

Universidad Nacional de Misiones. Facultad de Ciencias Exactas, Químicas y
Naturales. Secretaría de Investigación y Postgrado. Maestrías en Madera,
Celulosa y Papel

Maestrando
José María Paz

**Influencia del Polietilenglicol en la estabilidad
dimensional de**
Aspidosperma quebracho blanco **Schlecht.**

Tesis de Maestría presentada para obtener el título de “Magíster en
Ciencias de la Madera, Celulosa y Papel”
OTM

Directora
Dra. Graciela Bolzón de Muñiz

Posadas, 1998



Esta obra está licenciada bajo Licencia Creative Commons (CC) Atribución-NoComercial-
Compartir Igual 4.0 Internacional <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Universidad Nacional de Misiones

**“INFLUENCIA DEL POLIETILENGLICOL
EN LA
ESTABILIDAD DIMENSIONAL DE
Aspidosperma quebracho-blanco Schlecht”**

José María Paz

Tesis presentada a la Universidad
Nacional de Misiones como
exigencia parcial de la Maestría en
Ciencias de la Madera, Celulosa y
Papel

1998

A mi esposa

.....

AGRADECIMIENTOS

Es muy difícil expresar adecuadamente un sincero agradecimiento a todos aquellos que, de una u otra manera, han colaborado con la realización de esta Tesis, pero no puedo dejar de dar las gracias:

A mi directora, la Dra Graciela Bolzon de Muñiz, de la UFPr, Brasil, por la orientación y sugerencias aportadas durante la realización de esta tesis.

A las autoridades de la Facultad de Ciencias Forestales y de la Maestría en Ciencias y Tecnología de la Madera, Celulosa y Papel, de la UNAM, por su continuo apoyo.

A las autoridades de la UNNE, por autorizarme a realizar esta Maestría y por su apoyo económico.

A la empresa Complejo Industrial Maderero SA por la confianza y apoyo económico brindado a lo largo de estos dos años.

A todos los profesores de la Maestría por su valiosa colaboración.

A mis compañeros de estudio de la Maestría, de los que guardaré el más grato de los recuerdos y cuya amistad espero que perdure a pesar de las distancias.

A mis compañeras de estudios, de los cursos realizados en la UNSE, María Isabel, Beatriz y Silvia, por su apoyo y amistad.

A mis colegas y amigos de la Facultad de Agroindustrias, UNNE, que estuvieron siempre a mi lado.

Y muy especialmente, a mi esposa, Alicia, quien siempre me alentó en este largo y arduo camino.

RESUMEN

En la actualidad la especie más abundante del Parque Chaqueño, *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht, no puede ser usada en la elaboración de bienes de alto valor agregado, debido a su inestabilidad dimensional, a pesar de que posee un color amarillo cremoso y alta densidad, características muy buscadas en el mercado nacional e internacional de pisos y muebles.

Basado en ello esta tesis tiene por finalidad demostrar la posibilidad del uso de *Aspidosperma quebracho-blanco* en la elaboración de bienes de alto valor agregado, a través del estudio del grado de influencia de polímeros orgánicos y de los parámetros del proceso de impregnación en la estabilidad dimensional de esta especie.

En este trabajo se usaron muestras aserradas con corte radial, impregnadas con Polietilenglicol (PEG), de peso molecular 300 y 600, a diferentes concentraciones, durante distintos tiempos, utilizando el proceso Bethell. Estas muestras fueron secadas hasta 10 % de contenido de humedad (CH) y posteriormente estabilizadas, de acuerdo con normas IRAM referentes al tema. Se utilizaron Plantas Piloto diseñadas para esta investigación. Cada uno de los ensayos se llevó a cabo de acuerdo con un Diseño Experimental Factorial 2⁴.

Para cuantificar el grado de influencia del PEG en la estabilidad dimensional se adoptó el coeficiente de retractabilidad y la contracción total.

Mediante el método de engrosamiento de la pared celular, los mejores resultados obtenidos para los coeficientes de retractabilidad (0,069 %/%) y contracción total (1,95 %) de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, se lograron trabajando con PEG 600, en solución acuosa al 50%, impregnando a 12 kg/cm² de presión durante 120 minutos. Estos valores representan una disminución en los mencionados coeficientes del 58,7 %, con referencia a los de esta especie sin tratar. La retención efectiva del polímero, en términos de estabilidad dimensional, fue de 73,7 kg de PEG 600 por metro cúbico de madera aserrada impregnada, valor que permite el uso del mismo a nivel industrial.

Además se constató que, en el rango de trabajo, el PEG 300 y PEG 600, como agentes hinchantes de la pared celular, mejoran sustancialmente la estabilidad dimensional de esta especie. Especialmente el PEG 600 logró una mayor estabilidad. También se determinó que una mayor retención de PEG lograda durante el proceso de impregnación produce una marcada disminución del coeficiente de retractabilidad.

CONTENIDO

DEDICATORIA.....	ii
AGRADECIMIENTOS.....	iii
RESUMEN.....	iv
CONTENIDO.....	vi
LISTA DE TABLAS.....	viii
LISTA DE FOTOS.....	x
LISTA DE FIGURAS.....	xi
LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS.....	xii
1 – INTRODUCCION.....	1
1.1 – Fundamento.....	1
1.1 – <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	3
1.3 – Estructura de la madera.....	5
1.4 – Polietilenglicol.....	7
1.5 – Estabilidad dimensional.....	8
1.6 – Objetivos.....	15
2 MATERIALES Y METODOS.....	16
2.1 – Muestras.....	16
2.2 – Equipos utilizados.....	17
2.2.1 – Planta Piloto de impregnación.....	18
2.2.2 – Cámaras de estabilización.....	20
2.2.3 – Otros equipos.....	21
2.3 – Metodología.....	21
2.3.1 – Contenido de humedad.....	21
2.3.2 – Impregnación.....	22
2.3.3 – Secado.....	23
2.3.4 – Estabilización.....	24
2.3.5 – Coeficiente de retractabilidad y contracción total.....	25
2.3.6 – Diseño experimental.....	26

3 -- RESULTADOS Y DISCUSION.....	30
3.1 -- Retractabilidad y retención de PEG.....	30
3.2 -- Análisis de la retractabilidad en muestras impregnadas	34
3.3 -- Análisis de la retención en muestras impregnadas.....	41
3.4 -- Retractabilidad y contracción total en muestras testigo	47
3.5 -- Análisis económico preliminar.....	48
4 -- CONCLUSION	51
BIBLIOGRAFIA.....	53
ANEXO 1 -- EXTRACCIÓN DE ESPECIES FORESTALES	
NATIVAS	57
ANEXO 2 -- PLANOS DE PLANTA PILOTO DE IMPREGNACION..	61
ANEXO 3 -- PESO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE	
MUESTRAS	66
ANEXO 4 -- MEDIDAS Y PESOS DE MUESTRAS	
IMPREGNADAS	69

LISTA DE TABLAS

1.1	Precio de maderas chaqueñas aserradas	3
1.2	Propiedades físicas y mecánicas de <i>Aspidosperma quebracho-</i> <i>blanco</i>	5
1.3	Características del PEG	8
2.1	Combinación de tratamientos	28
2.2	Actividades desarrolladas en cada tratamiento	29
3.1	Respuestas: Coeficientes de retractabilidad y retención Primera parte	32
3.2	Respuestas: Coeficientes de retractabilidad y retención Segunda parte	33
3.3	Análisis de varianza para coeficiente de retractabilidad	34
3.4	Análisis de varianza para coeficiente de retractabilidad (Final).....	35
3.5	Efectos estimados para retractabilidad.....	36
3.6	Análisis de varianza para retención de PEG	42
3.7	Análisis de varianza para retención de PEG (Final)	43
3.8	Efectos estimados para retención de PEG.....	44
3.9	Coefficiente de retractabilidad en muestras testigo	47
3.10	Retractabilidad. Análisis estadístico de muestras testigo.....	48
3.11	Contracción total. Análisis estadístico de muestras testigo.....	48
3.12	Costos comparativos de materia prima para maderas duras aserrada.....	49
A1.1	Extracción de rollizos - <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Argentina 1996	58
A1.2	Producción de rollizos - Chaco 1996.....	59
A1.3	Extracción de rollizos - <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Chaco - 1987 a 1996	60
A3.1	Contenido de humedad de testigos de muestras - Primera parte..	67

A3.2 – Contenido de humedad de testigos de muestras – Segunda parte	68
A4.1 – Impregnación de muestras – Primera parte	70
A4.2 – Retención de PEG – Primera parte	71
A4.3 – Impregnación de muestras – Segunda parte	72
A4.4 – Retención de PEG – Segunda parte	73
A4.5 – Dimensiones de muestras tratadas – Primera parte	74
A4.6 – Dimensiones de muestras tratadas – Segunda parte	75
A4.7 – Contracción total y retractabilidad – Primera parte	76
A4.8 – Contracción total y retractabilidad – Segunda parte	77

LISTA DE FOTOS

1.1 – <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	4
2.1 – Muestras de <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	17
2.2 – Planta Piloto de impregnación	19
2.3 – Cilindro de tratamientos abierto	19
2.4 – Cámaras de estabilización	20

LISTA DE FIGURAS

1.1 – Regiones fitogeográficas	2
1.2 – Modos de asociación de los componentes de la pared celular.....	6
1.3 – Estructura de la pared celular	7
1.4 – Estructura química del PEG 300.....	8
1.5 – Representación esquemática de capas mono y polimoleculares de agua entre cadenas de celulosa de madera	9
1.6– Hinchamiento radial de especies chaqueñas.....	10
1.7 Curvas de agua inaccesibles	12
1.8 Eficiencia anticontracción de diferentes tratamientos químicos	14
2.1 Corte radial de muestras	16
2.2 Esquema de Planta Piloto de impregnación	18
3.1 Curva de impregnación (Tratamiento N° 4).....	30
3.2 – Curva de impregnación (Tratamiento N° 12).....	31
3.3 – Gráfica de efectos principales para retractabilidad (a).....	36
3.4 – Gráfica de efectos principales para retractabilidad (b)	37
3.5 – Respuesta estimada del coeficiente de retractabilidad.....	38
3.6 Influencia del PEG - <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	40
3.7 – Gráfica de efectos principales para retención de PEG.....	44
3.8 – Respuesta estimada de retención de PEG	45
3.9 – Retractabilidad – Influencia de la retención de PEG.....	46
3.10 - Punto de Equilibrio para la utilización de PEG.....	50
A1.1 – Producción de rollizos de <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Argentina - 1996.....	58
A1.2 – Producción de rollizos – Chaco 1996.....	59
A1.3 – Extracción de rollizos de <i>Aspidosperma quebracho-blanco</i> Chaco 1987 a 1996.....	60

LISTA DE ABREVIATURAS Y SIGLAS

CFA : Congreso Forestal Argentino.
CH : Contenido de humedad, en %.
Coef: Coeficiente.
Conc : Concentración
DRFN : Dirección de Recursos Forestales Nativos.
ed : Edición.
EH : Equilibrio higroscópico
GL : Grados de libertad.
IRAM : Instituto Argentino de Racionalización de Materiales.
IUFRO : Internations Union of Forestry Research Organizations
P.E. : Punto de equilibrio
PEG : Policilenglicol.
PM : Peso molecular.
pp : Páginas.
Probab: Probabilidad
PSF : Punto de saturación de las fibras.
q : Retractabilidad.
R : Retención
Sgo del Estero : Santiago del Estero.
UFPr : Universidad Federal de Paraná
UNaM : Universidad Nacional de Misiones
UNNE : Universidad Nacional del Nordeste
USA: Units State of América
Vol : Volumen.

1 – INTRODUCCIÓN

1.1 - Fundamento

La región forestal Gran Chaco en América del Sur está formada por regiones forestales de cuatro países: Argentina, Paraguay, Bolivia y Brasil, con una superficie total de más de ochenta millones de hectáreas.

En la Argentina la región forestal Gran Chaco abarca 44 millones de hectáreas y constituye el Parque Chaqueño, como se observa en la figura 1.1. (1)

Debido a la gran utilización de los recursos forestales sin un manejo adecuado a lo largo de las últimas décadas, esta gran región cuenta sólo con 16 millones de hectáreas bosque naturales manejables económicamente. (2)

Las principales especies forestales del parque chaqueño son *Aspidosperma quebracho-blanco*, “quebracho blanco”, *Schinopsis quebracho-colorado*, “quebracho colorado santiagueño”, *Schinopsis balansae*, “quebracho colorado chaqueño”, *Ziziphus mistol*, “mistol”, *Prosopis alba* y *P. nigra*, “algarrobo” y *Prosopis kuntzei*, “jitín”. De ellas la más abundante es *Aspidosperma quebracho-blanco*, que contribuye con más del 50 % de los recursos forestales disponibles en esta región. (2)

A pesar de su abundancia el quebracho blanco es ocupado actualmente sólo para la fabricación de tarimas, varillas, carbón, y hasta hace diez años en la elaboración de durmientes para ferrocarril. Actualmente la producción de madera rolliza de *Aspidosperma quebracho-blanco* supera las 85.000 tn anuales en la Argentina, siendo la provincia del Chaco la que produce el 90 %. (Ver detalle en Anexo 1) (3)

La especie *Schinopsis balansae*, “quebracho colorado”, es utilizado principalmente para elaboración de durmientes y extracto tánico, y *Prosopis alba* y *P. nigra*, “algarrobo”, es utilizado intensivamente para la fabricación de muebles, aberturas y pisos. Constituyen, junto con *Aspidosperma quebracho-blanco*, las tres especies económicamente más importantes del Chaco. (Ver en Anexo 1, figura A1.2 – “Extracción de especies forestales en el Chaco”, en la que se observa que el quebracho blanco, a pesar de ser la especie más abundante, es la menos utilizada de las tres). En la figura A1.3, en Anexo 1, se detalla la producción de madera rolliza de

Aspidosperma quebracho-blanco de los últimos 10 años. Además *Tabebuia ipe* “lapacho”, aunque no tiene, en la región, la importancia económica de las tres especies citadas anteriormente, es utilizada para la fabricación de techos, pisos y carrocerías. (3;4)

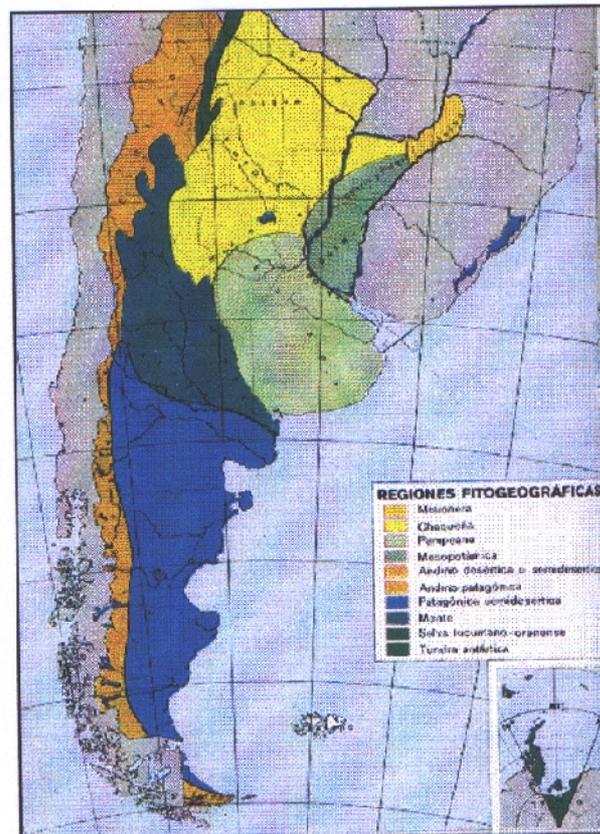


Figura 1.1 – Regiones fitogeográficas

En la actualidad, debido a la **inestabilidad dimensional** de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, esta no puede ser usada en la elaboración de bienes de alto valor agregado, como muebles, aberturas y pisos.

Desde el punto de vista económico, *Aspidosperma quebracho-blanco*, debido al citado problema de estabilidad dimensional, se comercializa en el mercado argentino a un precio mucho menor que *Schinopsis balansae* y *Prosopis alba* y *P.*

nigra. En la tabla 1.1 se detallan los precios de madera aserrada de estas especies, sin secar.

Tabla 1.1 Precio de maderas chaqueñas aserradas

ESPECIE	PRECIO / m ³
<i>Aspidosperma quebracho-blanco</i>	\$ 160
<i>Schinopsis balansae</i>	\$ 300
<i>Tabebuia ipe</i>	\$ 650
<i>Prosopis alba y nigra</i>	\$ 650

Fuente : Cámara de la Producción, Industria y Comercio de Quitilipi y elaboración propia.

Se puede observar que el precio de mercado de madera aserrada de *Aspidosperma quebracho-blanco* es aproximadamente, de un 25 % del valor de *Prosopis spp*, a pesar de que la primera posee un color amarillo cremoso y alta densidad, características muy buscadas en el mercado nacional e internacional de pisos y muebles, ya que como se explicó, no puede ser utilizada para tales fines, de alto valor agregado, debido a su gran inestabilidad dimensional.

Los antecedentes citados, junto con los requerimientos y el apoyo económico del sector industrial maderero chaqueño llevaron, luego de analizar los diferentes métodos para mejorar la estabilidad de la madera, a estudiar la influencia del polietilenglicol en la estabilidad dimensional de la especie más abundante del Parque Chaqueño.

1.2 - *Aspidosperma quebracho-blanco*

A efectos de realizar el trabajo experimental, se utilizaron muestras de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht, cuyas características se detallan a continuación:

- ◆ **Nombre vulgar:** quebracho blanco (en castellano)
wílca (en quechua)
- ◆ **Familia:** Apocináceas

◆ Caracteres botánicas y organolépticos

Arbol de porte y altura variable, de acuerdo con las condiciones de clima y suelo en que se desarrolla. En el Parque Chaqueño la altura y el diámetro promedio son de 6 a 15 m y entre 30 y 60 cm, respectivamente, con un fuste útil de 4 a 7 m.

Posee una copa desarrollada, cilíndrico globosa a obcónica, ramaje más o menos pendiente. Su corteza es gruesa, rugosa, de color gris amarillento y encierra diversos alcaloides de aplicación en medicina.

El follaje es perenne formado por hojas lanceoladas y espinosas en el ápice. Las flores, hermafroditas, actinomorfas blanco-amarillentas, perfumadas, aparecen de septiembre a enero. El fruto es una cápsula leñosa verde-grisácea, dehiscente de forma aovada a suborbicular, lisa, de 7 a 12 cm. En el corte transversal se observa una coloración blanco-amarillento a ocre rosado, sin que se vea diferencia de color entre albura y duramen.

La madera posee una textura fina y homogénea y un brillo suave. (5)

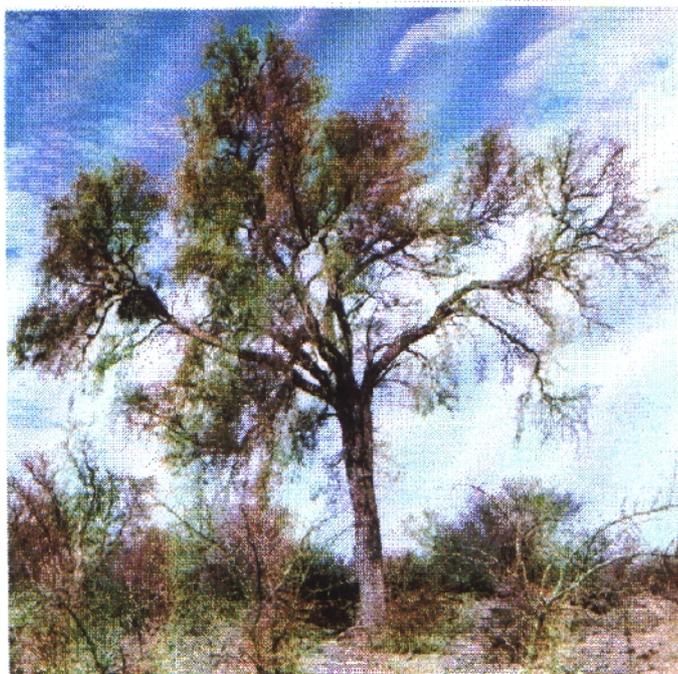


Foto 1.1 – *Aspidosperma quebracho-blanco*

♦ **Propiedades físicas y mecánicas:**

Tabla 1.2 – Propiedades físicas y mecánicas de *Aspidosperma quebracho-blanco*.

Propiedad	Valor
Densidad a 0% CH (gr/cm ³)	0,87
Porosidad (%)	41
Hinchamiento radial máximo (%)	4,7
Hinchamiento tangencial máximo (%)	9,78
Contracción radial máxima (%)	4,5
Contracción tangencial máxima (%)	8,92
Coef. de retractabilidad radial (%/%)	0,18
Coef. de retractabilidad tangencial (%/%)	0,32
Punto de saturación de las fibras (PSF)	26,72
Flexión estática : Módulo de rotura (kg/cm ²)	1030
Módulo de elasticidad (kg/cm ²)	92035
Compresión axial: Módulo de rotura (kg/cm ²)	445
Dureza lateral - Janka (kg/mm ²)	1067

Fuente: Coronel F. (6,7)

1.3 – Estructura de la madera

La madera es un compuesto polimérico formado primariamente de celulosa, hemicelulosa y lignina. De una manera simple podemos decir que la celulosa forma un esqueleto fibrilar, el cual está rodeado por una matriz de hemicelulosa y lignina, teniendo la celulosa y hemicelulosa afinidad por el agua.

La disposición exacta de la celulosa, hemicelulosa y lignina en la pared celular de la madera no está perfectamente definida existiendo diferentes modelos, entre los que podemos citar el de Fengel, Dinwoodie y el de Kerr y Goring. Estos últimos consideran una íntima relación entre la celulosa y la hemicelulosa y entre la lignina y la hemicelulosa. (Ver figura 1.2) (8,9)

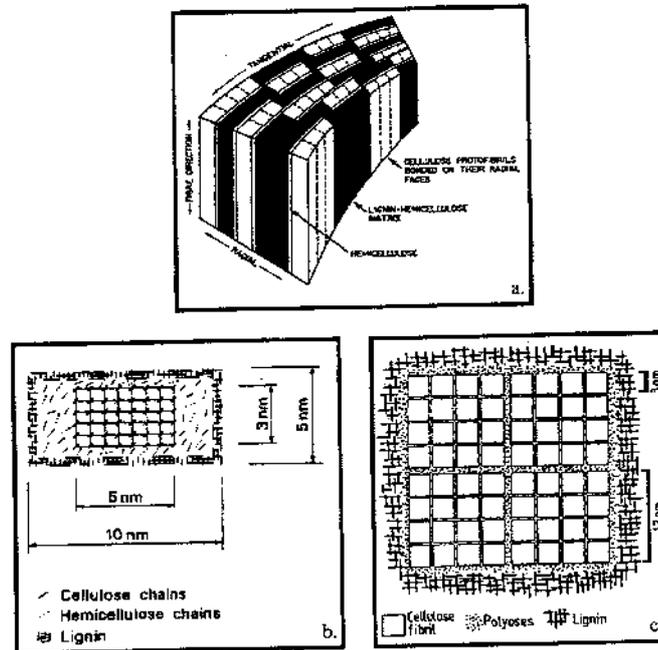


Figura 1.2 – Modelos de Asociación de los componentes de la pared celular
a- Kerr y Goring ; b- Dinwoodie y c- Fengel

Las cadenas de celulosa se presentan en la madera agrupadas en cadenas apareadas lateralmente formando fibrilas elementales de 3 nm de diámetro. Los grupos de estas últimas, rodeadas de cadenas cortas de hemicelulosas, forman las microfibrillas de 10 a 30 nm de diámetro. Luego de formadas las microfibrillas, se incorporan al proceso la lignina y extractivos dando rigidez a la estructura, pero quedan espacios microcapilares que permitirán el ingreso de agua e impregnantes a la pared celular. (10)

Las microfibrillas se depositan en las diferentes capas de la pared celular con distintas orientaciones. En la figura 1.3 se ve la estructura de la pared celular, su pared primaria y secundaria con sus subcapas y lámina media. (11;12)

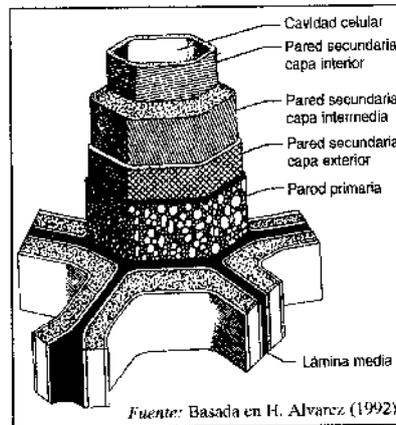
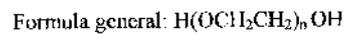


Figura 1.3 – Estructura de la pared celular

1.3 – Polietilenglicol

En la impregnación de las muestras se usaron PEG 300 y PEG 600 cuyas características son las siguientes:



El PEG se obtiene por polimerización de óxido de etileno, y el peso molecular (PM) del monómero es de 106, y incrementando el grado de polimerización, al variar "n", varía el PM, con $n = 1 ; 3 ; 5 ; 8$, y se obtiene PEG de $\text{PM} = 106 ; 194 ; 282 ; 414$, respectivamente.

Propiedades: Son líquidos viscosos, inodoros, incoloros, solubles en agua forman soluciones transparentes, tienen baja toxicidad y poseen baja presión de vapor.

En la figura 1.4 se observan la estructura molecular del PEG 300 , con $n = 5$, y la ubicación espacial de los átomos.

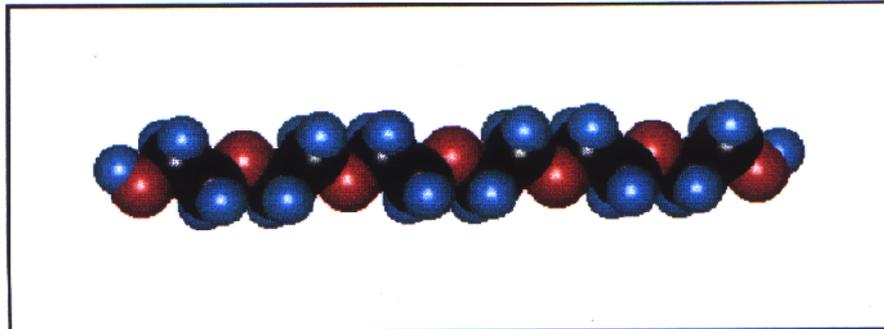


Figura 1.4 – Estructura química del PEG 300

Tabla 1.3– Características del PEG

Propiedad	PEG 300	PEG 600
Rango de PM	280-320	570-630
Densidad (25°C)	1,127	1,138
Viscosidad (centistok)	5,8	10,5
Punto de fusión	-15° a -13 °C	-7 a -4 °C
Higroscopicidad	Higroscópico	Poco higroscop.

Fuente: The Merck Index y Reynolds J.(13;14)

1.4 – Estabilidad dimensional

Muchas investigaciones se han llevado a cabo para mejorar la estabilidad dimensional de la madera por modificación de sus propiedades a través de tratamientos térmicos, mecánicos o químicos.

La inestabilidad dimensional es uno de los mayores problemas en el procesado y uso de la madera y expresa la tendencia que tiene la madera a contraerse o hincharse acompañando las variaciones del contenido de humedad de la misma por

debajo del punto de saturación de las fibras (PSF), siendo esta contracción o hinchamiento proporcional al contenido de humedad, en ese rango.

La principal causa de que el agua extraída durante el secado sea nuevamente absorbida por la madera es la atracción de las moléculas de agua por los hidroxilos de sus componentes, especialmente de la celulosa. De esta manera se forma una capa monomolecular de agua, que es retenida entre las cadenas de celulosa por los enlaces puente hidrógeno. La formación de esta lleva a la separación de las cadenas de celulosa, principalmente en la región no ordenada de las microfibrillas, y comienza de esta manera el hinchamiento. Esto ocurre hasta contenidos de humedad de 5%. (Ver figura 1.5-A y B)

El efecto de fuerzas de atracción secundarias permite la entrada de más moléculas de agua y se forman capas polimoleculares, con incremento del hinchamiento. (Ver figura 1.5 -C y D) (15).

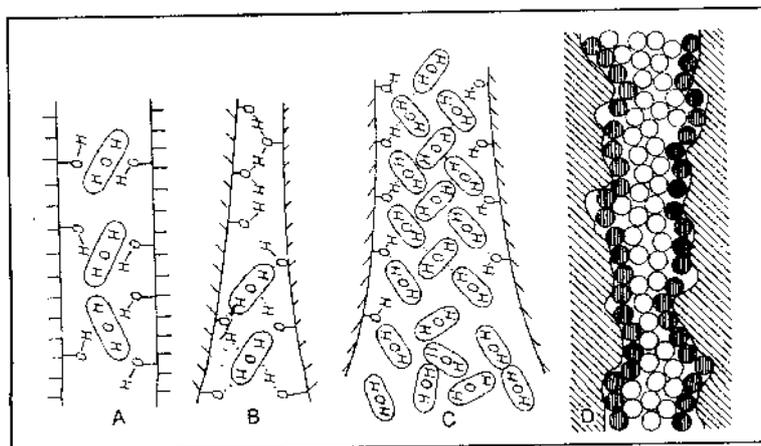


Figura 1.5 Representación esquemática de capas mono y polimoleculares de agua entre cadenas de celulosa de la madera.

En la figura 1.6 vemos las variaciones en el hinchamiento radial de las tres especies, económicamente más importantes, del parque chaqueño en función de su contenido de humedad. Se puede comprobar, entonces, que el quebracho blanco es el

que tiene el mayor coeficiente (4,7 %) y, por lo tanto, la mayor inestabilidad dimensional. (6)

En las aplicaciones técnicas de la industria maderera, el hinchamiento y la contracción total son poco utilizados, porque resulta de mayor interés el coeficiente de Retractabilidad, también conocido por Hinchamiento o por Contracción Diferencial, que expresa el porcentaje de hinchamiento o de contracción lineal por cada 1% de variación del contenido de humedad. En el gráfico de la figura 1.6, este hinchamiento diferencial está representado por la pendiente de la curva de Hinchamiento Lineal en función del contenido de humedad por debajo del PSF.

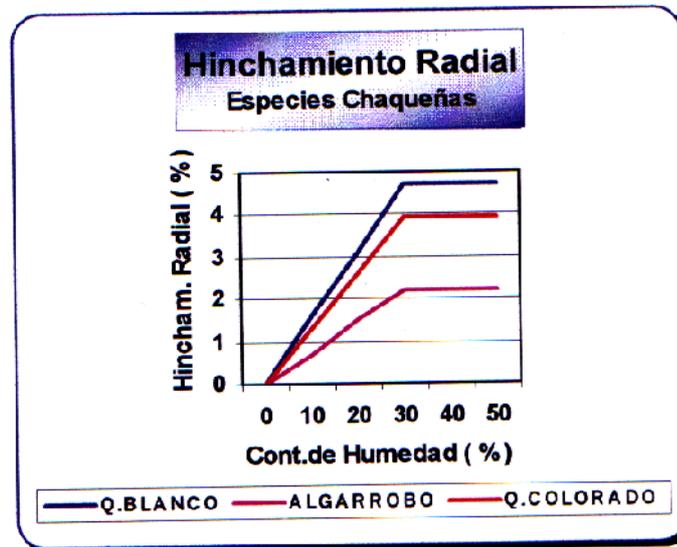


Figura 1.6 – Hinchamiento radial de especies chaqueñas

Experiencias realizadas por diversos investigadores han mostrado que la contracción y el hinchamiento de la madera pueden ser reducidos de diferentes métodos, entre los que se destacan: (16;17)

a) Estabilización mecánica por laminación cruzada:

En la elaboración de madera terciada, una forma de contrarrestar los movimientos de las chapas de madera es armarla con chapas en ambas

direcciones, donde el menor hinchamiento longitudinal, que es 20 a 30 veces menor respecto a la dirección radial o tangencial, restringe las variaciones transversales. La mayor desventaja de este método es el hinchamiento en el espesor de la lámina.

b) Recubrimiento :

Una forma tradicional de reducir el movimiento de la madera fue el uso de una película de pintura u otro elemento que no permitiera el ingreso de agua, a efectos de limitar la higroscopicidad de la misma. Su efectividad disminuye con el tiempo y depende de la permeabilidad de la película. Este método no logra una real estabilización dimensional de la madera. (18)

c) Sustitución :

La más importante de las sustituciones para reducir la higroscopicidad de la madera es el proceso de acetilación. Reduce la contracción sustituyendo los hidroxilos higroscópicos de la celulosa y hemicelulosa por grupos acetil hidrofóbicos.

d) Engrosado de la pared celular:

El engrosado se refiere a la condición en la que los químicos son depositados dentro de la pared celular, reemplazando parte del agua. De esta manera la contracción puede ser total o parcialmente eliminada. Se utilizan diferentes productos químicos: sales de sodio, bario y magnesio, azúcares, polietilenglicol de diferentes pesos moleculares, resinas sintéticas. (19)

Los trabajos de Scallan A.M. muestran las curvas de agua inaccesible para madera y fibras de madera de la especie *black spruce* en función del diámetro de poros, o diámetro molecular del soluto ocupado, logradas a partir de la técnica de "exclusión de soluto". En la figura 1.7 se observa que los diámetros moleculares más altos de los solutos no tienen acceso a la pared celular. (20)

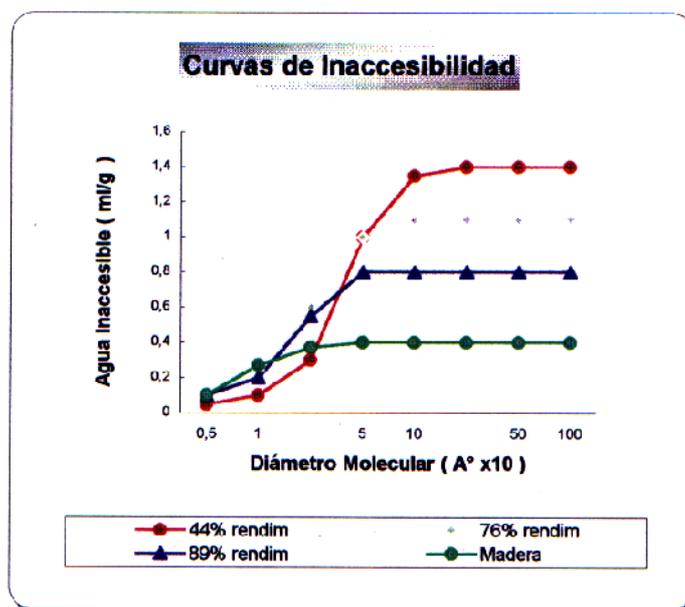


Figura 1.7 – Curvas de agua inaccesible (a partir de Scallan A.M.)

Los estudios de Wallstrom L. sobre los productos químicos más usados para la estabilización dimensional de la madera en los últimos setenta años muestran que los químicos más comunes son el acrilato (14,5%) y el PEG (9,5%). (9)

El polietilenglicol es uno de los agentes más efectivos utilizados para el engrosado de la pared celular. El tratamiento con PEG da mejores resultados si se utilizan soluciones acuosas de 30 a 50 % de concentración en peso del polímero. Su efectividad disminuye apreciablemente cuando el peso molecular excede 1500. (17;19;21;22)

Estudios realizados con Microscopios Electrónicos de Transmisión y de Barrido muestran que especies impregnadas en verde obtienen una mayor uniformidad en la distribución de los polímeros de impregnación en la pared celular y ello lleva a una mayor estabilidad con respecto a aquellas que fueron impregnadas luego de un secado, debido a que limitan así el daño producido en el secado a nivel de la pared celular. (9;23)

El Peso molecular del PEG utilizado en la impregnación, entre 300 y 1500, depende de dos factores: por un lado, los pesos moleculares bajos son más volátiles y

en contacto con humedad podrían fácilmente salir a la superficie de la madera; por otro lado, los altos pesos moleculares son mucho menos solubles en agua, pero también menos capaces de penetrar en la pared celular. Su tamaño es 80 veces mayor que el de la molécula de agua, lo que disminuye su efectividad como agente hinchante. El PEG 300 es más efectivo que el PEG 1500. (24)

Usando PEG 1500 para la estabilización dimensional de *Pinus sylvestris*, Wallstrom L. reportó la no penetración del polímero en la pared celular, aun cuando el peso se incrementó en un 20 %, ingresando en la pared celular una pequeña cantidad correspondiente a las fracciones de peso molecular más bajo. (25)

Pueden alcanzarse valores de contracción de 1%, impregnando con PEG, a concentraciones menores del 50 %, cuando el PEG contenido en la madera alcanza el 35 % de su peso anhidro. (16)

El tamaño de la molécula impregnante influye en el resultado de la estabilización, pero la flexibilidad de la cadena del polímero también es importante y permite que polímeros de pesos moleculares más elevados, como el PEG 1500, produzcan algún efecto. (26)

Utilizando PEG 400 y PEG 1500 en chapas de *Betula alba* "abedul", Merilouto, J. logró disminuir la contracción en 20% y 40 % respectivamente y redujo en un 66 % la aparición de defectos. (27)

El uso de PEG 200 y PEG 1500 en *Pinus sylvestris* mostró que el PEG 200 produce un mayor hinchamiento de la pared celular logrando una mejor estabilización macroscópica. (28)

El uso del PEG 400 para estabilizar la especie *Aesculus turbinata*, realizado por Masuzawa, F. et al., alcanzó una mejora del 94 % en la contracción radial. (29)

En términos generales, Wallstrom L. muestra la eficacia lograda en la disminución de la contracción al utilizar diferentes métodos y con su correspondiente ganancia en peso referida a peso seco, reportando además que el incremento en el espesor de la pared celular es proporcional a un incremento en la estabilización dimensional de la madera. (9)

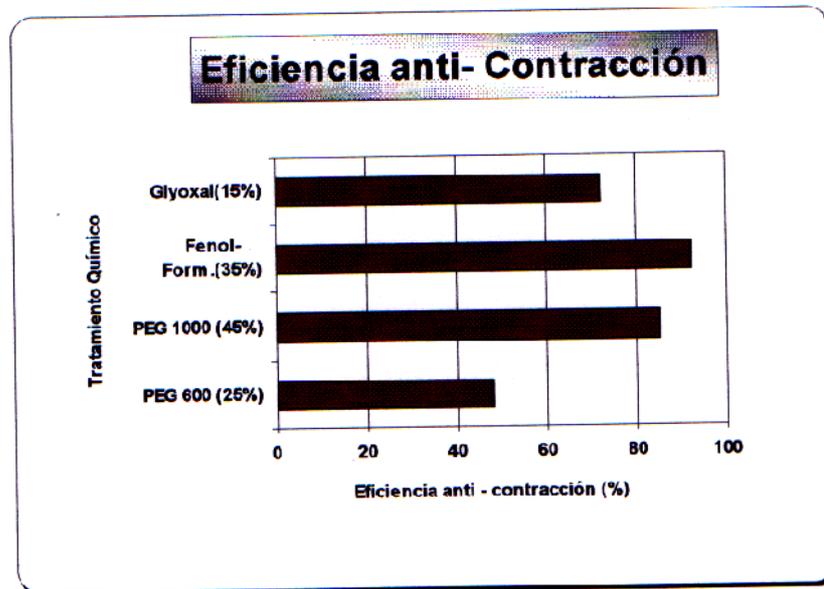


Figura 1.8 – Efectividad anti-contracción de diferentes tratamientos químicos (a partir de Wallström L.)

Sustancias tánicas fueron ocupadas para estabilizar *Aspidosperma quebracho-blanco* por Besold G. y Moreno G, utilizando vacío-presión y variación de la temperatura. Lograron disminuir el coef. de contracción radial en un 20%, cuando se ocupaban concentraciones del 10%. (30)

Además, investigaciones realizadas sobre la estabilidad dimensional de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco* por Moreno G. y Medina J.C., utilizando extracto de quebracho colorado a diferentes concentraciones y aplicando presión y vacío, lograron reducir la contracción en un 70 % cuando trabajaron a 30 % de concentración y con madera seca al aire. (31)

Martinez R. et al. impregnaron la especie *Aspidosperma quebracho-blanco* con PEG 300 puro utilizando vacío-presión, y reportaron retenciones de 92,6 kg/m³ y eliminación de las deformaciones. (32)

Luego del análisis de los antecedentes citados, se fijaron el objetivo general y los objetivos particulares, de acuerdo con el siguiente detalle:

1.5 - Objetivos

Objetivo general

Posibilitar el uso de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco* en la elaboración de bienes de alto valor agregado.

Objetivos particulares

- I. **Determinar el grado de influencia del polietilenglicol de diferentes pesos moleculares en la estabilidad dimensional de *Aspidosperma quebracho-blanco*.**
- II. **Determinar la retención efectiva del polímero orgánico.**
- III. **Determinar la influencia de los parámetros de impregnación en la estabilidad dimensional.**
- IV. **Realizar un análisis económico preliminar.**

2 - MATERIALES Y MÉTODOS

2.1 – Muestras

Las muestras ocupadas fueron aserradas de árboles cuyo fuste útil tenía un **diámetro medio de 35 a 45 cm**, que corresponde al diámetro utilizado industrialmente.

La procedencia de la madera corresponde a aserraderos centrochaqueños, de los departamentos Comandante Fernández, Independencia y Quitilipi.

Debido a los elevados coeficientes de hinchamiento y contracción del *Aspidosperma quebracho-blanco*, especialmente en la dirección tangencial, se adoptaron para la presente investigación muestras aserradas con **corte radial**.

A efectos de realizar los cortes radiales se utilizó el sistema denominado aserrado por hilos encontrados, por el que en cada “cuartón” se realizan cortes alternados, lo que da mayor estabilidad a las tablas. De las piezas centrales, de corte perfectamente radial, se tomaron las muestras, como se muestra en la figura 2.1.

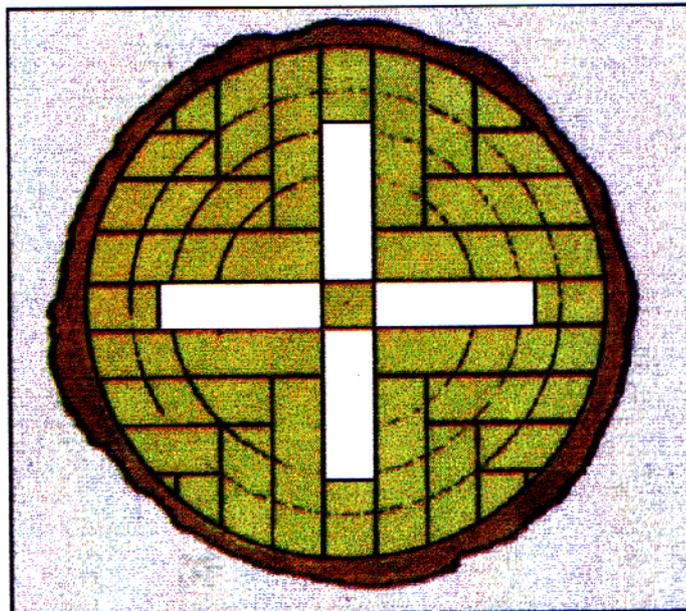


Figura 2.1 – Corte radial de muestras

Las **dimensiones** de las muestras se adoptaron de la misma sección transversal que las utilizadas en la industria de pisos tarugados y de una longitud menor, ya que la estabilidad dimensional depende, casi exclusivamente, de los movimientos que se producen en la madera en la dirección radial y tangencial. (Ver foto 2.1)

Dimensiones de las muestras: 250 mm x 104 mm x 25 mm

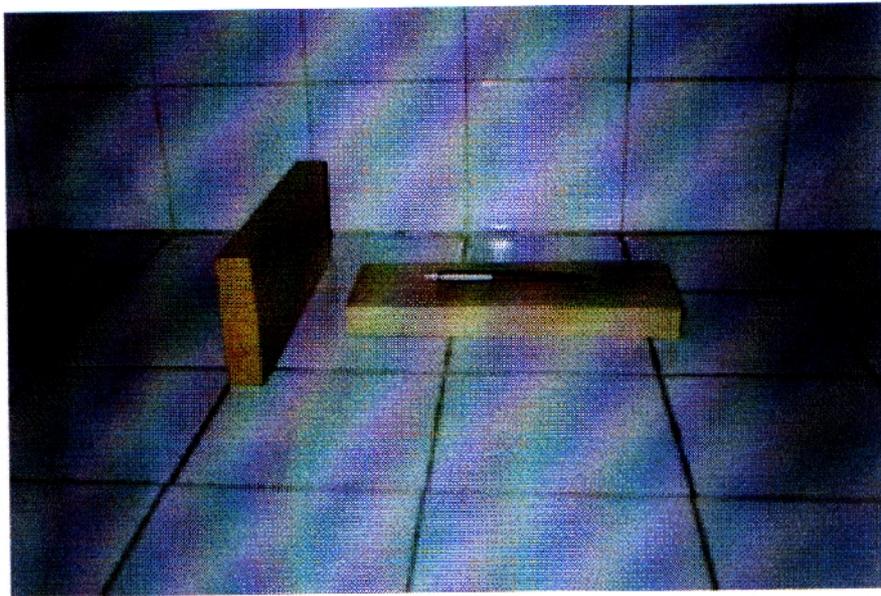


Foto 2.1 – Muestras de *Aspidosperma quebracho-blanco*

2.2 – Equipos utilizados

Para la realización de las investigaciones que permitieron elaborar esta tesis se utilizaron los siguientes equipamientos:

2.2.1 – Planta Piloto de impregnación

La Planta Piloto utilizada, que fue diseñada y construida especialmente para la investigación, tiene una capacidad de 45 dm^3 , $1,05 \text{ m}$ de longitud y $0,22 \text{ m}$ de diámetro, fabricada con acero de 12 mm de espesor, capaz de trabajar a presiones interiores de 15 kg/cm^2 . (Se adjuntan los planos en el Anexo 2)

Además la Planta Piloto cuenta, como se esquematiza en la Figura 2.2, con una bomba de alta presión con motor de $7,5 \text{ Kw}$, bomba de vacío con motor de 4 Kw , depósito de PEG de 80 dm^3 y tableros de potencia y control.

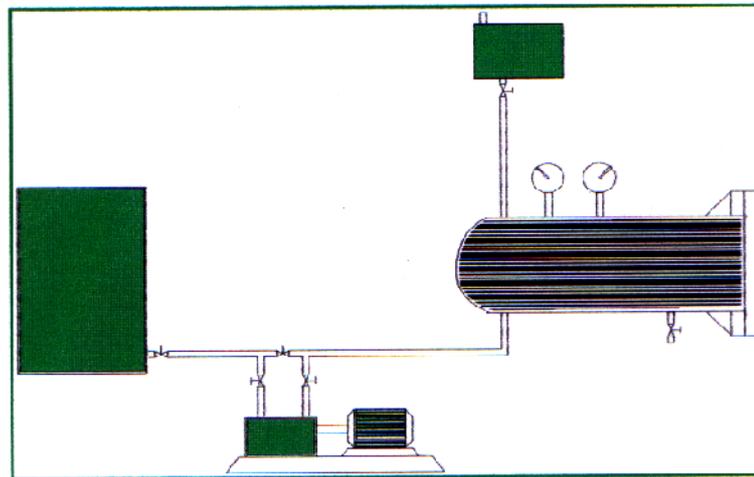


Figura 2.2 – Esquema de Planta Piloto de impregnación

En la foto 2.2 se observa una vista lateral de esta Planta Piloto, donde se pueden ver los refuerzos diseñados para las zonas críticas junto a la tapa, mientras que en la foto 2.3 se ve el cilindro de tratamiento abierto.

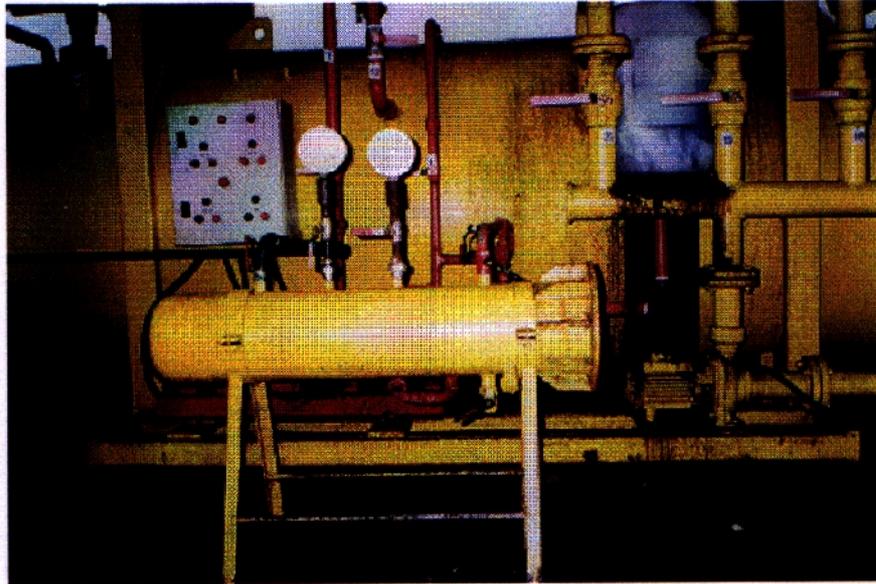


Foto 2.2 – Planta Piloto de impregnación

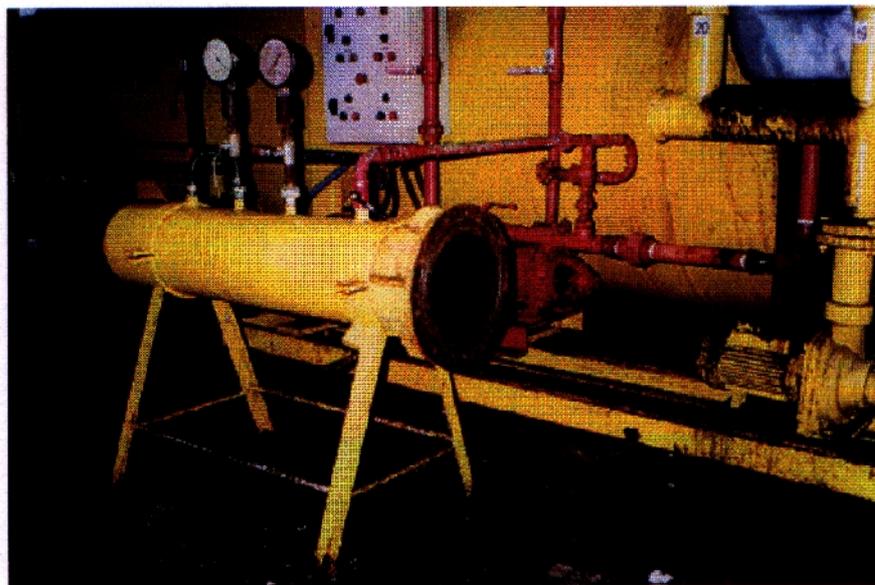


Foto 2.3 – Cilindro de tratamientos abierto

2.2.2 – Cámaras de estabilización

Las cámaras de estabilización utilizadas fueron diseñadas y construidas para llevar adelante el trabajo de investigación, “Influencia de la temperatura de secado en el coeficiente de histéresis de *Aspidosperma quebracho-blanco*”, que formó parte del curso “Relación agua-madera”, perteneciente a esta Maestría. (33)

Las dos cámaras de estabilización fueron construidas con vidrio de 5 mm de espesor, en las siguientes dimensiones:

Medidas externas: 80 cm x 50 cm x 45 cm

Medidas útiles: 80 cm x 50 cm x 25 cm

Cuentan con ventiladores axiales de 0,08 Kw de potencia, agitador magnético, parrilla porta muestras y recipiente de 3000 ml para solución salina saturada. (Ver foto 2.4)



Foto 2.4 – Cámaras de estabilización

2.2.3 – Otros equipos

Además fueron utilizados los siguientes elementos:

- ◆ Estufa con circulación forzada

Para el secado de las muestras se utilizó una estufa marca Dalvo, con circulación forzada de aire y con control automático de la temperatura, de las siguientes dimensiones:

Medidas Externas: 107 cm x 80 cm x 47 cm

Medidas Internas: 60 cm x 40 cm x 40 cm

- ◆ Anemómetro digital marca Testo-440.
- ◆ Higrómetro digital Marca Testo-610
- ◆ Balanza analítica marca Denver I.C., con precisión 0,01 gr
- ◆ Calibre marca Storm, con precisión 0,02 mm.

2.3 – Metodología

Para medir el grado de influencia del PEG en la estabilidad dimensional de esta especie al impregnarla con el polímero, se utilizó la siguiente metodología:

2.3.1 – Contenido de humedad

Para la determinación del contenido de humedad se utilizó la Norma IRAM N° 9532, G-1 items "a", "Método de Secado en estufa", se prepararon las muestras de 20 mm de longitud y de sección igual a las muestras a ser impregnadas. Cada uno de los 48 testigos se preparó a partir de la misma tabla que la muestra respectiva. (34)

Se pesaron las muestras con precisión de 0,01 gr (peso original) y se colocaron en estufa.

Se aplicó calentamiento gradual hasta 103 °C +/- 2°C.

Se dejaron las probetas a dicha temperatura durante 20 hs.

Se retiraron las muestras de la estufa, se dejaron enfriar en desecador y volvieron a pesar al 0,01 gr.

Se repitió la operación anterior cada dos horas, hasta que 2 pesadas consecutivas dieron igual valor (peso anhidro).

Para el cálculo se aplicó:

$$CH = \frac{G - G_1}{G_1} * 100$$

Donde

CH : Contenido de humedad en base anhidra (%)

G : Peso original de la muestra en gramos

G₁ : Peso de la muestra anhidra en gramos

2.3.2 – Impregnación

La impregnación se realizó a través del Proceso Betheli, de acuerdo con la norma IRAM N° 9511, ítem 3.101, denominado de “célula llena”, que consta de las siguientes etapas: (35;36)

- Carga:

Se colocaron las muestras, previamente pesadas al 0,1 gr y medidas a 0,1 mm, en el cilindro de tratamientos que se cerró en forma hermética.

- Vacío inicial

Se realizó vacío hasta alcanzar 0,8 kg/cm², y se mantuvo en dicho valor durante 30 minutos.

- Admisión de solución (PEG)

Se ingresó la solución en el autoclave aprovechando el vacío existente y se completó por medio de bombas. Esta etapa finalizó cuando el cilindro estaba completamente lleno y sin aire.

- **Periodo de presión**

Se aplicó presión al cilindro de tratamientos, paulatinamente, hasta alcanzar 6 ó 12 kg/cm², se mantuvo en el valor máximo de presión, durante un tiempo de 30 ó 120 minutos, según correspondía.

- **Descarga de solución**

Se descargó por gravedad la solución y se mantuvo el cilindro cerrado.

- **Vacío final**

Se realizó vacío hasta alcanzar 0,8 kg/cm² y se mantuvo en dicho valor durante 30 minutos.

- **Descarga**

Se descargaron las piezas impregnadas y se las pesó al 0,1 gr y se las midió al 0,1 mm.

2.3.3 – Secado

Para la realización del secado se aplicaron las pautas aconsejadas para *Aspidosperma spp*, según el siguiente detalle: (37;38)

* Etapas de secado:

a) Secado propiamente dicho:

- a.1) Contenido de humedad mayor a 35%
- a.2) Contenido de humedad entre 35 a 30%
- a.3) Contenido de humedad entre 30 a 25 %
- a.4) Contenido de humedad entre 25 a 20 %
- a.5) Contenido de humedad entre 20 a 15 %
- a.6) Contenido de humedad menor 15 %

Subetapas	Temperatura Bulbo seco °C	Humedad relativa del aire (%)	Equilibrio Higroscópico (%)
a.1	55	86	16,2
a.2	55	81	14.3
a.3	60	73	11.5
a.4	65	59	8.3
a.5	71	37	5.1
a.6	71	21	3.4

b) Igualación:

Etapa	Temperatura Bulbo seco °C	Humedad Relativa del aire (%)	Equilibrio Higroscópico (%)
Igualación	55	58	9

c) Enfriamiento

Se realizó para lograr en forma gradual la adecuación a las condiciones ambientales, manteniendo el equilibrio higroscópico constante, posteriormente se pesaron las muestras al 0,1 gr y se midieron con precisión de 0,1 mm.

2.4.4 – Estabilización

La estabilización de las muestras se llevó a cabo en cámaras de equilibrio higroscópico constante, a 16 %, a una temperatura de 25 °C y una humedad relativa del 78 %, generada por solución salina saturada de NaCl, permanentemente agitada y con circulación forzada de aire sobre la solución a 2,5 m/s, con la siguiente metodología:

- Las muestras pesadas al 0,1 gr y medidas con precisión de 0,1 mm, se colocaron en las cámaras de estabilización.
- Semanalmente se pesaron al 0,1 gr y se midieron con precisión de 0,1 mm, hasta dos pesos consecutivos iguales, y se obtuvieron **pesos y medidas de estabilización**

2.3.5 – Coeficiente de retractabilidad y contracción total

Se adoptaron como parámetros de control, por un lado, el **coeficiente de retractabilidad**, también conocido como **hinchamiento diferencial**, que representa el porcentaje de hinchamiento que se produce por cada variación unitaria en el porcentaje de contenido de humedad, por debajo del PSF y, por otro lado, se analizó la **contracción total**, siempre en la dimensión radial. (39)

$$\text{Coef. de retractabilidad (\%/\%)} = \frac{\text{Hinchamiento Total}(\%)}{\text{PSF}(28\%)}$$

$$\text{Contracción total (\%)} = \frac{(L_{28} - L_0)}{L_{28}} * 100$$

Por ser estos coeficientes proporcionales al contenido de humedad por debajo del PSF, a los efectos prácticos de la investigación y teniendo en cuenta que las muestras fueron secadas hasta un contenido de humedad de 10 %, se pueden expresar de la siguiente manera:

$$\text{Contracción total (\%)} = \frac{(L_{28} - L_{10})}{L_{28}} * \frac{\text{PSF}}{(\text{PSF} - 10\%)} * 100$$

Teniendo en cuenta la relación existente entre la contracción total y el hinchamiento total, se puede expresar:

$$\text{Coef. de retractabilidad (\% / \%)} = \frac{(L_{28} - L_{10}) * 100}{(PSF - 10\%) * L_{28} - PSF(L_{28} - L_{10})}$$

Además si se expresa el coef. de retractabilidad en función de los parámetros medidos en la cámara de estabilización, se tiene:

$$\text{Coef. de retractabilidad (\% / \%)} = \frac{(L_{16} - L_{10}) * 100}{(EH_c - 10\%) * L_{28} - PSF(L_{16} - L_{10})}$$

En todos los casos el PSF y el equilibrio higroscópico ambiente de la cámara de estabilización (EH), están expresados en porcentaje, en los que:

L_{28} – Dimensión radial al 28 % de CH

L_{16} – Dimensión radial al 16 % de CH

L_{10} – Dimensión radial al 10 % de CH

L_0 = Dimensión radial al 0 % de CH

Para medir la retención neta de la solución de polímero, se utilizó la variación en peso por unidad de volumen:

$$\text{Retención (Kg/m}^3\text{)} = \frac{(\text{PesoMuestraIm pregnada} - \text{PesoMuestra})}{\text{VolumenMuestra}}$$

2.3.6 – Diseño experimental

Esta investigación se llevó adelante desarrollando un **diseño experimental “Factorial 2⁴”**, con tres repeticiones, **a nivel de Planta Piloto**, y las variables independientes, con sus niveles máximo y mínimo entre paréntesis, se detallan a continuación: (40;41)

Variables independientes:

- ◆ A – Tipo de Polietilenglicol (PM 300 - PM 600)
Se utilizó PEG tipo industrial, con las características detalladas en ítem 2.1.2.
- ◆ B - Concentración del PEG (30 % - 50 %)
Se utilizó solución acuosa del polímero.
- ◆ C – Presión máxima de impregnación (6 kg/cm² – 12 kg/cm²)
Es la presión máxima que se trabajará durante la impregnación aplicando el proceso Bethell.
- ◆ D – Tiempo de Impregnación (30 min. – 60 min)
Es el tiempo durante el cual se sometió a las muestras a la presión máxima, en el cilindro de tratamientos.

Variables dependientes (Respuestas):

- ◆ Coef. de retractabilidad (Hinchamiento diferencial)
Se calculó el coeficiente de retractabilidad, con respecto al hinchamiento radial.
- ◆ Retención del polímero
A partir de la retención neta de solución, se calculó la retención de PEG

La combinación de tratamientos correspondientes al diseño experimental adoptado se detalla en la tabla 2.1.

Tabla 2.1 – Combinaciones de tratamientos

Combinación de tratam.	Variables independientes				Respuestas	
	PEG	Conc.	Presión	Tiempo	Retractab.	Retención
	PM	%	kg/cm2	Minutos	%/%	Kg/m3
1	300	30	6	30		
2	600	30	6	30		
3	300	50	6	30		
4	600	50	6	30		
5	300	30	12	30		
6	600	30	12	30		
7	300	50	12	30		
8	600	50	12	30		
9	300	30	6	120		
10	600	30	6	120		
11	300	50	6	120		
12	600	50	6	120		
13	300	30	12	120		
14	600	30	12	120		
15	300	50	12	120		
16	600	50	12	120		

Para cada uno de los tratamientos detallados en la tabla 2.1 se realizaron las actividades que se presentan en la tabla 2.2.

Tabla 2.2 – Actividades desarrolladas en cada tratamiento

	Actividad
A	Determinación del contenido de humedad de las muestras de acuerdo con normas IRAM N° 9532.
B	Determinación del peso con balanza analítica y de las dimensiones de las muestras con calibre.
C	Impregnación de las muestras en Planta Piloto utilizando proceso Bethell, con los parámetros establecidos en el diseño experimental. IRAM N°9511.
D	Determinación del peso y las dimensiones de las muestras impregnadas en "C" y de los testigos .
E	Secado de las muestras impregnadas en " C " y los testigos, hasta un contenido de humedad del 10 % .
F	Determinación del peso y las dimensiones de las muestras secadas en " E " y de los testigos secos.
G	Estabilización de las muestras y los testigos secados en " E " , en ambiente controlado de temperatura y humedad relativa constantes. equilibrio higroscópico ambiente de 16 %
H	Determinación del peso y las dimensiones de las muestras estabilizadas en " G " .
I	Cálculo del coeficiente de retractabilidad.
J	Cálculo de la contracción radial total.
K	Cálculo de la retención neta de PEG.

3 – RESULTADOS Y DISCUSION

3.1 – Retractabilidad y retención de PEG

A efectos de desarrollar la combinación de tratamientos detallada en la tabla 2.1, se llevaron adelante la totalidad de las actividades previstas. Las impregnaciones dieron por resultado curvas de presión tales como la mostrada en la figura 3.1, en la que se observa que la presión máxima ejercida dentro del cilindro de tratamiento, se mantuvo constante en un rango $0,5 \text{ kg/cm}^2$, durante el tiempo establecido para la máxima presión.

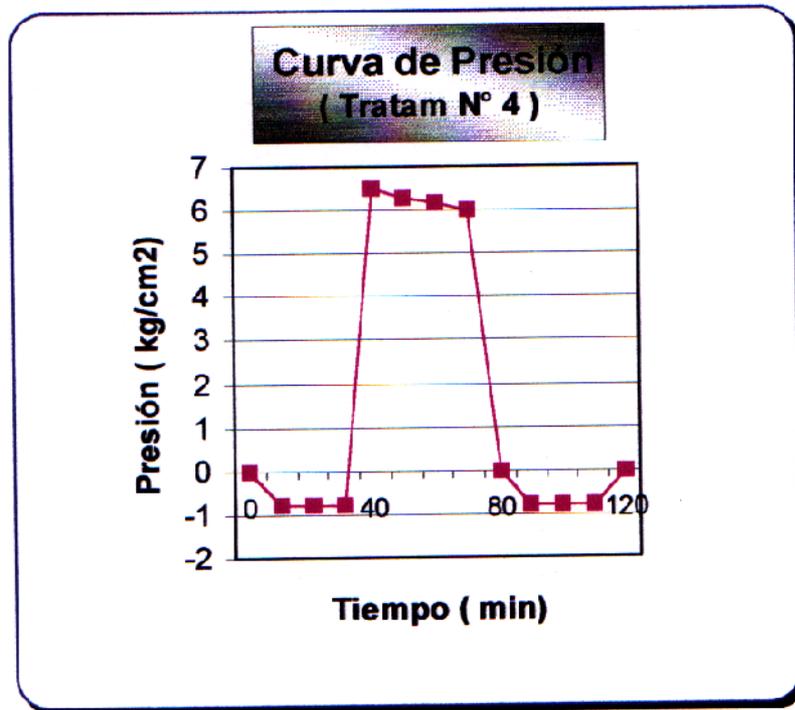


Figura 3.1 – Curva de impregnación (Trat. N° 4)

En las impregnaciones, que de acuerdo con la combinación de tratamientos correspondió aplicar la presión máxima por un período de tiempo de 120 minutos, fue necesario restablecer la misma cada 30 minutos hasta su valor más $0,5 \text{ kg/cm}^2$, para mantener el rango de la presión ejercida en dicho valor. En la figura 3.2 se muestra la

curva de presión del tratamiento N° 12, cuando se impregnó con PEG 600, a 50% de concentración y 6 kg/cm².

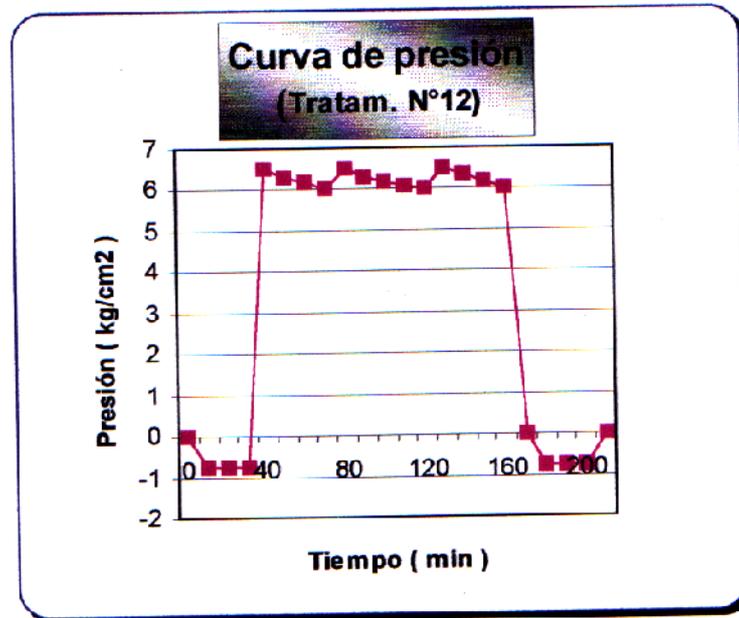


Figura 3.2 – Curva de Impregnación (Trat. N° 12)

En las tablas 3.1 y 3.2, se detallan los valores de retractabilidad y retención de PEG, de cada uno de los tratamientos y las repeticiones, calculado de acuerdo a lo establecido en el ítems 2.3.5.

En el Anexo 3, se detallan las medidas, el peso y contenido de humedad originales de las 48 muestras. En el Anexo 4 se detallan el peso y las dimensiones de las muestras impregnadas, así como también el peso y las dimensiones de las muestras impregnadas y secas y el de las muestras, luego de alcanzada la estabilización, al cabo de 5 meses. También se detalla la retención, contracción y retractabilidad para cada muestra.

Tabla 3.1 - Respuestas : Coef. de retracciabilidad y retención de PEG (Primera parte)

Tratam.	Variables independientes				Respuesta 1		Respuesta 2		Respuesta 3	
	A	B	C	D	Retract.	Retenc.	Retract.	Retenc.	Retract.	Retenc.
1	300	30	6	30	0,150	24,2	0,133	21,8	0,138	26,9
2	600	30	6	30	0,127	18,0	0,144	25,1	0,144	25,8
3	300	50	6	30	0,115	51,8	0,121	58,4	0,133	60,4
4	600	50	6	30	0,110	38,8	0,133	31,3	0,121	32,0
5	300	30	12	30	0,138	28,1	0,150	30,0	0,156	34,8
6	600	30	12	30	0,116	43,1	0,133	35,0	0,121	48,2
7	300	50	12	30	0,110	59,8	0,110	70,7	0,133	63,0
8	600	50	12	30	0,110	49,2	0,099	50,8	0,009	55,7

Nota : Coef. de retracciabilidad en %/% y retención de PEG en kg/m³

Tabla 3.2 - Respuestas · Coef. de retracciabilidad y retención de PEG (Segunda parte)

Tratam.	Variables independientes				Respuesta 1		Respuesta 2		Respuesta 3	
	A	B	C	D	Retract.	Retenc.	Retract.	Retenc.	Retract.	Retenc.
9	300	30	6	120	0,156	31,7	0,150	41,1	0,150	49,2
10	600	30	6	120	0,110	54,1	0,093	47,8	0,082	50,2
11	300	50	6	120	0,127	75,9	0,127	68,2	0,150	71,3
12	600	50	6	120	0,087	62,4	0,076	68,7	0,082	70,4
13	300	30	12	120	0,150	35,8	0,150	43,1	0,133	46,2
14	600	30	12	120	0,099	60,1	0,093	53,8	0,093	51,3
15	300	50	12	120	0,115	72,7	0,110	74,9	0,121	68,7
16	600	50	12	120	0,071	74,4	0,071	78,0	0,082	76,3

Nota : Coef. de retracciabilidad en % y retención de PEG en kg/m³

3.2 – Análisis de la retractabilidad en muestras impregnadas

En la tabla 3.3 se presenta el **análisis de varianza** para el coeficiente de retractabilidad, en la que se observa que, teniendo en cuenta los valores de F_0 y de Probabilidad, las interacciones tipo de PEG-concentración, tipo de PEG-presión, concentración-presión, concentración-tiempo y presión-tiempo no son significativas al 5% de probabilidad. Mientras que los cuatro efectos principales, tipo de PEG, concentración, presión y tiempo y la interacción tipo de PEG-tiempo, son significativos al 1% de probabilidad.

Tabla 3.3 Análisis de varianza para coeficiente de retractabilidad

Efectos	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F_0	Probab.
A:TipoPEG	0.0123521	1	0.0123521	179.67	0.0000
B:Concentrac	0.0046021	1	0.0046021	66.94	0.0000
C:Presion	0.0007521	1	0.0007521	0.94	0.0023
D:Tiempo	0.0028521	1	0.0028521	41.48	0.0000
AB	0.0001687	1	0.0001687	2.45	0.1270
AC	0.0000188	1	0.0000188	0.27	0.6106
AD	0.0050021	1	0.0050021	72.76	0.0000
BC	0.0003521	1	0.0003521	5.12	0.0306
BD	0.0000521	1	0.0000521	0.76	0.3998
CD	0.0000187	1	0.0000187	0.27	0.6106
Desajuste	0.0006771	5	0.0001354	1.97	0.1102
Error puro	0.0022000	32	0.0000688		
Totales	0.0290479	47			

$$R^2 = 0.900954$$

El análisis de varianza final, eliminadas las interacciones no significativas se muestra en la tabla 3.4, en la que se observa que el grado de desajuste del diseño, no es significativo, por lo que se concluye que el diseño se ajusta a los datos. Además los residuos son independientes y se distribuyen normalmente.

Tabla 3.4 –Análisis de varianza para coeficiente de retractabilidad (Final)

Efectos	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F_0	Probab.
A:TipoPEG	0.0123521	1	0.0123521	179.67	0.0000
B:Concentrac	0.0046021	1	0.0046021	66.94	0.0000
C:Presion	0.0007521	1	0.0007521	0.94	0.0023
D:Tiempo	0.0028521	1	0.0028521	41.48	0.0000
AD	0.0050021	1	0.0050021	72.76	0.0000
BC	0.0003521	1	0.0003521	5.12	0.0306
Desajuste	0.0009354	9	0.0001039	1.51	0.1861
Error puro	0.0022000	32	0.0000688		
Totales	0.0290479	47			

$$R^2 = 0.892061$$

Realizando un análisis de los efectos principales y las interacciones para el **coeficiente de retractabilidad** se obtiene la tabla 3.5, de efectos estimados, en la que se observa que tanto tipo de PEG, concentración, presión y tiempo y las interacciones significativas tienen un efecto negativo sobre el coef. de retractabilidad, mejorando, por lo tanto, la estabilidad dimensional de la madera.

Se observa que el efecto de mayor influencia es el tipo de PEG (-0,032), seguido de la concentración y el tiempo de impregnación, y que bastante menos incidencia tiene la presión. La interacción tipo de PEG-tiempo (-0,02) es la de mayor influencia.

Tabla 3.5 – Efectos estimados para retractabilidad

	Efecto
Promedio	0,1190
A: Tipo de PEG	-0,0321
B: Concentración	-0,0196
C: Presión	-0,0079
D: Tiempo	-0,0154
AD : Interacc. tipo PEG-tiempo	-0,0204
BC: Interacc. concentr.-presión	-0,0054

Podemos observar gráficamente esta mayor influencia del tipo de PEG sobre el coeficiente de retractabilidad, en las figuras 3.3 y 3.4.

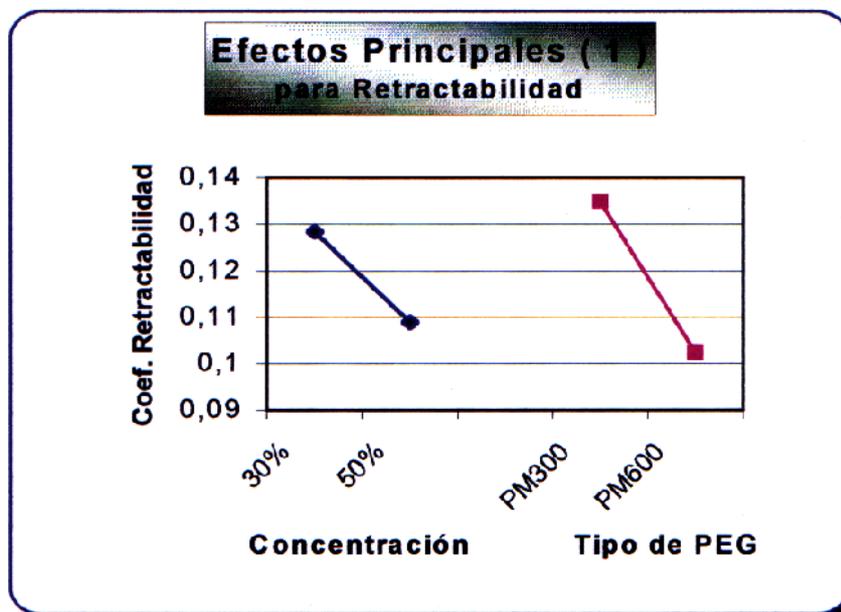


Figura 3.3 – Gráfica de efectos principales para retractabilidad (a)

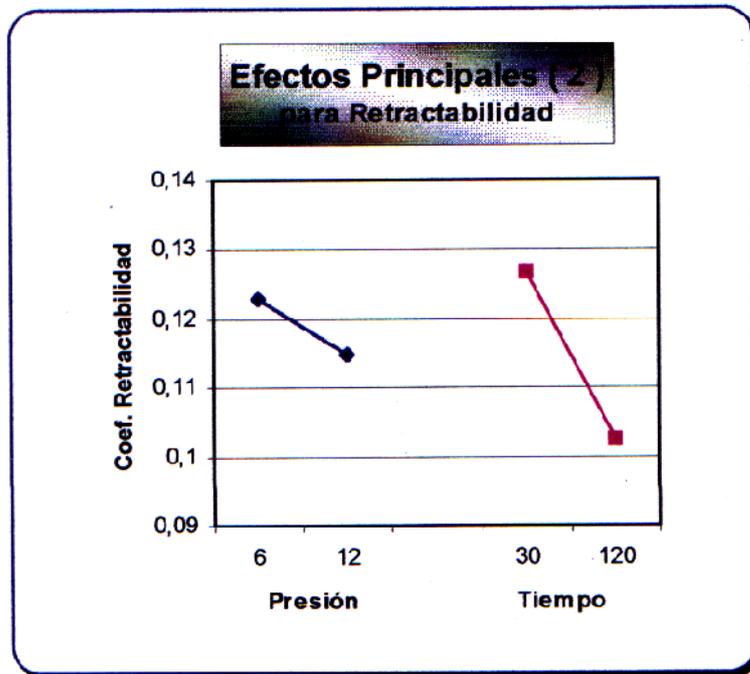


Figura 3.4 – Gráfica de efectos principales para retractsibilidad (b)

Siendo negativa la influencia de los efectos principales, es conveniente para reducir el coef. de retractsibilidad que los mismos se encuentren en sus extremos superiores. En la figura 3.5, se ve el gráfico de la respuesta estimada para retractsibilidad, cuando los valores de los efectos presión y tiempo se encuentran en sus límites superiores, o sea, 12 kg/cm² y 120 minutos, respectivamente. Vemos que el coef. de retractsibilidad tiene su menor valor, $q = 0,069$, trabajando con PEG 600 con una concentración del 50 %.

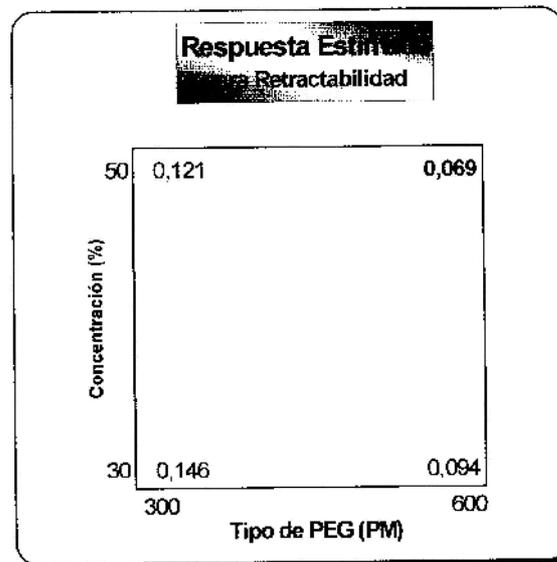


Figura 3.5 – Respuesta estimada del coef. de retractabilidad

Los resultados obtenidos para los coeficientes de retractabilidad y para contracción total de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, cuando se engrosó la pared celular con PEG de diferentes pesos moleculares en solución acuosa, por impregnación con vacío presión, muestran los menores valores de retractabilidad y contracción total cuando se trabaja con PEG 600, en solución acuosa al 50%, impregnando a 12 kg/cm^2 de presión durante 120 minutos:

Retractabilidad = 0,069 %/%, como hinchamiento diferencial.

Contracción total = 1,95 %, en la dirección radial.

Estos valores representan una disminución en los mencionados coeficientes del 58,7 %, con referencia a los coeficientes de esta especie sin tratar. (Ver ítems 3.4)

Si comparamos dichos valores con los obtenidos al impregnar diferentes especies con PEG de distintos pesos moleculares, **por no haber valores reportados**

de estabilización dimensional de *Aspidosperma quebracho-blanco* por impregnación con PEG, vemos que dichos valores son mayores que los obtenidos por Besold G. y Moreno G., quienes obtuvieron una disminución del 20 % en el coeficiente de contracción radial, cuando impregnaron *Aspidosperma quebracho-blanco* con solución acuosa de extracto de quebracho de 10% de concentración, posiblemente debido a la baja concentración que utilizaron. (30)

Asimismo dichos valores son mayores a los resultados obtenidos por Merilouto J. en *Betula alba* “abedul”, cuando realizó impregnaciones de chapas con PEG 400 y 1500 en solución acuosa, y logró disminuir la contracción en un 20%, para el PEG 400 y en un 40% para el PEG 1500,(27).

Si comparamos los valores de reducción de la contracción radial obtenidos en esta tesis con los citados por Wallström L., observamos que los primeros son ligeramente mayores que los reportados para PEG 600 (48%), y menores que los obtenidos con PEG 1000 (84%), Glyoxal (72%) y Fenol – Formaldehído. Hay que tener en cuenta que dichos valores fueron obtenidos con maderas de baja densidad (92%). (9)

Mientras que la disminución alcanzada en esta investigación es algo menor que la lograda por Morcno G. y Medina J. impregnando *Aspidosperma quebracho-blanco* con solución acuosa de extracto de quebracho con 30 % de concentración y trabajando con muestras secas al aire, quienes reportaron 70% de disminución en la contracción radial. (31)

Y, sin lugar a dudas, los valores logrados son mucho menores que los reportados por Walker J.C.F. y Masuzawa F. et al., quienes citan una disminución del 94% en los coeficientes de contracción, posiblemente debido a que la retención alcanzada por ellos fue mucho mayor y eran especies de menor densidad. (16,29)

Estos resultados confirman, para el caso específico de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, que el PEG 300 y PEG 600, como agentes hinchantes de la pared celular, mejoran sustancialmente la estabilidad dimensional, como ocurre en diferentes especies.

En la figura 3.6 se observa gráficamente la reducción del coeficiente de retractabilidad, pendiente de la recta de hinchamiento en función del contenido de humedad.

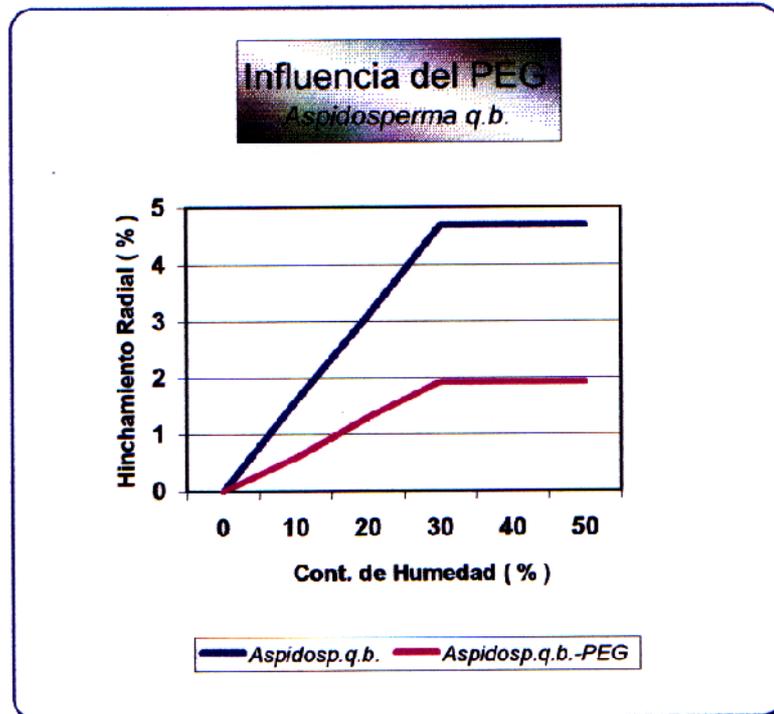


Figura 3.6 – Influencia del PEG en *Aspidosperma quebracho-blanco*

Además también se confirma el hecho de que se obtienen buenos resultados de estabilidad dimensional impregnando la madera con soluciones acuosas de PEG, tal lo estudiado por Noack D. para *Pinus spp.* y *Fagus sylvatica*, cuando los mejores resultados se obtuvieron a concentraciones de 20 % y 40 % respectivamente y a lo expresado por Tsoumis G., quien afirma que el tratamiento con PEG da mejores resultados utilizando soluciones acuosas de 30% a 50% de concentración en peso del polímero. (15;21)

En cuanto al tipo de PEG utilizado, se puede afirmar que el PEG 600 produce una mayor reducción de los coeficientes de retractabilidad y contracción y por lo tanto una mayor estabilidad dimensional que el PEG 300, hecho este que concuerda con lo expresado por Walker J.C.F., al afirmar que los pesos moleculares más bajos son menos efectivos porque son más volátiles e higroscópicos y es conveniente usar mayores pesos moleculares, aunque difundan más lentamente, por ser menos

higroscópicos, mientras que su tamaño molecular le permita ingresar en la pared celular. (16)

Esto concuerda con los estudios que reportan una mayor efectividad del PEG 200, comparado con el PEG 1500, en *Pinus sylvestris*, debido a su menor tamaño molecular. (28)

El tiempo de impregnación a la máxima presión, que logró la mayor estabilización, fue de 120 minutos, lo cual se esperaba ya que el polímero tuvo mayor tiempo para difundir en la madera. Este valor concuerda con los utilizados por Besold G. y Moreno G. y por Moreno G. y Medina J. de 60 y 120 minutos respectivamente. (30;31)

Dados los altos efectos negativos del tipo de PEG, del tiempo de impregnación y de la interacción tipo de PEG tiempo, sobre el coeficiente de retractabilidad, obtenidos en este trabajo, que se detallan en la tabla 3.5 y en las figuras 3.3 y 3.4, futuros estudios podrían mejorar aún más la estabilidad dimensional de *Aspidosperma quebracho-blanco*, realizando una optimización de dichos parámetros, cuando el rango de estudio se desplace hacia los niveles superiores del diseño experimental aquí adoptado, por ser estos niveles en los que se obtuvieron los valores más bajos del coeficiente de retractabilidad.

Por otro lado los valores obtenidos de reducción de los coeficientes de contracción y retractabilidad, 58,7 %, aunque son muy importantes, no alcanzan las exigencias mínimas de la norma europea UNE 56-541-77, que establece un mínimo de 70 % en la reducción del hinchamiento total para considerar aceptable un tratamiento de estabilización dimensional. (42)

Los valores de estabilidad dimensional alcanzados representan, por lo tanto, una importante reducción, lo que permitiría el uso de esta especie en la elaboración de algunos bienes de alto valor agregado, como ser diferentes tipos de muebles, pero sería necesario alcanzar una mayor estabilidad dimensional, por ejemplo, para la fabricación de pisos de madera.

3.3 – Análisis de la retención en muestras impregnadas

En la tabla 3.6 se presenta el análisis de varianza para la retención de PEG, en la que se observa que, teniendo en cuenta los valores de F_0 y de probabilidad, el efecto principal tipo de PEG, no es significativo, ni tampoco son significativas las interacciones, concentración-presión y concentración-tiempo, al 5% de probabilidad. Mientras que los otros efectos principales, Concentración, Presión y Tiempo y las interacciones tipo de PEG- tiempo, tipo de PEG-concentración, tipo de PEG-presión y presión-tiempo, son significativos al 1% de probabilidad, o sea con el 99 % de confianza.

Eliminando los efectos y las interacciones no significativos, se realizó la tabla 3.7, análisis de varianza final para retención de PEG, en la que vemos que el grado de desajuste no es significativo, por lo que se concluye que el diseño se ajusta a los datos. Además los residuos son independientes y se distribuyen normalmente

Tabla 3.6 –Análisis de varianza para retención de PEG

Efectos	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F_0	Probab.
A: Tipo PEG	1.0208	1	1.0208	0.05	0.8263
B:Concentrac	6417.1875	1	6417.1875	316.25	0.0000
C:Presion	808.5208	1	808.5208	39.84	0.0000
D:Tiempo	4125.5208	1	4125.5208	203.31	0.0000
AB	875.5208	1	875.5208	43.15	0.0000
AC	229.6875	1	229.6875	11.32	0.0020
AD	414.1875	1	414.1875	20.41	0.0001
BC	2.2508	1	2.5208	0.12	0.7305
BD	31.6875	1	31.6875	1.56	0.2205
CD	238.5208	1	238.5208	11.75	0.0017
Desajuste	112.7708	5	22.5542	0.91	0.5193
Error puro	649.3333	32	20.2917		
Totales	13906.4792	47			

$$R^2 = 0.945198$$

Tabla 3.7 --Análisis de varianza para retención de PEG (Final)

Efectos	Suma de cuadrados	G.L.	Media de cuadrados	Valor F_0	Probab.
B:Concentrac	6417.1875	1	6417.1875	316.25	0.0000
C:Presion	808.5208	1	808.5208	39.84	0.0000
D:Tiempo	4125.5208	1	4125.5208	203.31	0.0000
AB	875.5208	1	875.5208	43.15	0.0000
AC	229.6875	1	229.6875	11.32	0.0020
AD	414.1875	1	414.1875	20.41	0.0001
CD	238.5208	1	238.5208	11.75	0.0017
Desajuste	148.0000	8	18.5000	0.91	0.5193
Error puro	649.3333	32	20.2917		
Totales	13906.4792	47			

$$R^2 = 0.942665$$

Al analizar los efectos principales y las interacciones para la **retención de PEG**, vemos en la tabla 3.8, de efectos estimados, que tanto la concentración, presión y tiempo, ya que el tipo de PEG no es significativo a estos niveles de peso molecular, y las interacciones tipo de PEG-presión y tipo de PEG-tiempo, tienen un efecto positivo sobre la retención de PEG, mientras que las interacciones tipo de PEG-concentración y presión-tiempo, tienen un efecto negativo sobre la retención.

Vemos que el efecto de mayor influencia sobre la retención de PEG es la concentración (23,125) y el tiempo (18,542), la presión y las interacciones tienen menos influencia.

Podemos observar gráficamente la mayor influencia de la concentración y el tiempo sobre retención de PEG, en la figura 3.7, en la que se comprueban las pendientes positivas de los efectos, así como también que dichas pendientes correspondientes a las dos variables antes mencionadas son las mayores.

Tabla 3.8 – Efectos estimados para retención de PEG

	Efecto
Promedio	50,104
B: Concentración	23,125
C: Presión	8,208
D: Tiempo	18,542
AB: Interacc. tipoPEG-concentr	-8,542
AC: Interacc. tipoPEG –presión	4,375
AD : Interacc. tipo PEG-tiempo	5,875
CD: Interacc. presión-tiempo	-4,458

En la figura 3.8, se ve el gráfico de la respuesta estimada para Retención de PEG, cuando el nivel de la variable Presión se encuentra en su límite superior, o sea, 12 kg/cm^2 . Vemos que la retención de PEG tiene su mayor valor, $73,7 \text{ kg/m}^3$, realizando una impregnación con PEG a una concentración del 50 % y durante 120 minutos.

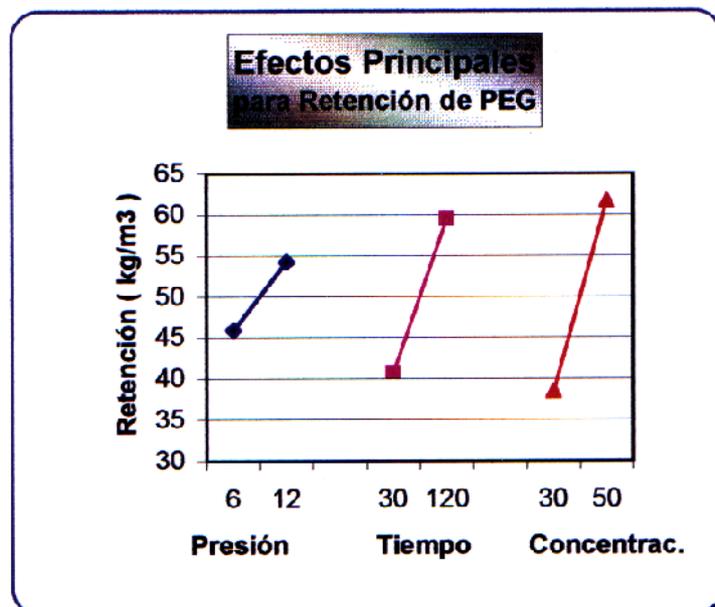


Figura 3.7 – Gráfica de efectos principales para retención de PEG

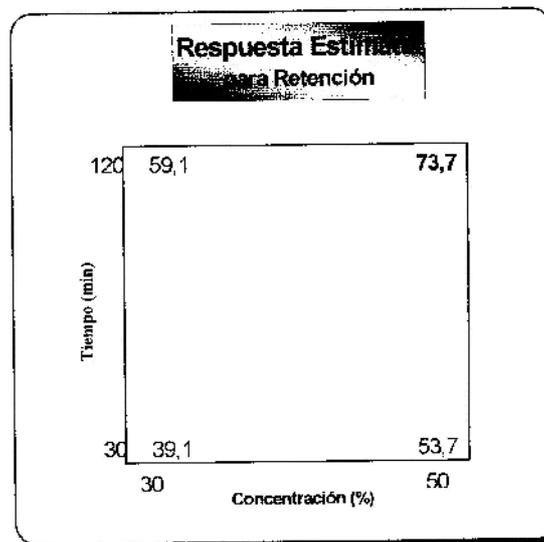


Figura 3.8 Respuesta estimada de retención de PEG

En cuanto a la Retención del polímero, los mejores coeficientes de retractabilidad se obtienen con las mayores retenciones, 73,7 kg/cm², o sea, cuando se trabaja con PEG, a 50% de concentración, impregnando a 12 kg/cm² durante 120 minutos, sin ser significativo, en este rango, los pesos moleculares, como se observa en las figuras 3.7 y 3.9, que muestran como el Tipo de PEG no tiene efecto sobre la retención.

Los valores de retención obtenidos son algo menores que los reportados por Martínez R. et al., de 92,6 kg/m³ de PEG 300, en *Aspidosperma quebracho-blanco*, con buenos resultados. (32)

El hecho de que con una mayor retención se obtenga una mejor estabilidad dimensional concuerda con los resultados de Wallström L., quien, trabajando en *Pinus silvestris*, con PEG 200 y PEG 1500 y un microscopio electrónico de barrido (SEM), constató que un mayor grado de penetración de los químicos en la pared celular produce una mayor estabilidad. (28)

Además, se destaca que la norma IRAM N° 9505 establece una retención mínima de creosota para durmientes de *Aspidosperma quebracho-blanco*, de 100 kg/m^3 para la preservación. (34)

A su vez, los valores de retención máximos obtenidos son mucho menores al equivalente “35% en peso base seca de madera tratada” que propone Walker J.C.F. para obtener los mejores resultados trabajando con especies de menor densidad, como *Fagus sylvatica*. (16)

También son mucho menores que los citados por Wallström L. del 25% para PEG 600 y 45% para PEG 1000, quien trabajó con maderas blandas. (9)

De lo antedicho se desprende que sería posible lograr una mayor retención de PEG en *Aspidosperma quebracho-blanco* y, con ello, una mayor estabilidad dimensional, aunque no se cree posible alcanzar retenciones similares a las citadas por Walker J. y Wallström L. debido a la alta densidad de la especie que se estudia.

Si estudiamos la relación existente del coeficiente de retractabilidad en función de la retención de PEG, para los distintos pesos moleculares, con los datos presentados en la tabla 3.1 y 3.2, se pueden graficar los resultados, y se obtienen curvas como la mostrada en la figura 3.9.

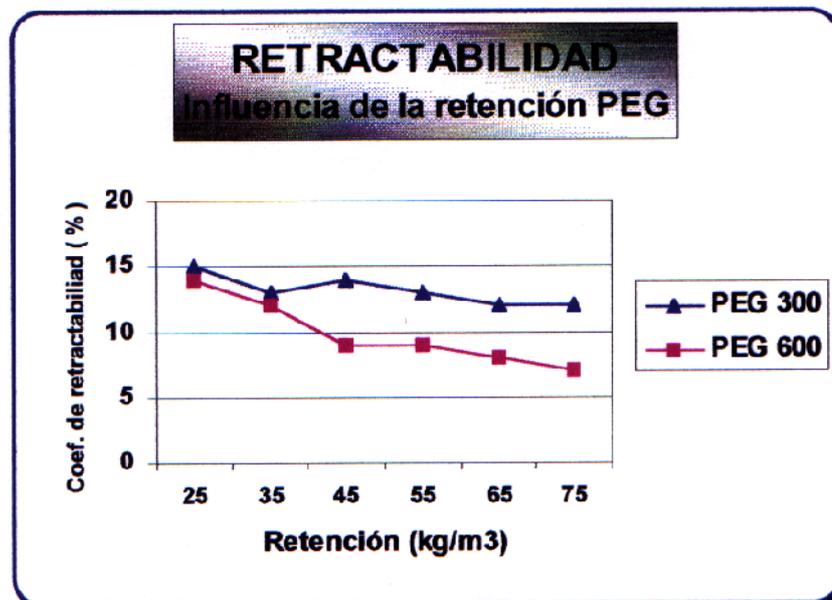


Figura 3.9 – Coef. de retractabilidad en función de la retención

Se observa en la figura 3.9 una clara tendencia de la disminución del coeficiente de retractabilidad, con el aumento de la retención de PEG, ocurrido durante el proceso de impregnación, lo que confirma lo dicho por diferentes autores. (9;15;16)

Además, surge con claridad que el PEG 600 tiene una mayor influencia negativa sobre el coeficiente de retractabilidad en todos los niveles de retención obtenidos.

3.4 – Coeficientes de retractabilidad y contracción total en muestras testigo

En la tabla 3.9 se detallan las dimensiones de las muestras testigo en verde, luego del secado, y finalmente las dimensiones obtenidas luego del periodo de estabilización, que en el caso de las muestras testigo duró nueve meses, junto con los respectivos coeficientes de contracción lineal, contracción total y retractabilidad.

Tabla 3.9 Retractabilidad de muestras testigo

Muestra	L 28 %	L 10 %	L est.	Contrac.	C.total	Retractab.
1	104,3	101,3	102,4	2,9	4,5	0,181
2	104,3	101	101,9	3,2	4,9	0,149
3	104,2	101,1	102,0	3,0	4,6	0,148
4	104,3	101,5	102,6	2,7	4,2	0,181
5	104,3	101,5	102,6	2,7	4,2	0,181
6	104,3	101,3	102,2	2,9	4,5	0,148
7	104,3	101,4	102,5	2,8	4,3	0,181
8	104,3	101,2	102,1	3,0	4,6	0,148
9	104,2	100,9	102,0	3,0	4,6	0,182
10	104,3	101,1	102,1	3,3	5,1	0,165

El análisis estadístico descriptivo de los resultados obtenidos en las muestras testigo para el coeficiente de retractabilidad y la contracción total, se muestran en las tablas 3.10 y 3.11, respectivamente.

Tabla 3.10 – **Retractabilidad** - Análisis de muestras testigo

Media (%/%)	0,17
Desviación estándar (%/%)	0,016
Coef. de variación (%/%)	9,7
Rango (%/%)	0,034

Tabla 3.11 – **Contracción total** - Análisis de muestras testigo

Media (%)	4,6
Desviación estándar (%)	0,3
Coef. de variación (%)	6,5
Rango (%)	0,8

Los valores obtenidos para el coeficiente de retractabilidad y para la contracción total, 0,17 %/ % y 4,6 % respectivamente, de muestras sin impregnar de *Aspidosperma quebracho-blanco*, aserradas en el sentido radial, concuerdan en términos generales, con los obtenidos por Coronel E., aunque en este trabajo se obtuvieron valores de coeficiente de variación menores. (6;7)

3.5 -Análisis económico preliminar

A los efectos de realizar un análisis económico preliminar sobre la factibilidad de usar industrialmente el PEG para mejorar la estabilización dimensional del *Aspidosperma quebracho-blanco*, que permita la elaboración industrial de bienes de alto valor agregado, como muebles o pisos tarugados, se comparó el costo de la materia prima de especies de la región actualmente utilizadas para fabricar dichos bienes de alto valor agregado, con el costo de materia prima de

Aspidosperma quebracho-blanco más el PEG incorporado, necesario para su estabilización, y para ello se analizó:

- Los precios de venta de maderas aserradas duras, en la zona fitogeográfica correspondiente a esta especie. (Ver tabla 1.1)
- Los costos correspondientes a materia prima, para cada especie por unidad de volumen de madera aserrada.
- El costo de materia prima de madera aserrada de *Aspidosperma quebracho-blanco* más el costo del PEG incorporado y los costos de operación de la impregnación.

En la tabla 3.12 se detallan precios, costos y coeficientes de aserrado citados por Perez W. y Palavecino S. y de elaboración propia, para maderas duras. (3,43)

Tabla 3.12 – Costos comparativos de materia prima para maderas duras aserradas

Especie	<i>Prosopis alba</i>	<i>Tubebuia ipe</i>	<i>Schinopsis Balansae</i>	<i>Aspidosperma q- blanco</i>
Precio \$/m en rollo, en playa industria.	90	100	40	30
Densidad verde	1,0	1,15	1,25	1,1
Coef. aserrio (%)	39 ^a	40	43	48
Costo materia prima /m ³ madera aserrada	\$ 230,7	\$ 287,5	\$ 116,3	\$ 68,8
Costo de PEG /m ³ madera aserrada	–	–	–	\$ 120
Costo de impregnación /m ³ madera aserrada	–	–	–	\$ 28
Costo materia prima /m ³ madera aserrada	\$ 230,7	\$ 287,5	\$ 116,3	\$ 216,8

Fuente : Anuario de Estadística Forestal 1996 (3)

Cámara de la producción, industria y comercio de Quitilipi, Chaco

Si comparamos los costos de materia prima por metro cúbico de madera aserrada de las diferentes especies, incluyendo *Aspidosperma quebracho-blanco* estabilizado con PEG, citados en la tabla 3.12, con sus precios de venta, podemos afirmar que el costo de incorporar PEG como estabilizante en esta especie no impide su uso industrial. Esto es debido a que el costo de materia prima estabilizada (\$ 216,8 /m³) es menor que el de otras especies utilizadas en bienes de alto valor agregado, como los mencionados, con el beneficio adicional de que *Aspidosperma quebracho-blanco* es la especie más abundante del Parque Chaqueño.

Además de este análisis económico preliminar se desprende que, si se lograra un incremento de la retención, y por ende del costo de materia prima estabilizada, tendiente a mejorar aun más la estabilidad, igualmente se podría utilizar PEG como estabilizante, mientras que dichos costos no superen el costo en materia prima de otras especies utilizadas en la elaboración de bienes de alto valor agregado. Esto se puede ver gráficamente en la figura 3.10, en la que surge que la retención que iguala los costos es de 117 kg/m³.

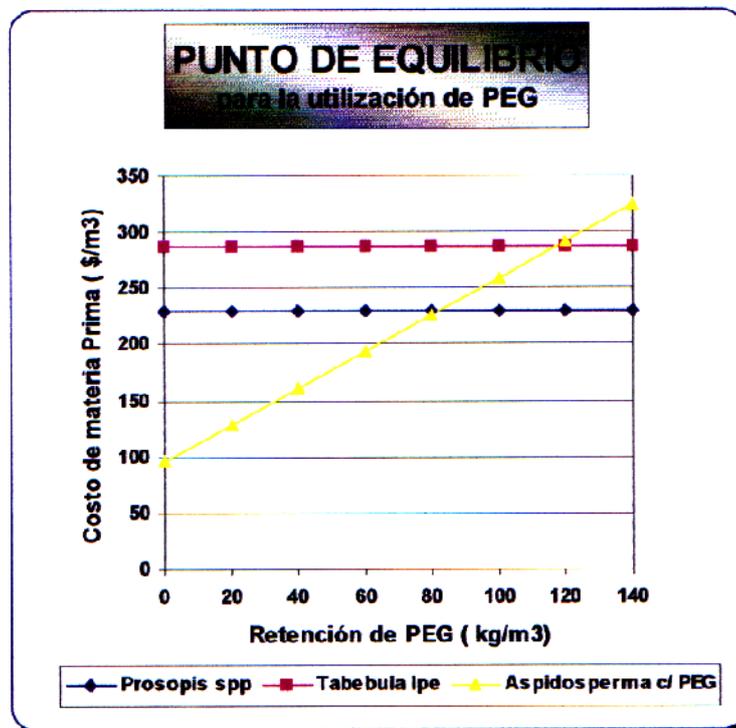


Figura 3.10 – Punto de equilibrio para la utilización de PEG

4 – CONCLUSIONES

Los resultados obtenidos en la investigación para elaborar esta tesis, utilizando PEG con el objetivo de lograr la estabilización dimensional de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, nos llevan a las siguientes conclusiones:

- 1) El PEG 300 y PEG 600, como agentes hinchantes de la pared celular, utilizados en la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, mejoran sustancialmente su estabilidad dimensional, como ocurre en diferentes especies.
- 2) El PEG 600 proporciona, a igualdad de retención y en diferentes condiciones de proceso, un menor coeficiente de retractabilidad y por ello una mayor estabilidad dimensional que el PEG 300.
- 3) El aumento de la retención de PEG ocurrido durante el proceso de impregnación produce una clara disminución del coeficiente de retractabilidad, en los niveles del diseño experimental adoptado. La retención más efectiva del polímero, en términos de estabilidad, fue de 73,7 kg de PEG 600 por metro cúbico de madera aserrada impregnada.
- 4) Para obtener buenos resultados de estabilidad dimensional en esta especie, engrosando la pared celular con PEG es conveniente trabajar con PEG 600, en solución acuosa al 50%, impregnando a 12 kg/cm² de presión durante 120 minutos. Se obtuvieron valores de coeficientes de Retractabilidad de 0,069 %/% y de Contracción radial total de 1,95 %, y se lograron reducciones del 58,7 %, respecto a la madera sin tratar.
- 5) El peso molecular del PEG y su concentración junto con el tiempo de impregnación son las variables de mayor influencia en la estabilidad dimensional, mientras que para retención del polímero, la mayor influencia la ejerce la concentración del mismo y el tiempo de impregnación.
- 6) El costo de impregnar con PEG, a la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*, es de \$ 148 /m³ de madera tratada, valor que incluye el polímero y los gastos de operación. Dicho costo permite el uso del mismo a nivel industrial.

Basado en estas conclusiones y la experiencia lograda en este trabajo se **recomienda** para futuras investigaciones tendientes a obtener una mayor estabilidad dimensional de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco*:

- 1) Aumentar la retención de PEG. Para ello y teniendo en cuenta la importante influencia de la concentración del polímero y del tiempo de impregnación en la retención, ambos efectos positivos, se podría intentar mejorar la estabilización de esta especie impregnando con una concentración de PEG mayor al 50% durante más de dos horas.
- 2) Combinar diferentes pesos moleculares de PEG en solución acuosa para intentar disminuir el coeficiente de retractabilidad, debido a que, además de la concentración y del tiempo de impregnación, el peso molecular de PEG tiene una gran influencia en dicho coeficiente. Se debe recordar que el PEG 300 también logró estabilizar, aunque en menor grado, al *Aspidosperma quebracho-blanco* y que la influencia del Tipo de PEG nos indica que se debería aumentar el peso molecular utilizado para mejorar la estabilidad dimensional.
- 3) Estudiar los costos de diferentes tipos de bienes de alto valor agregado y determinar el punto de equilibrio, expresado en kg de PEG/m³ de madera tratada, hasta el cual esta especie estabilizada podría ser utilizada como materia prima en la elaboración de los mismos.
- 4) Realizar un estudio de optimización del coeficiente de retractabilidad, utilizando como variables el tiempo de impregnación, la concentración de PEG y diferentes proporciones de pesos moleculares. El punto central del campo de estudio debería ser: concentración de PEG 50 %, tiempo de impregnación 2 horas y proporciones iguales de PEG 300, PEG 600 y PEG 1000.

BIBLIOGRAFIA

1. Cositorto, G. "Gran Atlas y Geografía Universal", 1ª ed. Oriente SA, Buenos Aires, Argentina, pp. 354 (1994).
2. Mariot, V.; Gimenez de Bolzon, A.: "Producción de Compensados a partir de la especie *Aspidosperma quebracho-blanco* (quebracho blanco)", Tomo III, VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero, Argentina, pp. 552-559, (1988).
3. "Anuario de Estadística Forestal 1996", Dirección de Recursos Forestales Nativos, Secretaría de Recursos Naturales y Desarrollo Sustentable, de la Nación, Buenos Aires, Argentina, pp. 6-11(1997).
4. "Estadística de Producción Forestal de la Provincia del Chaco 1983 - 1995", Dirección de Bosques, Ministerio de la Producción, Provincia del Chaco (1997).
5. Biloni, J. "Arboles Autoctonos Argentinos" 1ª ed. . Tipográfica Editora Argentina, Buenos Aires, Argentina, pp. 118-119 (1990).
6. Coronel E.: "Fundamento de las Propiedades Físicas y Mecánicas de las Maderas" 1ª Parte- 1ª ed. El Liberal –Sgo del Estero, pp. 65 y123 (1994).
7. Coronel E.: "Fundamento de las Propiedades Físicas y Mecánicas de las Maderas" 2ª Parte- 1ª ed. El Liberal –Sgo del Estero, pp. 238,252 y294 (1996).
8. Fengel G.; Wegener, G.: "Wood. Chemistry,Ultrastructure,reactions" 1ª ed. Gruyter New York ,USA, pp. 234-238 (1984).
9. Sjöström E.: "Wood Chemistry.Fundamentals and Applications" 2ª ed. Academic Press,Inc, San Diego – USA , pp. 12-18 (1993).
10. Vallström,L.: "Cell Wall Bulking and Distribution of different Chemicals in Pine. *Pinus sylvestris*" Doctoral Thesis,Lulea University of Technology (1998).
11. Vignote Peña S.; Jiménez Peris F.: "Tecnología de la Madera" 1ª ed. Centro de Publicaciones – Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación, Madrid, España, pp. 97-102 (1996).
12. Siau, F.: "Transport Processes in Wood" 1ª ed. Springer Verlag, New York, USA, pp. 35-55 (1984).

13. "The Merk Index", 11ª ed. Merk & CO Inc., Rahway, N.J. USA, pp. 7542 (1989)
14. Reynolds J.F.F.: "Martindale. The Extra Pharmacopocia", 30 ed, The Pharmaceutical Press, pp. 1384-1385 (1992).
15. Tsoumis G.: "Science and Technology of Wood 1ª ed. Chapman Hall, New York, USA, pp. 128-134 (1991).
16. Walker J.C.F.: "Primary Wood Processing. Principles and Practice" 1ª ed. Chapman Hall, New York, USA, pp. 112-118 (1993).
17. Kollman,F; Kuenzi, E.;Stamm,A,: "Principles of Wood Science and Technology. II Wood Based Materials", 1ª ed. Springer Verlag, New York, USA, pp. 116-128 (1975).
18. Schniewind A.; Arganbright D.: "Coating and Their Effect on Dimensional stability of Wood", Publicado en Waac Newsletter Vol 6(2), 1984, pp. 2-5, <http://sul-server-2.stanford.edu/waac/wn/wn06/wn06-2/wn06-201.html>
19. Tsoumis G.: "Science and Technology of Wood 1ª ed. Chapman Hall, New York, USA, pp. 155-157 (1991).
20. Scallan A.: "Fibre-Water Interactions in Papermaking: The Accommodation of Water Within Pulp Fibres" Trans SyMP,Oxford. pp 9-29 (1977).
21. Noack,D.: "Dimensional stabilization of Wood with Polyethylene Glycol",Holz Zbl 95 (67): 997-998 (1969).
22. Sadot,T.: "The dimensional changes of wood during treatment and elastic properties of the treated wood" Journal Japan Wood Research Society 13 (2): 41-45 (1967)
23. Thuvander F.; Vallström,L; Berghlund L and Lindberg K.: "Effects of an impregnation procedure for prevention of cell wall damage due to drying", enviado a Wood Science and Tecnology (1998).
24. Judis, M.; Paz, J. y Sanabria, O.: "Influencia del polietilenglicol 300 y 1500 en el coeficiente de contracción radial de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht", Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas- UNNE (1998).
25. Vallström,L.; Lindberg ,A.: "Wood surface stabilization with polyethylene glycol", Wood Science and Tecnology , 29:1109-119 (1995)

26. Vallström, L.; Lindberg, A.; Johansson, I.: "Wood surface stabilization", *Holz als Roh und Werkstoff*, 53: 87-92 (1995)
27. Merilouto, J.: "Impregnation of wood with polyethylene glycol", *Paperi ja Puu* 51 (3): 213-218 (1969).
28. Vallström, L.: "Wood surface stabilization. Cell Wall Bulking", XX Congreso IUFRO, 1995, <http://info.metla.fi/iufro95abs/d5pos41.htm>
29. Masuzawa, F.; Tazawa, T.; Okamoto, H.: "Effects of conversion treatments on physical properties and dimensional stability of waterlogged wood", *Archaeology and Natural Science*, 14: 89-101 (1982).
30. Besold, G.; Moreno, G.: "Estabilización dimensional de la madera de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht. Quebracho blanco por impregnación con sustancias tánicas", Tomo III, VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero, Argentina, pp. 603-606, (1988).
31. Moreno, G.; Medina J.: "Estabilización dimensional de madera de quebracho blanco por impregnación con tanino", ITM, Serie de Publicaciones 9102. (1991).
32. Martínez, R.; Moreno, G.; Afur, R.: "Impregnación *en verde*: Una propuesta para estabilizar madera de quebracho blanco", *Quebracho*, (7) en prensa (1998).
33. Paz, J.; Sanabria, O.: "Influencia de la temperatura de secado en el coeficiente de histéresis de *Aspidosperma quebracho-blanco*", Reunión de Comunicaciones Científicas y Técnicas- UNNE, (1997).
34. IRAM : Instituto Argentino de Racionalización de Materiales. Buenos Aires. Argentina.
35. Wilkinson, J.: "Industrial Timber Preservation" 1ª ed. Associated Business Press., Londres, Gran Bretaña, pp. 211-215 (1979).
36. Lepage, E.: "Manual de Preservação de Madeiras" Vol. II, 1ª ed. Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, São Paulo, Brasil, (1986).
37. Junta del Acuerdo de Cartagena: "Manual del Grupo Andino para el Secado de Madera", 1ª ed. Carvajal SA, pp. 7-31 (1989).

38. Besold, G.; Leiva, E.; Elges, C.: " Optimización del proceso de secado de *Aspidosperma quebracho-blanco* Schlecht. Quebracho blanco, utilizando métodos convencionales y pretratamientos de la madera. Control de calidad del proceso de secado artificial", Tomo III, VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero, Argentina, pp. 598-602, (1988).
39. Coronel F.: "Fundamento de las Propiedades Físicas y Mecánicas de las Maderas" 1ª Parte, 1ª ed. El Liberal –Sgo del Estero, pp. 112-120 (1994).
40. Montgomery, D.: " Diseño y Análisis de Experimentos", 1ª ed. grupo Editorial Iberoamérica, Méjico, pp. 241-268 (1991).
41. Schmidt, S., Launsty, R.: "Understanding Industrial Designed Experiments", 4ª ed. Air academy Press, Colorado, USA, pp. 3.1- 3.7 (1992).
42. UNE : Normas del Instituto Nacional de racionalización y Normalización (IRANOR), Madrid, España.
43. Perez, W.; Palavecino, S.: " Rendimiento de materia prima de las principales especies del Parque Chaqueño", Tomo III, VI Congreso Forestal Argentino, Santiago del Estero, Argentina, pp. 620-623, (1988).

ANEXO 1

EXTRACCION DE ESPECIES FORESTALES NATIVAS

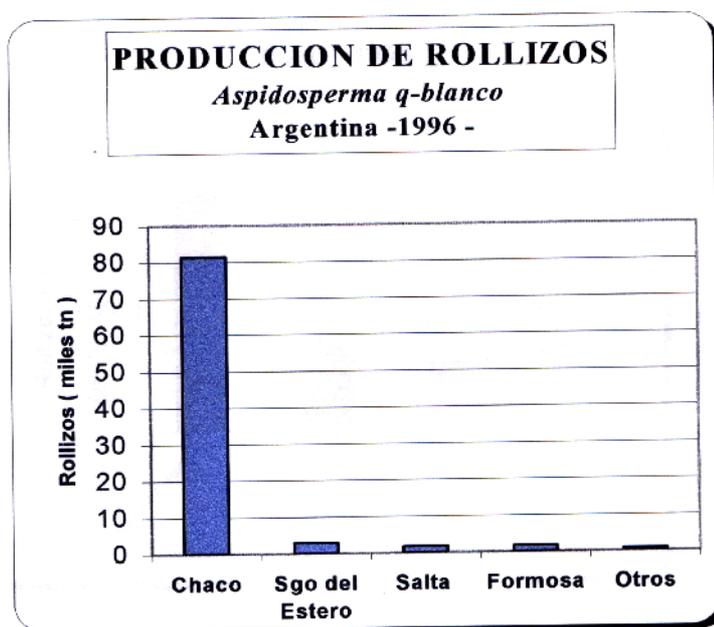


Figura A1.1 – Producción de rollizos de *Aspidosperma quebracho-blanco*
Argentina – 1996

Tabla A1.1 - Extracción de rollizos de *Aspidosperma quebracho-blanco*
Argentina – 1996

Provincia	Producción (tn)
Chaco	81489
Santiago del estero	2849
Salta	1788
Formosa	1657
Otras	837

Fuente: Anuario Estadístico Forestal 1996 (3)

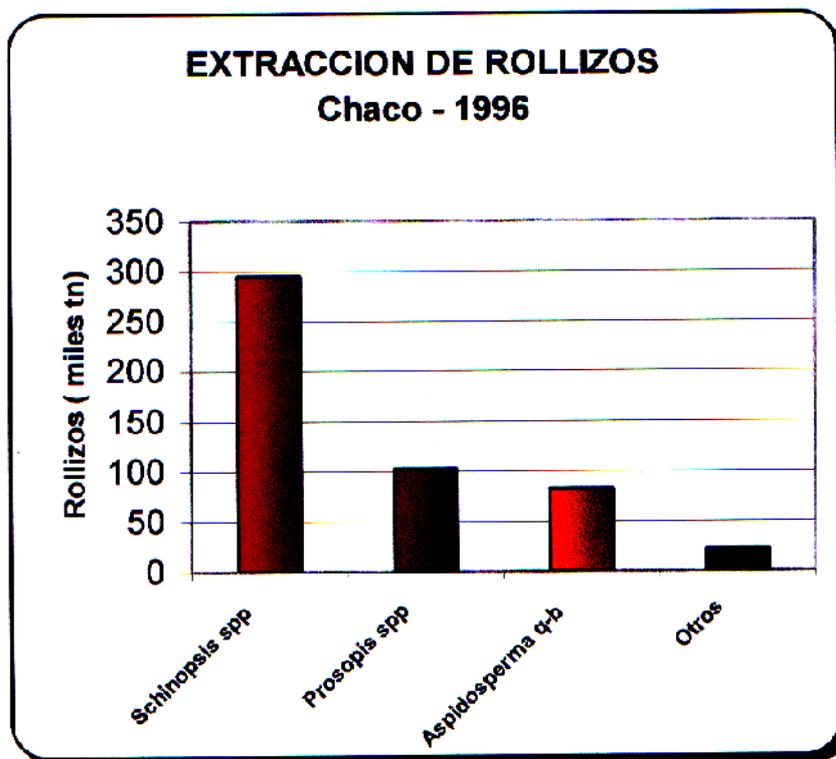


Figura A1.2 – Producción de rollizos – Chaco - 1996

Tabla A1.2 - Producción de rollizos – Chaco - 1996

Especie	Producción (tn)
Schinopsis spp	294990
Prosopis alba y nigra	102587
Aspidosperma q.blanco	81489
Otras	22001

Fuente: Anuario Estadístico Forestal 1996 (3)

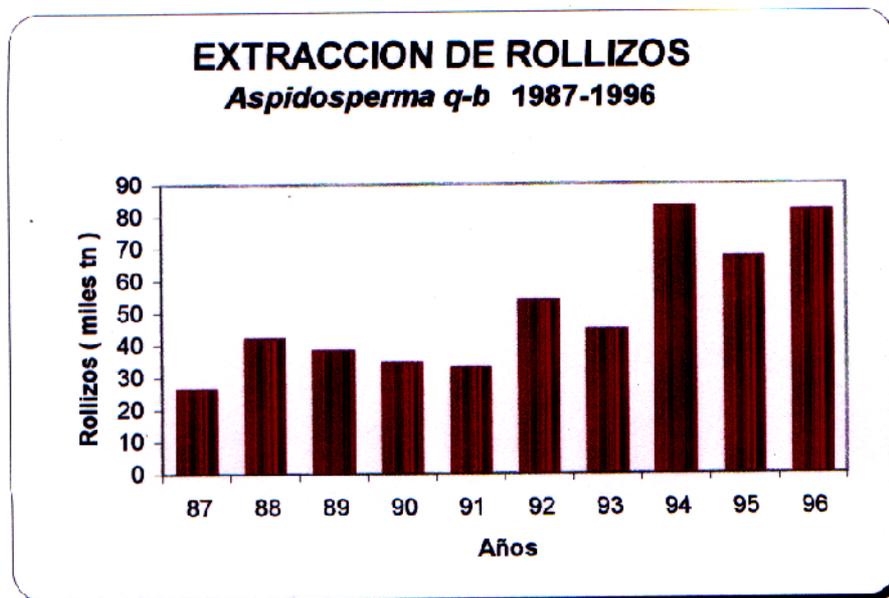


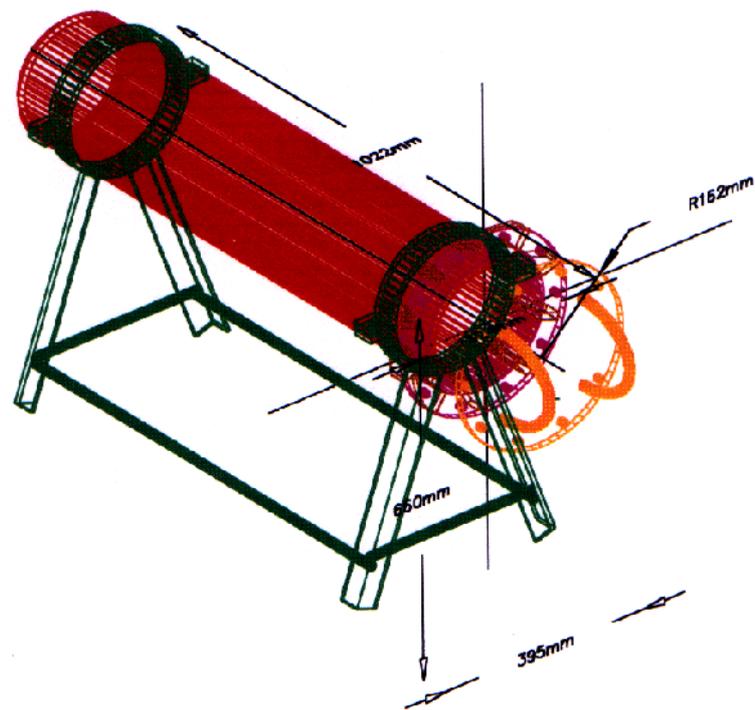
Figura A1.3 – Extracción de rollizos – *Aspidosperma quebracho-blanco*
Chaco – 1987 - 1996

Tabla A1.3 – Extracción de rollizos – *Aspidosperma quebracho-blanco*
Chaco – 1987 – 1996 (4)

Año	Producción
1987	26351
1988	42031
1989	38491
1990	34373
1991	33106
1992	53832
1993	44867
1994	82747
1995	67181
1996	81489

ANEXO 2

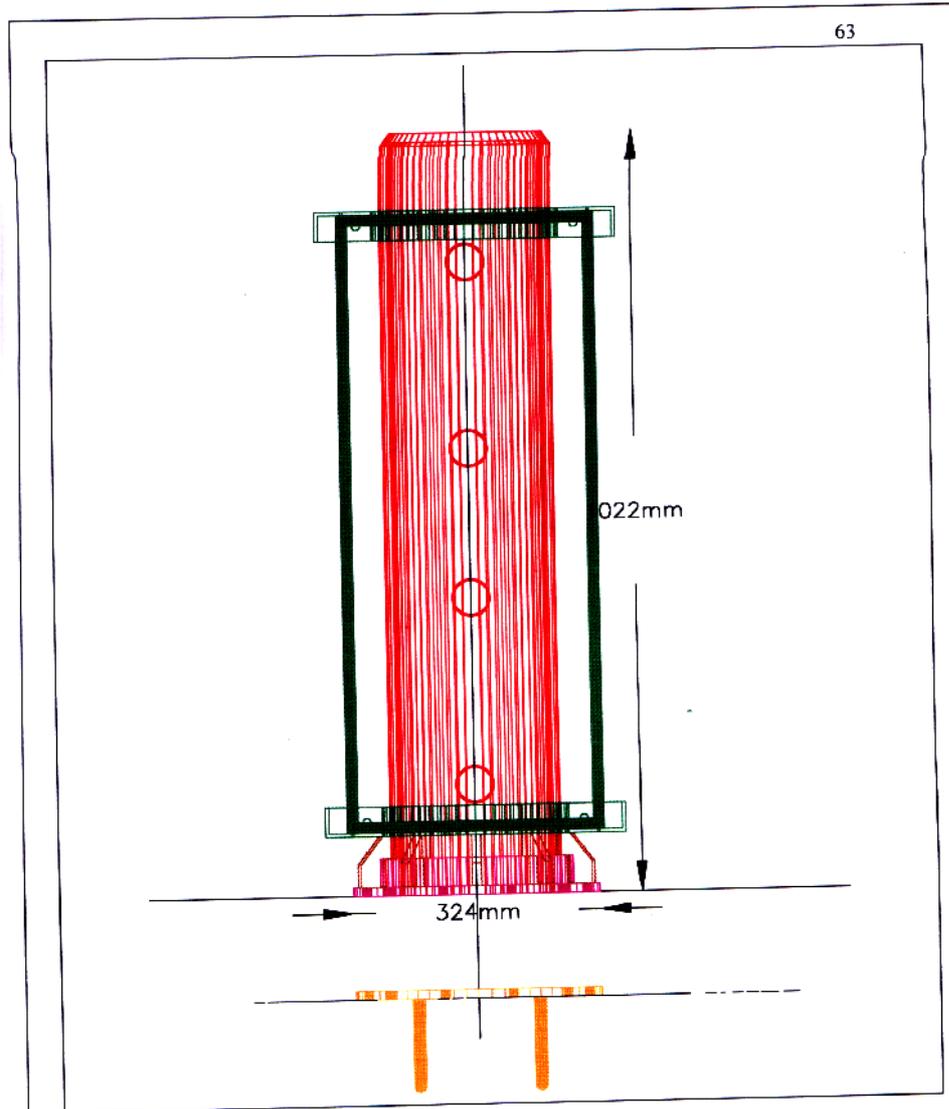
PLANOS DE PLANTA PILOTO DE IMPREGNACION



PLANTA PILOTO IMPREGNACION

CILINDRO DE TRATAMIENTO

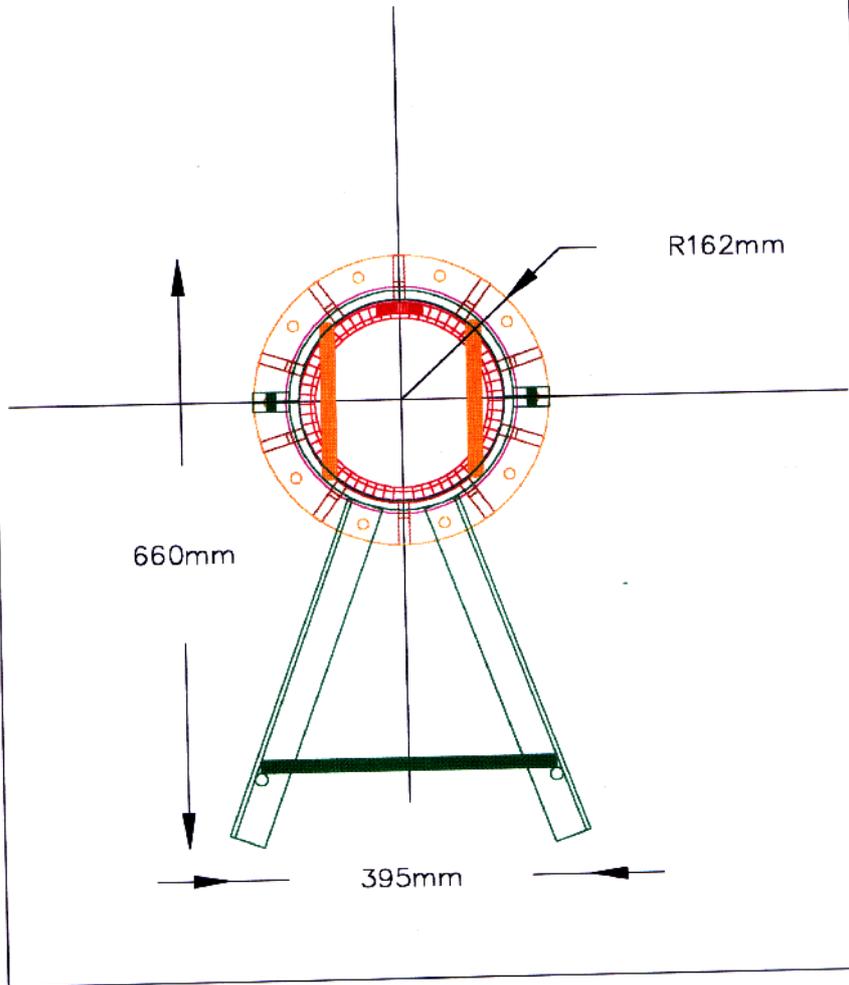
VISTA:	PERSPECTIVA
Catedra:	TECNOLOGIA INDUSTRIAL I
Prof. Titular:	Jose M. PAZ
Año:	1997
Instituto:	FACULTAD DE AGROINDUSTRIAS - UNNE



PLANTA PILOTO IMPREGNACION

CILINDRO DE TRATAMIENTO

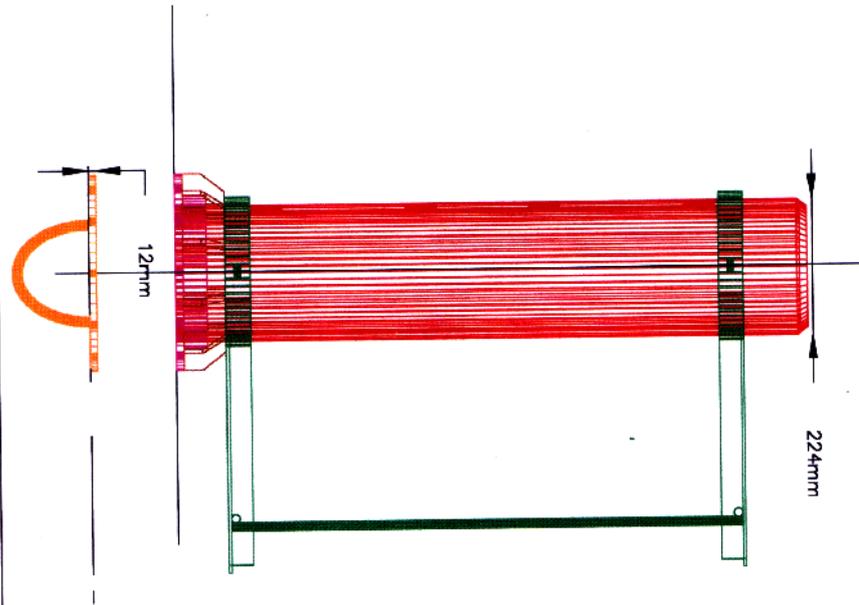
VISTA:	VISTA SUPERIOR
Catedra:	TECNOLOGIA INDUSTRIAL I
Prof. Titular:	Jose M. PAZ
Año:	1997
Instituto:	FACULTAD DE AGROINDUSTRIAS - UNNE



PLANTA PILOTO IMPREGNACION

CILINDRO DE TRATAMIENTO

VISTA:	VISTA FRONTAL
Catedra:	TECNOLOGIA INDUSTRIAL I
Prof. Titular:	Jose M. PAZ
Año:	1997
Instituto:	FACULTAD DE AGROINDUSTRIAS - UNNE



PLANTA PILOTO IMPREGNACION

CILINDRO DE TRATAMIENTO

VISTA:	VISTA LATERAL
Catedra:	TECNOLOGIA INDUSTRIAL I
Prof. Titular:	Jose M. PAZ
Año:	1997
Instituto:	FACULTAD DE AGROINDUSTRIAS - UNNE

ANEXO 3

PESO Y CONTENIDO DE HUMEDAD DE MUESTRAS

Tabla A3.1 – Contenido de humedad de testigos de muestras - Primera parte

Tratam.	Testigo de muestra	Peso verde (gr)	Peso anhidro (gr)	Contenido humedad(%)
1	1	57,02	38,55	47,9
1	2	57,13	39,73	43,8
1	3	58,30	39,10	49,1
2	4	56,86	39,39	44,4
2	5	56,43	38,25	47,5
2	6	56,47	38,05	48,4
3	7	57,21	37,16	54,0
3	8	56,72	38,26	48,2
3	9	57,94	38,52	50,4
4	10	56,35	37,90	48,7
4	11	57,10	38,63	47,8
4	12	56,26	37,88	48,5
5	13	58,86	38,92	51,2
5	14	56,93	37,77	50,7
5	15	56,22	38,14	47,4
6	16	55,90	37,20	50,3
6	17	58,53	39,13	49,6
6	18	56,19	40,28	39,5
7	19	57,55	39,16	47,0
7	20	58,26	40,51	43,8
7	21	57,71	40,89	41,1
8	22	56,96	38,47	48,1
8	23	57,58	38,71	48,7
8	24	56,67	38,15	48,5

Tabla A3.2 - Contenido de humedad de testigos de muestras - Segunda parte

Tratam.	Testigo de muestra	Peso verde (gr)	Peso anhidro (gr)	Contenido humedad(%)
9	25	57,14	38,59	48,1
9	26	56,80	40,13	41,5
9	27	56,52	39,24	44,0
10	28	56,78	39,38	44,2
10	29	57,23	38,83	47,4
10	30	58,07	38,75	49,9
11	31	56,81	40,50	40,3
11	32	56,15	38,24	46,8
11	33	56,75	38,69	46,7
12	34	57,37	39,37	45,7
12	35	57,12	38,63	47,9
12	36	57,43	38,80	48,0
13	37	58,19	40,62	43,3
13	38	57,25	38,75	47,7
13	39	56,51	38,21	47,9
14	40	57,57	39,55	45,6
14	41	56,20	40,98	37,1
14	42	57,88	39,24	47,5
15	43	57,64	39,11	47,4
15	44	58,53	41,26	41,9
15	45	58,69	40,62	44,5
16	46	58,10	39,47	47,2
16	47	56,33	38,72	45,5
16	48	57,65	38,38	50,2

ANEXO 4

MEDIDAS Y PESOS DE MUESTRAS IMPREGNADAS

Tabla A4.1 Impregnación de muestras – Primera parte

Tratam.	Muestra	Peso verde (gr)	Peso impreg. (gr)	Variación peso (gr)
1	1	663	715,0	52,0
1	2	664,3	712,0	47,7
1	3	666,8	725,3	58,5
2	4	660	699,0	39,0
2	5	656,6	709,8	54,2
2	6	654,6	710,9	56,3
3	7	664,4	732,0	67,6
3	8	659,2	734,6	75,4
3	9	670,1	748,1	78,0
4	10	654	704,7	50,7
4	11	663,2	703,5	40,3
4	12	652,8	694,4	41,6
5	13	672,5	733,2	60,7
5	14	649,4	714,4	65,0
5	15	652,6	728,4	75,8
6	16	637,2	730,4	93,2
6	17	682,1	757,9	75,8
6	18	652,3	756,3	104,0
7	19	668,9	746,9	78,0
7	20	681,5	773,8	92,3
7	21	672,4	754,3	81,9
8	22	662,3	726,0	63,7
8	23	669,1	735,4	66,3
8	24	658,7	731,5	72,8

Tabla A4.2 – Retención de PEG Primera parte

Tratam.	Muestra	Variación peso(gr)	Retención solución	Retención PEG
1	1	52,4	80,6	24,2
1	2	47,3	72,7	21,8
1	3	58,2	89,5	26,9
2	4	39,1	60,1	18,0
2	5	54,5	83,8	25,1
2	6	56,0	86,1	25,8
3	7	67,3	103,5	51,8
3	8	75,9	116,7	58,4
3	9	78,5	120,7	60,4
4	10	50,5	77,7	38,8
4	11	40,7	62,6	31,3
4	12	41,6	64,0	32,0
5	13	61,0	93,8	28,1
5	14	65,1	100,1	30,0
5	15	75,4	116,0	34,8
6	16	93,5	143,8	43,1
6	17	75,8	116,6	35,0
6	18	104,5	160,7	48,2
7	19	77,7	119,5	59,8
7	20	92,0	141,5	70,7
7	21	81,9	126,0	63,0
8	22	64,0	98,4	49,2
8	23	66,0	101,5	50,8
8	24	72,4	111,4	55,7

Nota: Retenciones expresadas en kg/m³

Tabla A4.3 – Impregnación de muestras – Segunda parte

Tratam.	Muestra	Peso verde	Peso impreg.	Variación peso
		(gr)	(gr)	(gr)
9	25	664,6	733,4	68,8
9	26	658,2	747,3	89,1
9	27	657,3	764,0	106,7
10	28	658,9	776,2	117,3
10	29	654,8	758,3	103,5
10	30	673,2	782,0	108,8
11	31	657,8	756,4	98,6
11	32	649,9	738,6	88,7
11	33	656,6	749,3	92,7
12	34	664,2	745,3	81,1
12	35	663,8	753,2	89,4
12	36	667,8	759,3	91,5
13	37	672,9	750,4	77,5
13	38	659,4	752,7	93,3
13	39	657,5	757,6	100,1
14	40	663,8	794,0	130,2
14	41	652,5	769,1	116,6
14	42	671,6	782,8	111,2
15	43	669,4	763,9	94,5
15	44	681,1	778,5	97,4
15	45	679,4	768,7	89,3
16	46	673,5	770,3	96,8
16	47	653,4	754,9	101,5
16	48	674,2	773,4	99,2

Tabla A4.4 – Retención de PEG – Segunda parte

Tratam.	Muestra	Variación peso(gr)	Retención solución	Retención PEG
9	25	68,8	105,8	31,7
9	26	89,1	137,1	41,1
9	27	106,7	164,1	49,2
10	28	117,3	180,3	54,1
10	29	103,5	159,2	47,8
10	30	108,8	167,3	50,2
11	31	98,6	151,7	75,9
11	32	88,7	136,4	68,2
11	33	92,7	142,6	71,3
12	34	81,1	124,7	62,4
12	35	89,4	137,4	68,7
12	36	91,5	140,7	70,4
13	37	77,5	119,2	35,8
13	38	93,3	143,5	43,1
13	39	100,1	154,0	46,2
14	40	130,2	200,3	60,1
14	41	116,6	179,3	53,8
14	42	111,2	171,0	51,3
15	43	94,5	145,3	72,7
15	44	97,4	149,8	74,9
15	45	89,3	137,4	68,7
16	46	96,8	148,8	74,4
16	47	101,5	156,1	78,0
16	48	99,2	152,6	76,3

Nota: Retenciones expresadas en kg/m³

Tabla A4.5 - Dimensiones de muestras tratadas - Primera parte

Tratam.	Muestra	L radial verde (mm)	L radial impr. (mm)	L radial 10% (mm)	L radial Est. (mm)
1	1	104,3	104,4	101,6	102,5
1	2	104,3	104,7	101,9	102,7
1	3	104,3	104,4	101,8	102,7
2	4	104,3	140,3	102,0	102,8
2	5	104,3	104,4	101,7	102,5
2	6	104,3	104,5	101,7	102,6
3	7	104,3	104,6	102,2	102,9
3	8	104,3	104,6	102,1	102,8
3	9	104,2	104,5	101,8	102,6
4	10	104,3	104,4	102,3	103,0
4	11	104,3	140,3	101,9	102,7
4	12	104,3	104,4	102,1	102,8
5	13	104,3	104,5	101,8	102,6
5	14	104,3	104,5	101,6	102,5
5	15	104,3	104,4	101,5	102,4
6	16	104,2	140,3	102,1	102,8
6	17	104,3	104,4	101,9	102,7
6	18	104,3	104,5	102,1	102,8
7	19	104,3	104,5	102,3	102,9
7	20	104,3	104,8	102,3	102,9
7	21	104,3	104,6	101,9	102,7
8	22	104,3	104,5	102,3	103,0
8	23	104,3	104,4	102,5	103,1
8	24	104,3	104,7	102,5	103,1

Tabla A4.6 - Dimensiones de muestras tratadas (Segunda parte)

Tratam.	Muestra	L radial verde (mm)	L radial impr. (mm)	L radial 10% (mm)	L radial 16% (mm)
9	25	104,3	104,7	101,5	102,4
9	26	104,3	104,5	101,6	102,5
9	27	104,3	104,4	101,6	102,5
10	28	104,2	104,6	102,2	102,9
10	29	104,3	104,5	102,6	103,2
10	30	104,3	104,8	102,8	103,3
11	31	104,3	104,6	102,0	102,8
11	32	104,3	104,7	102,0	102,8
11	33	104,3	104,4	101,6	102,5
12	34	104,3	104,6	102,7	103,2
12	35	104,3	104,8	102,9	103,4
12	36	104,3	104,7	102,8	103,3
13	37	104,4	104,8	101,7	102,6
13	38	104,3	104,5	101,6	102,5
13	39	104,3	104,7	101,9	102,7
14	40	104,3	104,7	102,5	103,1
14	41	104,3	104,5	102,6	103,2
14	42	104,3	104,6	102,6	103,2
15	43	104,3	104,9	102,2	103,0
15	44	104,3	104,8	102,3	103,0
15	45	104,2	104,5	102,0	102,7
16	46	104,3	104,6	103,0	103,4
16	47	104,3	104,8	103,0	103,4
16	48	104,3	104,5	102,8	103,3

Tabla A4.7 – Contracción total y retractorabilidad - Primera parte

Tratam.	Muestra	Contracc. lineal (%)	Contracc. total (%)	Retractab. (H) (%/%)	Retractab. (C) (%/%)
1	1	2,59	4,03	0,150	0,150
1	2	2,30	3,58	0,133	0,133
1	3	2,40	3,73	0,150	0,138
2	4	2,21	3,43	0,133	0,127
2	5	2,49	3,88	0,133	0,144
2	6	2,49	3,88	0,150	0,144
3	7	2,01	3,13	0,115	0,115
3	8	2,11	3,28	0,115	0,121
3	9	2,30	3,58	0,133	0,133
4	10	1,92	2,98	0,115	0,110
4	11	2,30	3,58	0,133	0,133
4	12	2,11	3,28	0,115	0,121
5	13	2,40	3,73	0,133	0,138
5	14	2,59	4,03	0,150	0,150
5	15	2,68	4,17	0,150	0,156
6	16	2,02	3,13	0,116	0,116
6	17	2,30	3,58	0,133	0,133
6	18	2,11	3,28	0,115	0,121
7	19	1,92	2,98	0,099	0,110
7	20	1,92	2,98	0,099	0,110
7	21	2,30	3,58	0,133	0,133
8	22	1,92	2,98	0,115	0,110
8	23	1,73	2,68	0,099	0,099
8	24	1,73	2,68	0,099	0,099

Nota: (H) : Retractorabilidad (base seca) tomando para el cálculo el hinchamiento

(C) : Retractorabilidad (base seca) tomando para el cálculo la Contracción

Tabla A4.8 – Contracción total y retractabilidad - Segunda parte

Tratam.	Muestra	Contracc. lineal	Contracc. total	Retractab. (H)	Retractab. (C)
9	25	2,68	4,17	0,150	0,156
9	26	2,59	4,03	0,150	0,150
9	27	2,59	4,03	0,150	0,150
10	28	1,92	2,98	0,116	0,110
10	29	1,63	2,53	0,099	0,093
10	30	1,44	2,24	0,082	0,082
11	31	2,21	3,43	0,133	0,127
11	32	2,21	3,43	0,133	0,127
11	33	2,59	4,03	0,150	0,150
12	34	1,53	2,39	0,082	0,087
12	35	1,34	2,09	0,082	0,076
12	36	1,44	2,24	0,082	0,082
13	37	2,59	4,02	0,150	0,150
13	38	2,59	4,03	0,150	0,150
13	39	2,30	3,58	0,133	0,133
14	40	1,73	2,68	0,099	0,099
14	41	1,63	2,53	0,099	0,093
14	42	1,63	2,53	0,099	0,093
15	43	2,01	3,13	0,133	0,115
15	44	1,92	2,98	0,115	0,110
15	45	2,11	3,28	0,116	0,121
16	46	1,25	1,94	0,065	0,071
16	47	1,25	1,94	0,065	0,071
16	48	1,44	2,24	0,082	0,082

Nota: (H) : Retractabilidad (base seca) tomando para el cálculo el hinchamiento

(C) : Retractabilidad (base seca) tomando para el cálculo la Contracción