



Taller Internacional de Bioenergía para un  
Desarrollo Sustentable

Viña del Mar, 2004

**Caracterización química de  
*Eucalyptus globulus* y *E. nitens*  
para la producción de bioetanol**

Carolina Parra, Alexánder Berrocal,  
Juanita Freer, Jaime Rodríguez,  
Miguel Espinosa, Jaime Baeza

Universidad de Concepción

**INTRODUCCIÓN**  
**Biocombustibles**

---

- ✧ **ETANOL (incluye ETBE)**
- ✧ **BIODIESEL**
- ✧ **BIOGAS**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Biocombustibles**

---

## **ETANOL**

**90% del consumo  
de  
biocombustibles**

- ✧ **E-5**
- ✧ **E-10**
- ✧ **E-85**
- ✧ **E-95**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Beneficios uso biocombustibles**

---

- ✧ **AMBIENTALES**
- ✧ **SEGURIDAD ENERGETICA**
- ✧ **DESARROLLO ECONOMICO**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Biocombustibles**

---

#### **Biofuels in the Future**

**“Although grain, sugar and oil crops to be important biomass resources the use of lignocellulosic biomass is essential in the longer terms”**

**“International Energy Agency Bioenergy.  
Annual Report 2003**

## **INTRODUCCIÓN**

### **Materias Primas**

---

➤ **La producción de Biomasa en el mundo es de 170 billones de ton/año.**

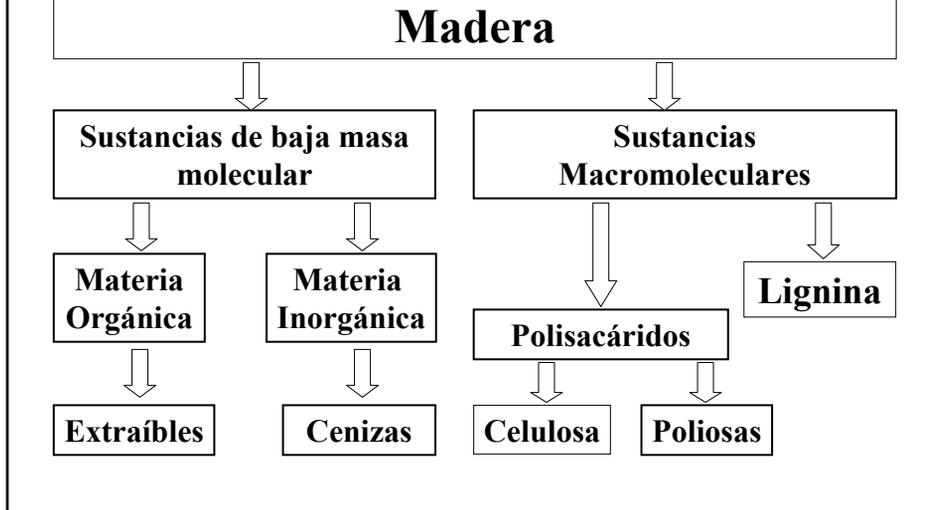
⇒ **El 70% es aportado por los bosques.**

⇒ **La madera es 50% celulosa y 20-25 % hemicelulosa.**

# INTRODUCCIÓN

## Composición de la Madera

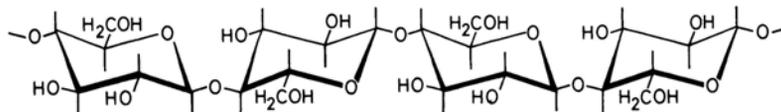
---



# INTRODUCCIÓN

## Composición de la Madera

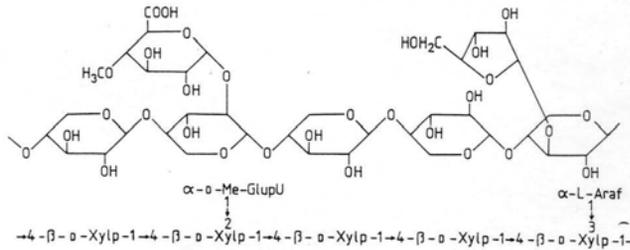
---



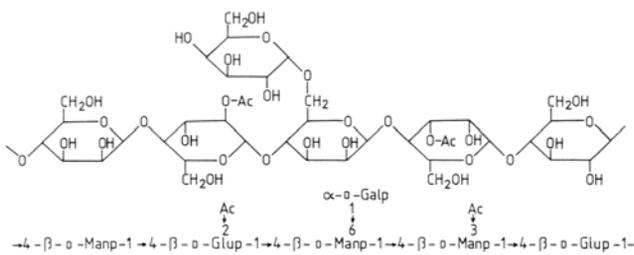
**Estructura de la Celulosa**

# INTRODUCCIÓN

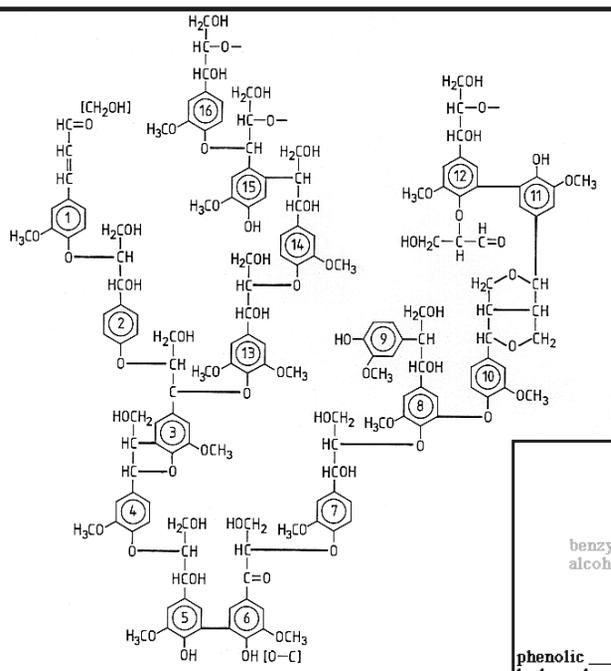
## Composición de la Madera



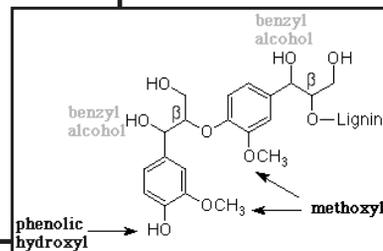
**Hemicelulosa de madera dura**



**Hemicelulosa de madera blanda**

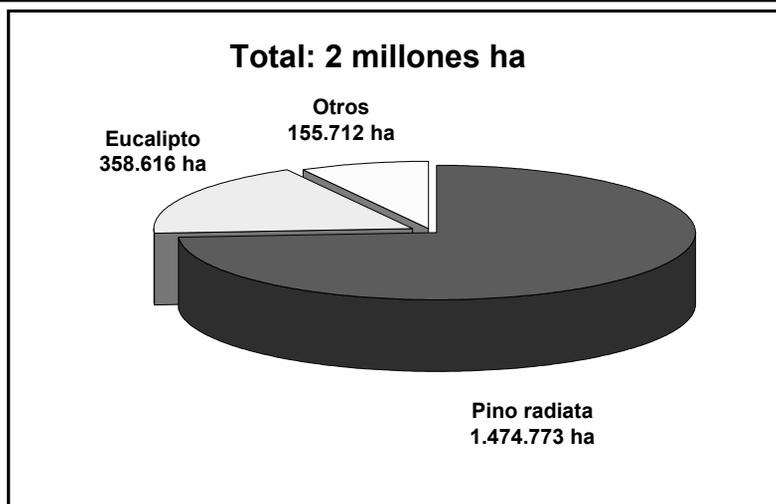


**Estructura de Lignina**



# INTRODUCCIÓN

## Plantaciones Forestales



Fuente: INFOR 2000

# INTRODUCCIÓN

## Ventajas de usar Pino ó Eucalipto

	Madera Blanda	Madera Dura
	Pino	Eucalipto
<b>Celulosa</b>	<b>35-55%</b>	<b>40-60 %</b>
<b>Hemicelulosa</b>		
<b>Hexosas</b>	<b>12-15%</b>	<b>2-7%</b>
<b>Pentosas</b>	<b>8-10%</b>	<b>12-15%</b>
<b>Lignina</b>	<b>28-31</b>	<b>15-22%</b>
<b>Crecimiento</b>	<b>Lento</b>	<b>Rápido</b>

Fuente: Mansilla, 1991; Hills, 1982

## INTRODUCCIÓN

### Evaluación de Pino

---

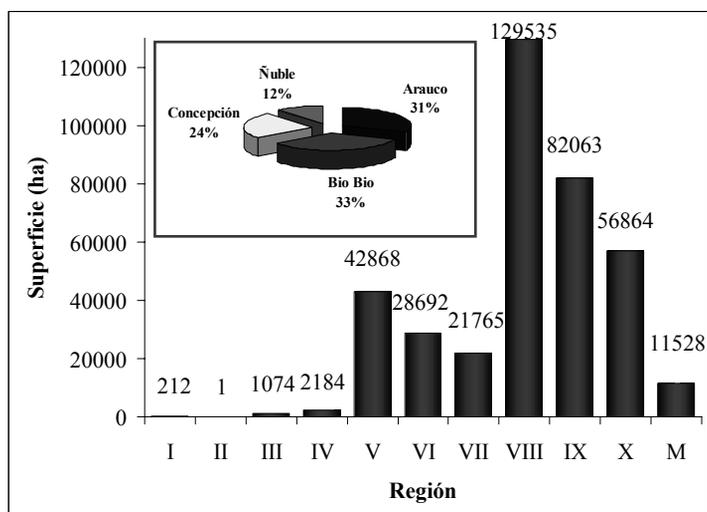
“Effect of tree age on variation of  
*Pinus radiata* D Don. Chemical  
composition.”

J. Chil. Chem. Soc. 49, N° 3: 251-256 (2004)

## INTRODUCCIÓN

### Distribución de Eucalipto en Chile

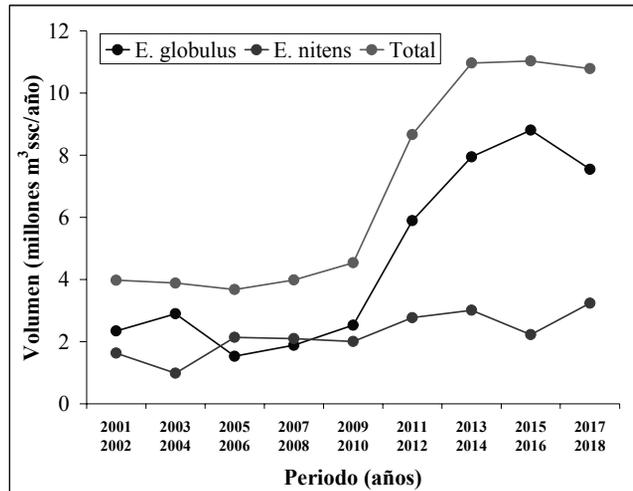
---



Fuente: INFOR, CONAF, Empresas. 1998

# INTRODUCCIÓN

## Disponibilidad Futura de Madera de Eucalipto



Fuente: INFOR. Informe Técnico No 151, 2000.

# BIOETANOL

## Laboratorio Recursos Renovables

- Evaluación Material Lignocelulosico disponible.
- Definir Recurso Forestal Optimo para el Proceso
- Optimización Procesos Tradicionales
  - ⇒ Pretratamientos
  - ⇒ Conversión Química Enzimática
- Desarrollo de un Proceso No Tradicional
  - ⇒ Procesos Organosolv

## **OBJETIVO**

---

**Determinar rendimiento biomásico de plantaciones de eucalipto y los rendimientos potenciales para la producción de bioetanol**

## **INTRODUCCIÓN**

---

- ✧ Simulación del crecimiento y rendimiento de los árboles.
- ✧ Estudio de la composición química de árboles de diferente rango de edad.
- ✧ Estimación de la producción de bioetanol.
- ✧ Proyección de la producción de bioetanol.

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Muestras de madera**

---

<b>Rangos de edad (años)</b>	
<b><i>E. globulus</i></b>	<b><i>E. nitens</i></b>
<b>1-3</b>	<b>-</b>
<b>4-6</b>	<b>4-6</b>
<b>7-10</b>	<b>7-10</b>
<b>11-15</b>	<b>11-15</b>
<b>16-20</b>	<b>16-20</b>
<b>21-25</b>	<b>21-25</b>
<b>26-30</b>	<b>-</b>
<b>&gt;30</b>	<b>-</b>

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Determinación de Azúcares**

---

#### **Hidrólisis con ácido Sulfúrico**

72% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 30 °C, 30 min.

2,5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>, 120°C, 60 min.

Neutralización

**HPLC Columna Aminex HPX-87P**

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Simulación del crecimiento de los árboles**

---

Simulador de Crecimiento EUCA 2000 V3.0

Densidad inicial 1250 árboles/ha  
Sin manejo silvicultural  
2 zonas por especie con  
Índice de Sitio diferente



Volumen m<sup>3</sup> ssc/ha

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Estimación Teórica de la Producción de Etanol**

---

$$\text{Etanol (L/t)} = \text{Azúcares (\%)} * \text{ph} * \text{pe} * \text{pt} * \text{pg} * \text{pl} * (0,01)$$

Azúcares = Sumatoria de hexosas ó pentosas anhidras;

ph = 1,11 lb hexosas/1 lb azúcar polimérico ó  
1,136 lb pentosas/1 lb azúcar polimérico;

pe = 0,51 lb etanol/1 lb hexosas;

pt = 2000 lb etanol/1 tonelada de hexosas;

pg = 1 gal etanol/6,55 lb de etanol;

pl = 1 litro etanol/0,26gal;

L = litros;

t = tonelada de materia seca.

Fuente: U.S. Department of Energy, 2003

## **MATERIALES Y METODOS**

### **Rendimiento Teórico de la Producción de Etanol**

---

$$\text{Rendimiento (L/ha)} = E_{t_{\text{hex}}} * D_b * V * 0,001$$

$E_{t_{\text{hex}}}$  = Cantidad de etanol que se produce por tonelada de materia seca a partir de las hexosas

$D_b$  = Densidad básica de la madera

$V$  = Volumen de madera que se produce por hectárea ( $\text{m}^3$  sólidos sin corteza/ha).

**Fuente: U.S. Department of Energy, 2003**

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

---

Para determinar la edad óptima de una plantación, con una mayor producción de Bioetanol se debe relacionar la productividad del bosque a diferentes edades con la cantidad de azúcares presentes a cada edad.

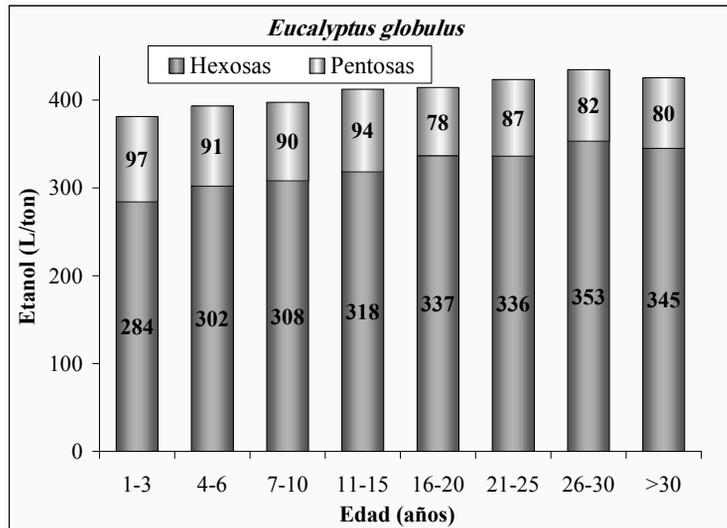
## COMPOSICIÓN QUÍMICA

### *Azúcares E. globulus y E. nitens*

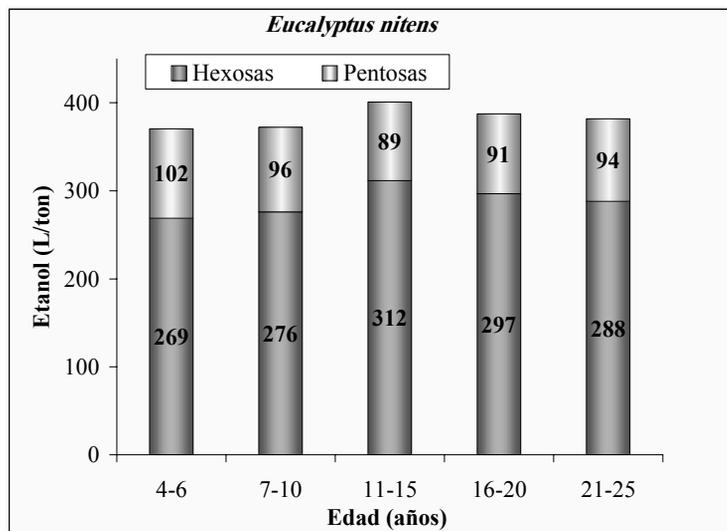
---

Rango edad (años)	GLUCOSA % b.s.		XILOSA % b.s.	
	<i>E. globulus</i>	<i>E. nitens</i>	<i>E. globulus</i>	<i>E. nitens</i>
1-3	44,9	-	16,2	-
4-6	47,9	42,2	15,2	17,0
7-10	48,5	43,2	15,0	16,1
11-15	50,2	49,3	15,7	14,9
16-20	53,2	46,4	13,0	15,1
21-25	53,2	45,0	14,3	15,7
26-30	55,9	-	13,6	-
>30	55,0	-	13,4	-

## ESTIMACIÓN PRODUCCIÓN ETANOL *E. globulus*



## ESTIMACIÓN PRODUCCIÓN ETANOL *E. nitens*



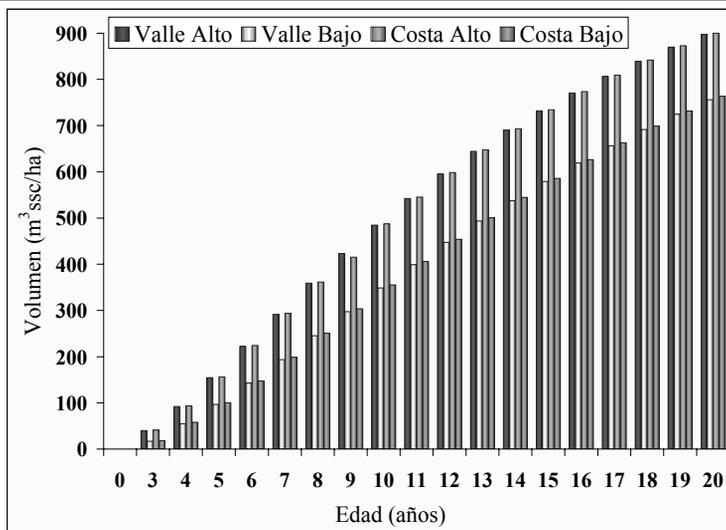
## CONCLUSION Parcial

---

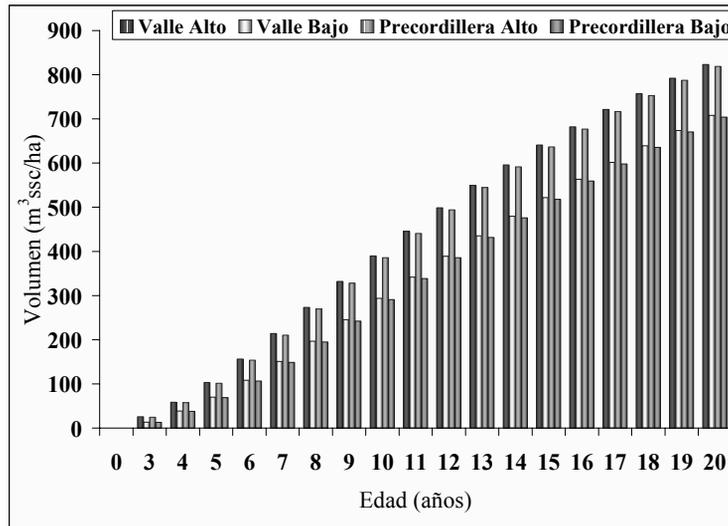
- El rango de edad de máxima producción de bioetanol es de 20-25 años para *E. globulus* y de 11-15 años para *E. nitens*. Utilizando el incremento medio de la producción de bioetanol, se determinó que la edad óptima de corta es entre los 7-10 años para ambas especies.

## SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO *E. globulus*

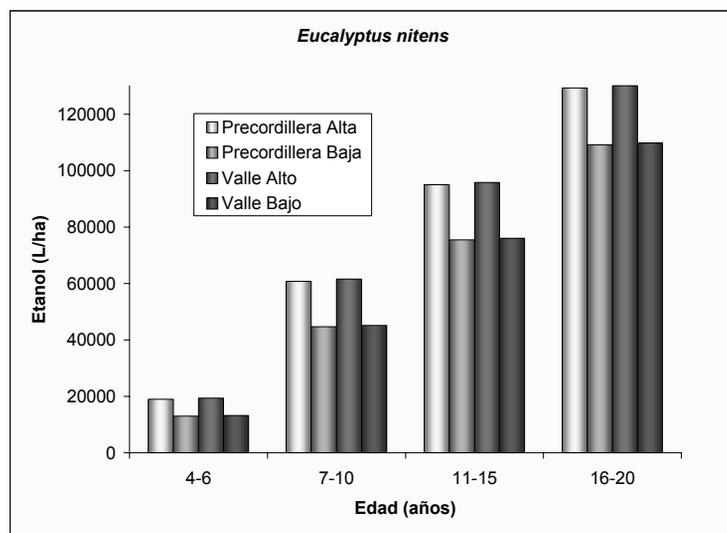
---



# SIMULACIÓN DEL CRECIMIENTO *E. nitens*

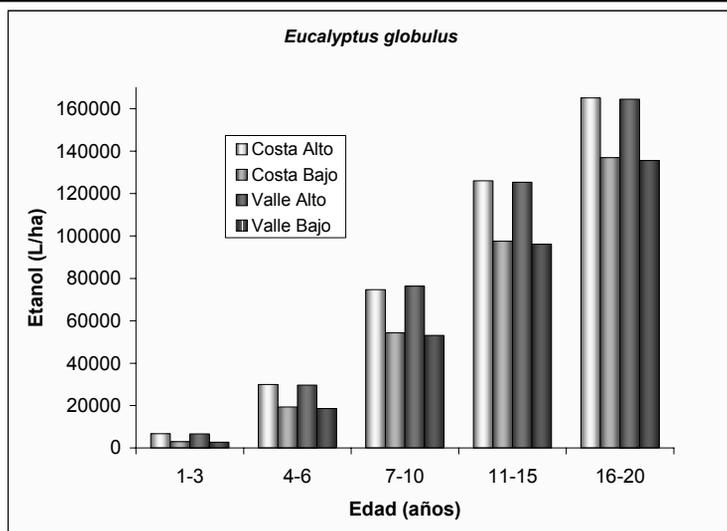


# PROYECCIÓN PRODUCCIÓN ETANOL Plantaciones de *E. nitens*



## PROYECCIÓN PRODUCCIÓN ETANOL Plantaciones de *E. globulus*

---



## CONCLUSIONES

---

- **La proyección de la producción de bioetanol en diferente sitios de la VIII Región, permitió establecer que los terrenos con indice de sitio altos son los más adecuados para obtener una mayor producción.**

## **CONCLUSIONES**

---

- Para *E. globulus* el rango de edad óptimo es de 7-10 años para los cuatro sitios estudiados.
- Para *E. nitens* los rangos de edad varían dependiendo del sitio evaluado, suelos con índice de sitio alto el rango es de 4-6 años, y de 11-15 años para suelo con índice de sitio bajo.

## **CONCLUSIONES**

---

- Los rango de edad obtenidos, como óptimos para una mayor producción de bioetanol, indican que el tiempo de permanencia de las plantaciones deberían ser cortos. Estos tiempos podrían ser menores dependiendo del tipo de suelo que se utilice y de la densidad de la plantación.

## **CONCLUSIONES**

---

- **De acuerdo con la información obtenida sería interesante la evaluación de plantaciones de corta rotación para aumentar la biomasa y obtener mejores rendimientos.**

## **AGRADECIMIENTOS**

---

**Los autores agradecen el apoyo de Innova-BíoBio-Abengoa (Proyecto 03-A1-153) y Fondecyt (Proyecto N°1040614).**

---

# **INTRODUCCIÓN**

## **Estimación de la producción de etanol de *Pinus radiata* D Don**

---

<b>Rango Edad (años)</b>	<b>Etanol Hexosas (L/ton ssc)</b>	<b>Etanol Hexosas + Pentosas (L/ton ssc)</b>
<b>1-3</b>	<b>316</b>	<b>375</b>
<b>4-6</b>	<b>325</b>	<b>367</b>
<b>7-10</b>	<b>367</b>	<b>407</b>
<b>11-15</b>	<b>380</b>	<b>413</b>
<b>16-20</b>	<b>381</b>	<b>415</b>
<b>21-25</b>	<b>402</b>	<b>429</b>
<b>26-30</b>	<b>401</b>	<b>430</b>
<b>&gt;30</b>	<b>361</b>	<b>392</b>