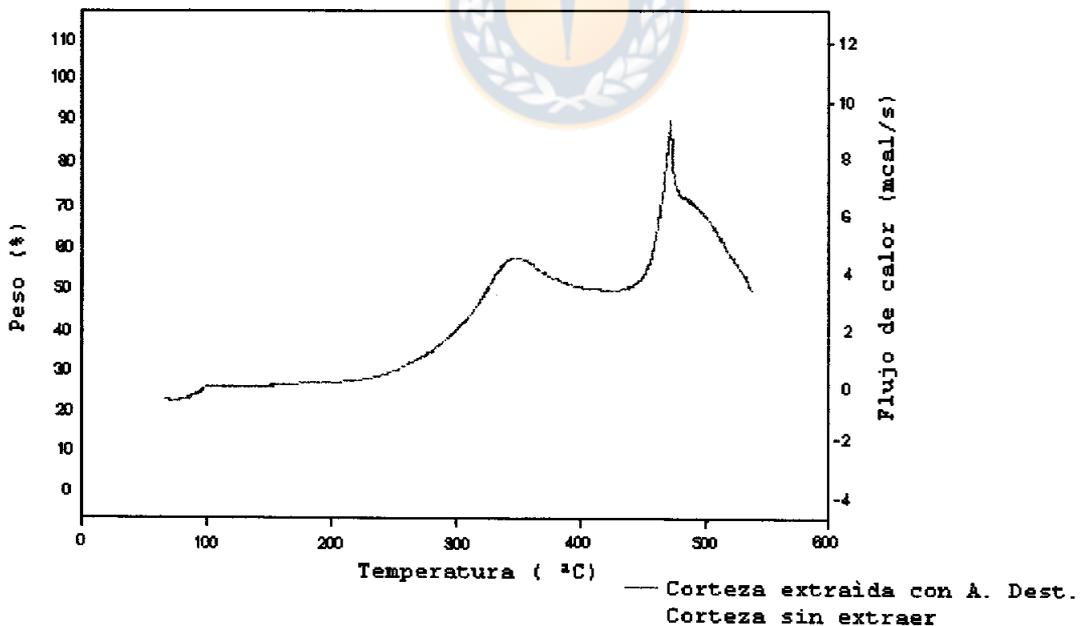


Figura 10. Termografía comparativa: Corteza sin extraer v/s extraída con agua destilada proveniente de corteza de Concepción.

IV CONCLUSIONES

De acuerdo a lo discutido, en base a los resultados de este estudio, se puede concluir que:

- Los porcentajes de extraíbles de madera y corteza son similares a los informados para especies del *Salix* sp. en el hemisferio Norte.
- El porcentaje de extraíbles de la corteza (38% en promedio) supera ampliamente al de la madera (10% en promedio).
- El contenido de extraíbles de la corteza de *S. viminalis* tiende a disminuir desde el Norte hacia el Sur de nuestro país.
- De acuerdo al análisis espectroscópico de los extractos, se encontrarían: alcoholes, compuestos carboxílicos, compuestos carbonílicos, éteres, compuestos aromáticos, fenoles y alquenos. Todos ellos con potenciales aplicaciones industriales además de la producción de bioenergía.
- El poder calórico encontrado para maderas y cortezas de distintas procedencias, se presentan entre 3,91 a 4,36 Kcal/g, siendo estos valores aceptables en comparación con otras maderas utilizadas en la producción de bioenergía.

- Los componentes de mayor contenido energético se encuentran en el extracto obtenido con la mezcla de benceno- etanol, mientras que los solubles en agua destilada, presentan el más bajo aporte de energía.
- Al extraer los compuestos solubles en benceno- etanol disminuye el poder calórico de los residuos, tanto para madera como para corteza. Por el contrario, al extraer los componentes solubles en agua destilada, la energía calórica de los residuos aumenta.
- Tanto la temperatura de pirólisis de la madera de *S. viminialis* (225°C) como las termografías realizadas por CDB, coinciden con otros estudios realizados previamente.

En resumen, dado su contenido energético, razón C:H, contenido y tipo de extraíbles, el *S. viminialis* es una especie promisoría como fuente de energía renovable. El uso de esta especie conllevará, además otros beneficios ambientales, económicos y sociales; tanto por su alto rendimiento energético y de biomasa como por su corto período de producción.

4.1 Proyecciones.

La adaptación de la especie a nuestro país es óptima, prueba de ello son la amplia distribución y los rendimientos como los informados en Chimbarongo. Además de ello la plantación, silvicultura, tratamientos, cosecha, transporte y transformación en energía de esta especie no serían difíciles de determinar, ya que existe vasta experiencia en otros países (Suecia).

V RESUMEN

Frente al aumento de la energía requerida y a la disminución de las fuentes energéticas tradicionales (combustibles fósiles), durante los últimos años se han buscado fuentes energéticas renovables, no contaminantes y a bajo costo. Una fuente energética alternativa renovable y ecológicamente más limpia es la biomasa.

Este estudio evaluó, bajo el punto de vista químico, el potencial de *S. viminalis* para la producción de biomasa para energía. Se eligió esta especie dado que los rendimientos de peso seco por ha obtenidos en Chile son satisfactorios en comparación a otros países que utilizan actualmente *S. viminalis* como materia prima.

Se cuantificó el contenido de extraíbles, se realizó el estudio espectroscópico y análisis térmico de éstos y se determinó el calor de combustión de los extractos y residuos. Al comparar con otras especies utilizadas como fuente de energía, los resultados fueron alentadores en cuanto al rendimiento energético (calor de combustión cercano a 4 kcal/g) y a la posible presencia de compuestos químicos con interés industrial.

SUMMARY

Facing the increase of energy requirements and the diminution of the traditional energy sources (fossil fuels), during the last years renewable fuel sources with non-contaminant and low cost characteristics have been searched. An alternative renewable and environmentally clean energy source is the biomass.

The chemical and energetic characteristics of *S. viminalis* for energy production were evaluated from a chemical point of view. This species was selected because the yields of dry mass for ha obtained in Chile were satisfactory compared with other countries which use this species for energy purposes.

The extractive contents, their spectroscopic study and their thermal analysis were performed. The combustion heat of the extracts and residues were determined. The results for energy yield (combustion heat near 4 kcal/g) and the possible presence of chemical substances with potential industrial interest were satisfactory compared with other energy sources.

VI BIBLIOGRAFIA

1. Encarta, Encyclopedia Multimedia Microsoft. 1997. World Energy Forecast. Microsoft Corporation.
2. Encarta, Encyclopedia Multimedia Microsoft. 1997. Energy Supply, World. Microsoft Corporation.
3. Dalhgrem, L & Gärdenäs, S. 1996. In Chartier, P., Ferrero, G., Henius, U., Hultberg, S., Sachau, J. and Wiinblad, M (Ed.). Conditions for market introduction of arable fuels- A synthesis from R&D Cooperation. European Bioenergy Conference, 9th, 24-27 June 1996. Department of Science, Technology and Society, Utrecht University, Utrecht.
4. Gnecco, S. 1990. Potencial de especies vegetales de zonas áridas como recurso energético para Chile. Primer Congreso Nacional de Energía-Chile: Energía y Desarrollo, 1-6 de Abril 1990. Santiago, Chile.
5. Rider, D. 1981. Energy: Hydrocarbon fuel and chemical resources. Wiley-Interscience. New York, USA.
6. González, M. 1997. En Panorama U de Concepción. Año VII, Martes 2 de Septiembre de 1997. N°26.
7. Oil and gas. 1997. Trade and investment guide. En http://www.gekkonet.com/shiptrade/ind_06.htm.

8. Gnecco, S. 1983. Biomasa como fuente de energía y materias primas. Tesis para optar al grado de Doctor en Ciencias con mención en Química. Universidad de Concepción. Escuela de Graduados. Concepción, Chile.
9. White, L. & Plaskett, L. 1981. Biomass as fuel. Academic Press. London. England.
10. Zerbe, J. 1983. Energy properties of wood. In: Fuelwood Management and Utilization Seminar. Proceedings 1982 Nov.9-11; East Lansing, MI: Michigan State University: 152 p.
En <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/energywd.htm>.
11. Zerbe, J. 1992. Liquid fuels from wood- ethanol, methanol, diesel. World Resource Review. 3(4):406-414.
En <http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/energywd.htm>.
12. Blankenhorn, P., Bowersox, T., Kuklewski, K., Stimely, G. and Murphey, K. 1983 Comparison of selected fuel and chemical content values for seven populus hybrid clones. Wood and fiber science. 17(2). Pp. 148-158.
13. Melo, R y Paz, J. 1993. Tecnología de la celulosa y el papel. Universidad de Concepción. Concepción, Chile.
14. Sjöstrom, E. 1981. Wood Chemistry, Fundamentals and Applications. Academic Press, New York, USA.
15. Fengel, D & Wegener, G. 1989. Wood: Chemistry, Ultrastructure, Reactions. Walter de Gruyter & Co. Berlin, Germany.

16. Goldstein. 1978. Organic chemicals from biomass. CRC Press. Florida, USA.
17. Kringstin, S. Wong, B. and Roy, D. 1993. The contribution of the chemicals components in juvenile hybrid *Salix* spp. to its total energy output. Wood Sci. Technol. (27): 309-320.
18. Shafizadeh, F. and DeGroot, W. 1987. Thermal analysis of forest fuels. En Tillman, Sarkanen & Anderson (Ed.). Fuels and Energy from renewable sources. Academic Press. London, England.
19. GIS. 1997. Willow cultivation - Energy Forestry. En [Http://gis.joensuu.fi/research/paju/energy1.html](http://gis.joensuu.fi/research/paju/energy1.html).
20. Christersson, L. 1997. Comunicación personal.
21. Recabarren, M. 16 de Abril, 1997. Viejo Mimbres se mide ahora con la vara más alta. El Mercurio. pág. A1 y A12. Santiago, Chile.
22. Lanzara, P y Pizzeti, M. 1979. Guía de árboles. Editorial Grijalbo. Barcelona, España.
23. Shafizadeh, F.; Chin, P. And DeGroot, W. 1977. Effective heat content of green forest fuels. Forest Science. 23 (1):81-89.
24. Edlin, H. 1991. Clave de los árboles de Europa. Ediciones Omega. Barcelona, España.

25. Sun's Joules Biomass. 1997. Page 38/937.

En <http://solstice.crest.org/renewables/SJ/biomass/038.html>

26. Tang, W. 1972. Forest products. Pp. 607. In, MacKenzie, R. (Ed.). Differential thermal analysis. London, England

27. American Society for Testing and Materials. 1979. Standard method for preparation of extractive-free wood. ASTM D1105-56. Pp. 367-368. Philadelphia, USA.



VII APENDICES

Tabla 1A. Análisis elemental cuantitativo de muestras de *S. viminalis* provenientes de Chimbarongo.

%	C	H	N	S	O
Corteza					
Sin extraer	46.69	5.70	1.88	1.39	43.03
Extracto 1	57.04	8.43	0.29	1.31	32.93
Residuo 1	44.89	5.73	2.11	1.23	46.04
Extracto 2	53.56	6.91	0.23	0.85	38.45
Residuo 2	46.72	5.38	2.21	1.09	44.60
Extracto3	30.68	5.64	0.60	1.00	62.08
Madera					
Sin extraer	46.54	6.11	0.61	1.20	45.54
Extracto 1	58.47	7.30	0.58	1.23	32.42
Residuo 1	44.77	6.00	0.72	1.23	45.97
Extracto 2	49.47	6.83	0.49	1.09	42.12
Residuo 2	45.55	6.02	0.67	1.00	46.76
Extracto3	40.91	5.32	2.44	1.83	49.50
Residuo 3	46.63	5.8	0.52	1.56	45.49

Tabla 2A. Análisis elemental cuantitativo de muestras de *S. viminalis* provenientes de Concepción.

%	C	H	N	S	O
Corteza					
Sin extraer	48.85	6.37	1.58	1.10	42.03
Extracto 1	61.34	7.93	1.61	0.00	29.12
Residuo 1	46.26	5.96	1.78	1.00	45.00
Extracto 2	54.09	6.13	0.30	1.15	38.33
Residuo 2	45.59	6.40	1.92	1.40	44.69
Extracto3	40.16	5.35	1.33	1.25	51.91
Residuo 3	46.37	7.93	1.61	1.07	43.02
Madera					
Sin extraer	46.23	6.36	0.51	1.31	45.59
Extracto 1	65.35	8.85	0.20	1.02	24.58
Residuo 1	45.73	6.55	0.46	1.00	46.20
Extracto 2	51.10	6.48	0.18	0.95	41.29
Residuo 2	45.68	6.58	0.48	1.47	45.79
Extracto3	39.06	5.54	1.97	1.14	52.29
Residuo 3	45.86	6.37	0.44	1.31	46.02

Tabla 3A. Análisis elemental cuantitativo de muestras de *S. viminalis* provenientes de Angol.

%	C	H	N	S	O
Corteza					
Sin extraer	47.82	5.87	1.66	1.14	41.77
Extracto 1	62.30	7.94	0.26	1.74	27.76
Residuo 1	46.54	6.38	1.50	1.14	44.44
Extracto 2	54.57	6.39	0.29	0.98	37.77
Residuo 2	46.58	6.15	1.85	1.19	44.23
Extracto3	43.96	5.36	0.79	0.86	49.03
Residuo 3	45.52	6.05	1.60	1.89	44.94

Tabla 4A. Análisis elemental cuantitativo de muestras de *S. viminalis* provenientes de Coyhaique.

%	C	H	N	S	O
Corteza					
Sin extraer	47.46	5.97	1.20	1.23	42.79
Extracto 1	64.99	8.75	0.33	1.35	24.58
Residuo 1	47.54	5.48	1.23	1.43	44.32
Extracto 2	53.25	6.57	0.26	0.97	38.95
Residuo 2	46.98	5.86	1.53	1.40	44.23
Extracto3	45.04	5.35	1.12	1.34	47.15
Residuo 3	46.00	6.26	2.08	1.11	44.55
Madera					
Sin extraer	46.62	6.14	0.60	1.39	45.25
Extracto 1	59.51	7.65	0.38	1.20	31.26
Residuo 1	45.73	5.61	0.51	1.50	45.30
Extracto 2	42.20	6.66	0.60	1.04	49.50
Residuo 2	45.84	6.13	0.82	1.57	45.64
Extracto3	39.99	5.34	2.28	0.00	52.39
Residuo 3	47.5	6.35	0.61	1.39	44.15

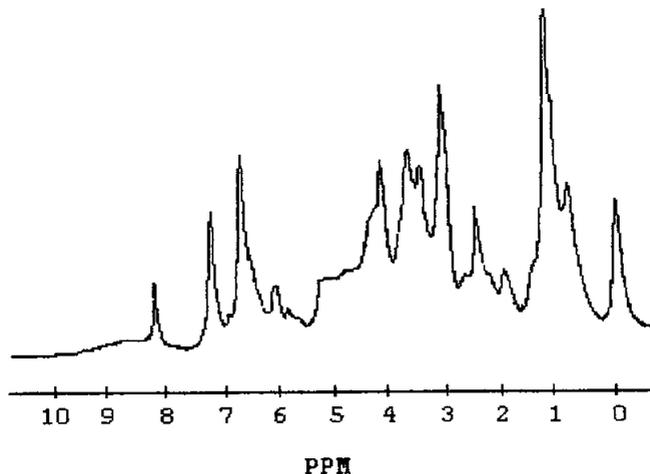


Figura 1A. Espectro de RMN de ^1H del extracto soluble en benceno- etanol proveniente de corteza de *S. viminalis* de Concepción.

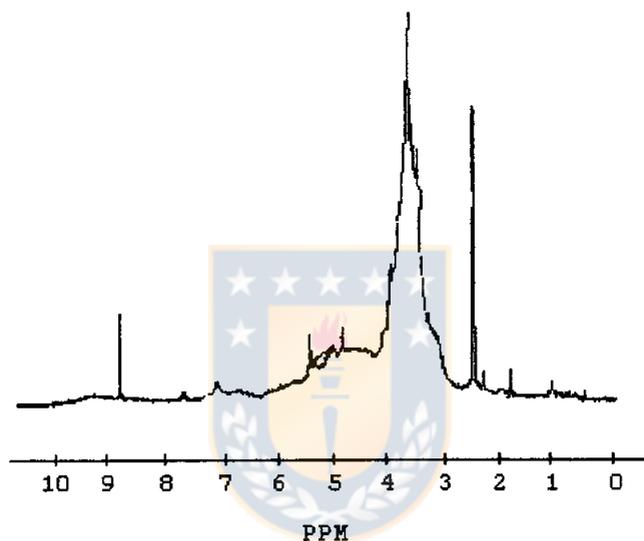


Figura 2A. Espectro de RMN de ^1H del extracto soluble en etanol proveniente de corteza de *S. viminalis* de Concepción.

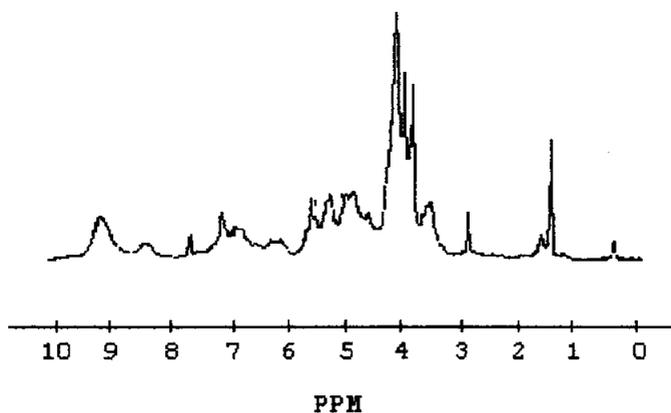


Figura 3A. Espectro de RMN de ^1H del extracto soluble en agua destilada proveniente de corteza de *S. viminalis* de Concepción.

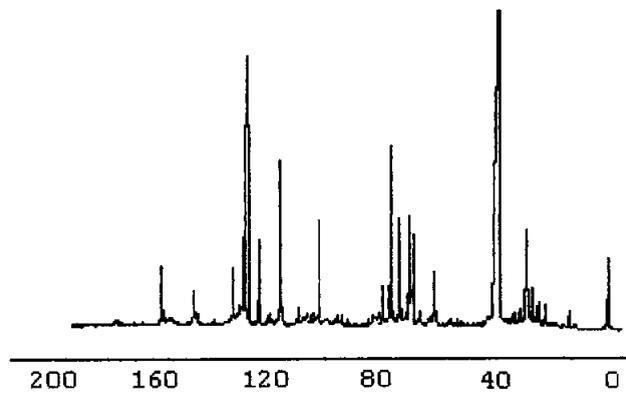


Figura 4A. Espectro de RMN de ^{13}C del extracto soluble en benceno- etanol proveniente de corteza de *S. viminalis* de Concepción.

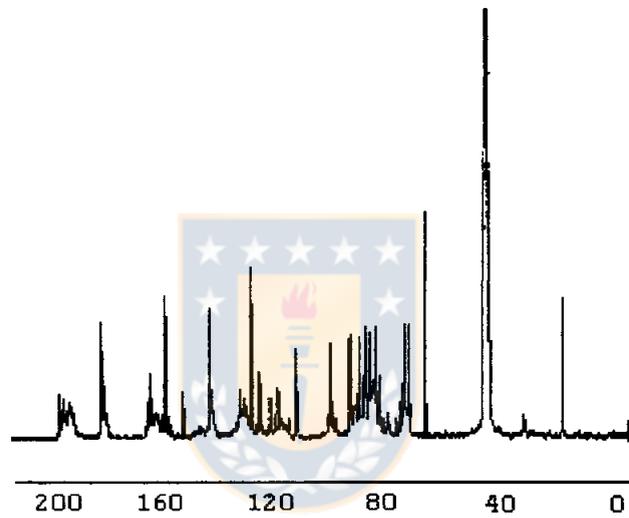


Figura 5A. Espectro de RMN de ^{13}C del extracto soluble en etanol proveniente de corteza de *S. viminalis* de Concepción.

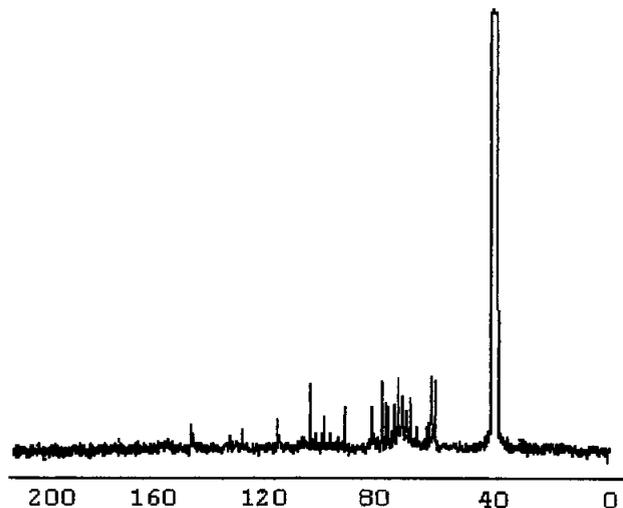


Figura 6A. Espectro de RMN de ^{13}C del extracto soluble en agua destilada proveniente de corteza de *S. viminalis* de Concepción.