

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

FACULTAD DE CIENCIAS FORESTALES

Departamento Manejo de Bosques y Medio Ambiente

VARIACION DE LA DENSIDAD APARENTE
CON RESPECTO AL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO
PARA MADERA PULPABLE DE Pinus radiata D. Don

Por

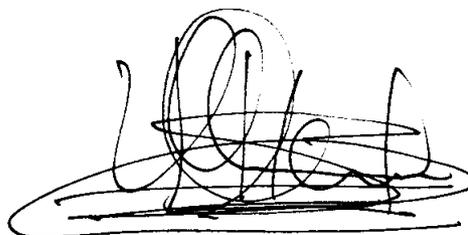
FABIAN RAUL MILLA ARANEDA

MEMORIA DE TITULO PRESENTADA
A LA FACULTAD DE CIENCIAS
FORESTALES DE LA UNIVERSIDAD
DE CONCEPCION PARA OPTAR AL
TITULO DE INGENIERO FORESTAL.

CONCEPCION - CHILE

1994

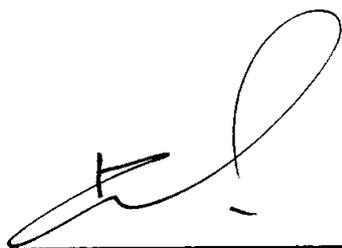
VARIACION DE LA DENSIDAD APARENTE
CON RESPECTO AL TIEMPO DE ALMACENAMIENTO
PARA MADERA PULPABLE DE Pinus radiata D. Don



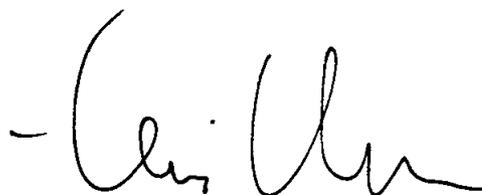
Profesor Asesor



Manuel Lineros Parra
Profesor Asistente.
Ingeniero Forestal, Mg. Sc.



Fernando Drake Aranda
Profesor Asociado.
Ingeniero Forestal.
Director Departamento
Manejo de Bosques y
Medio Ambiente.



Dr. Jaime Millán Herrera
Profesor Titular.
Ingeniero Forestal.
Decano Facultad de
Ciencias Forestales.



A MI FAMILIA

AGRADECIMIENTOS

El autor desea expresar su más sincero agradecimiento a todas aquellas personas que de una u otra forma motivaron e hicieron posible la realización del presente trabajo. Con especial mención:

- Al señor Manuel Lineros Parra por su colaboración en el desarrollo de la investigación, excelente disposición y oportuno consejo para el enriquecimiento del texto final.
- Al señor Boris Cerda, Jefe del Departamento Compras de Madera de Forestal Mininco S. A., por motivar el desarrollo de éste trabajo y prestar las facilidades necesarias para la consecución del mismo.
- Al señor Jorge Ramírez por el indispensable apoyo en las labores de terreno.
- A mis familiares y amigos, en la persona de mi esposa, por su permanente apoyo y comprensión, especialmente en la etapa final de ésta investigación.

INDICE DE MATERIAS

CAPITULO		PAGINA
I	INTRODUCCION	1
II	REVISION BIBLIOGRAFICA	3
III	MATERIALES Y METODOS.....	17
	3.1 Materiales	17
	3.2 Método	22
	3.2.1 Variación de la densidad aparente en función del tiempo de almace- namiento	22
	3.2.1.1 Obtención de la densidad aparente ..	22
	3.2.1.2 Ajuste y prueba de supuestos de regresión	23
	3.2.1.3 Preselección y selección del mejor modelo	25
	3.2.2 Variación de la densidad aparente entre categorías y entre niveles de altura	27
IV	RESULTADOS Y DISCUSION	28
	4.1 Comportamiento de la densidad aparente	28
	4.2 Variación de la densidad aparente entre categorías y niveles de altura	46
	4.2.1 Variación de la densidad aparente entre categorías	46
	4.2.2 Variación de la densidad aparente entre niveles de altura	49

CAPITULO	PAGINA
V CONCLUSIONES	55
VI RESUMEN	57
VII SUMMARY	59
VIII BIBLIOGRAFIA	60
IX APENDICES	64
APENDICE 1: TABLAS	64
APENDICE 2: FIGURAS	73
X ANEXO	81



INDICE DE TABLAS

TABLA N°		PAGINA
	<u>En el texto</u>	
1	Granulometría y densidad de las astillas según tramo de densidad aparente	8
2	Viscosidad de la celulosa en relación al porcentaje de madera del tramo D incluida como materia prima	9
3	Indicadores de la eficiencia del proceso de cocción y de la calidad de la celulosa para cada tramo de densidad aparente	10
4	Variables meteorológicas observadas en la comuna de Galvarino. Año 1991	18
5	Rangos de densidad aparente inicial considerados y nomenclatura utilizada	19
6	Características de la madera contenida en cada una de las categorías de densidad aparente inicial	20
7	Distribución de las unidades muestrales según nivel de altura para cada categoría de densidad aparente inicial	21
8	Factor de conversión y error de muestreo asociado según estrato de densidad aparente inicial	22
9	Test de Bartlett aplicado a la densidad aparente real para cada categoría de densidad aparente	28
10	Test de Bartlett aplicado al logaritmo natural de la densidad aparente real para cada categoría de densidad aparente	29

TABLA N^o

PAGINA

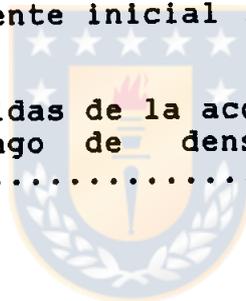
11	Prueba de correlación de rango de Spearman aplicada a los modelos en estudio para cada categoría de densidad aparente	30
12	Test de Durbin-Watson aplicado a los residuos de los modelos ajustados	31
13	Test F aplicado a los modelos en análisis ..	33
14	Test t-Student aplicado a los coeficientes de regresión de los modelos en análisis	34
15	R ² y EEE para los modelos en análisis con variable dependiente densidad aparente	36
16	R ² y EEE para los modelos logarítmicos de la categoría R1	36
17	Estadígrafos para los modelos preseleccionados con distinta variable dependiente para la categoría R1	37
18	Estadígrafos para los modelos con autocorrelación de residuos de la categoría R3	38
19	Prueba t-Student aplicada a la constante y al coeficiente de regresión para clasificación de sesgo	41
20	Error máximo en los modelos seleccionados para cada categoría de densidad aparente ...	42
21	Variación promedio de la densidad aparente según categoría	46
22	Diferencias entre las variaciones promedio de la densidad aparente, para las distintas categorías	47
23	Valores críticos para la prueba de Scheffé .	48
24	Variación promedio de la densidad aparente para distintos niveles de altura, según categoría	49

25	Valores muestrales y crítico para la prueba de Bartlett para homogeneidad de varianzas..	50
26	Valor muestral, grados de libertad y valor tabulado para la prueba de igualdad de medias entre los distintos niveles de altura según categoría	51
27	Diferencias entre las variaciones promedio de la densidad aparente a distintos niveles de altura. Categoría R2	51
28	Valores críticos para la prueba de Scheffé. Categoría R2	52
29	Valores críticos de la prueba de Tukey con corrección de Kramer. Categoría R2	53

En el Apéndice 1

1 A	Coeficientes de regresión para los modelos analizados en la descripción del comportamiento de la densidad aparente. Categoría de densidad aparente R1	65
2 A	Coeficientes de regresión para los modelos analizados en la descripción del comportamiento de la densidad aparente. Categoría de densidad aparente R2	66
3 A	Coeficientes de regresión para los modelos analizados en la descripción del comportamiento de la densidad aparente. Categoría de densidad aparente R3	67
4 A	Coeficientes de regresión para los modelos analizados en la descripción del comportamiento de la densidad aparente. Categoría de densidad aparente R4	68

5 A	Coeficientes de regresión para los modelos analizados en la descripción del comportamiento de la densidad aparente. Categoría de densidad aparente T1	69
6 A	Coeficientes de regresión para los modelos analizados en la descripción del comportamiento de la densidad aparente. Categoría de densidad aparente T2	70
7 A	Funciones seleccionadas para cada categoría de densidad aparente inicial	71
8A	Funciones corregidas de la acción del sesgo para cada rango de densidad aparente inicial	72



INDICE DE FIGURAS

FIGURA NQ		PAGINA
<u>En el Apéndice 2</u>		
1A	Distribución de los residuos generados por la función seleccionada para la categoría R2 ...	74
2A	Distribución de los residuos generados por la función seleccionada para la categoría R4 ...	74
3A	Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría R1..	75
4A	Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría R2..	75
5A	Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría R3..	76
6A	Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría R4..	76
7A	Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría T1..	77
8A	Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría T2..	77
9A	Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría R1 (Raleo 1.000-1.100 kg/mr)	78
10A	Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría R2 (Raleo 1.400-1.500 kg/mr)	78
11A	Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría R3 (Raleo 1.500-1.600 kg/mr)	79
12A	Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría R4 (Raleo 1.600-1.700 kg/mr)	79

FIGURA N°		PAGINA
13A	Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría T1 (Tala rasa 1.600-1.650 kg/mr)	80
14A	Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría T2 (Tala rasa 1.650-1.700 kg/mr)	80



I INTRODUCCION

La industria de la celulosa utiliza como insumo primario en su proceso productivo la madera. Aproximadamente un 50 % de la madera requerida para abastecer las fábricas proviene de la compra de madera a terceros, siendo el porcentaje restante obtenido de las faenas de cosecha que se realizan en bosques del patrimonio de sus propias empresas (Ramírez, 1970).

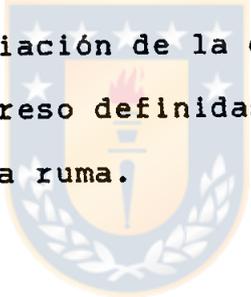


En el caso particular de Fábrica de Celulosa Laja el abastecimiento de madera es realizado por Forestal Mininco S.A., empresa que realiza compras a terceros a través del Departamento Compras de Madera. El producto más complejo de manejar es el rollizo pulpable de Pinus radiata D. Don, debido a la calidad del producto recepcionado y a las exigencias particulares de la fábrica -densidad aparente superior a 1.000 kg/mr- para ingresar la madera al proceso de producción, en caso contrario es degradada a combustible, asignándole un menor valor.

Para un manejo adecuado de la madera pulpable de Pinus radiata D. Don, se requiere información respecto a la

variación de la densidad aparente durante el periodo de almacenamiento en cancha.

Los objetivos planteados en el presente trabajo fueron la construcción de funciones que describieran el comportamiento de la densidad aparente, para rollizos pulpables de Pinus radiata D. Don, con respecto al tiempo de almacenamiento para distintas categorías de densidad aparente de ingreso a cancha; y determinar si se presentan diferencias en la variación de la densidad aparente entre las categorías de ingreso definidas, así como a distintos niveles de altura en la ruma.



II REVISION BIBLIOGRAFICA

La principal materia prima empleada para la fabricación de pulpa y pastas es la madera, la que en Chile proviene mayoritariamente de las plantaciones de Pinus radiata D. Don en forma de trozos, difundándose bastante en el último tiempo el uso adicional de subproductos del aserrío, como es el caso de astillas y lampazos (González, 1989).

La comercialización de madera pulpable se realiza en el país a través de la unidad volumétrica denominada metro ruma (mr), correspondiendo al volumen estéreo contenido en una pila de rollizos que tiene un ancho de 1 metro, una altura de 1 metro y un largo de 2,44 metros. Si bien la unidad de medida metro ruma es considerada una base imperfecta de comercialización, puesto que no valora la materia prima en términos de su rendimiento en el proceso productivo al no considerar características intrínsecas de ella (largo de fibras, densidad, volumen sólido), tiene un uso muy amplio dada la extrema sencillez de su aplicación (Ramírez, 1970).

Para relacionar el volumen estéreo - mr - con el volumen sólido, tradicionalmente se usan factores de conversión que

corresponden a valores promedios de coeficientes de apilamiento, los cuales se asumen válidos para toda la madera proveniente de una región determinada (Novoa, 1982). Sin embargo, se ha determinado que, generalmente, estos valores promedio presentan un alto sesgo (Loestch et al, 1973). En el caso de Forestal Mininco S.A. el factor de conversión utilizado es 1,57 m³ssc/mr para madera de Pinus radiata D. Don.

Los factores de conversión pueden ser obtenidos por diversos métodos. Ramírez (1970) y Novoa (1982), mencionan como los más importantes el método de desplazamiento de agua, los métodos analíticos y el método de imágenes. De estos, el último consiste en obtener una imagen ortogonal de una cara de la ruma, sobre la cuál se sobrepone una plantilla de puntos, obteniéndose la proporción de madera, corteza y espacios contenida en el volumen estéreo aislado mediante un simple conteo de puntos. Mountain (1949), demostró que este método es rápido y relativamente exacto al ser comparado con el procedimiento de inmersión en agua y medición de diámetros en terreno. Novoa (1982), concluye que este procedimiento permite conocer el contenido de madera sólido sin corteza con un error no mayor al 2 %, destacando, además, su facilidad de aplicación desde el punto de vista técnico. Una modificación de éste método

consiste en una malla de puntos de 1 m^2 , con una densidad de 1 punto cada 25 cm^2 , la que se instala directamente sobre una cara de la pila de madera, eliminándose así la distorsión propia de la imagen fotográfica. Este procedimiento ha sido denominado RED-400 (*).

Así como el volumen sólido de madera es importante en el proceso productivo, también resulta serlo la densidad de la madera, dado que ésta representa la cantidad real de sustancia leñosa, fibra, existente por unidad de volumen. Usualmente se han convenido diversas expresiones para la densidad en función -principalmente- del contenido de humedad. Pérez y Cabrera (1987), definen los siguientes tipos de densidades:

- a) Densidad aparente: relación entre la masa y volumen al momento del ensayo.
- b) Densidad básica: relación entre la masa seca al horno y el volumen verde.
- c) Densidad anhidra: relación entre masa y volumen secos al horno.

(*) Cancino, Jorge. Facultad de Ciencias Forestales, Universidad de Concepción. Comunicación personal.

Con respecto a la influencia de la densidad básica de la madera de Pinus radiata D. Don en el pulpaje Kraft, Celis y Fernández (1987), determinaron en un estudio realizado en Fábrica Celulosa Laja, que una mayor densidad básica de la madera trae consigo mayoritariamente beneficios, tanto técnicos como económicos, en el proceso de producción de pulpa, ya que se aumenta el rendimiento de cocción, se disminuye el específico de álcali y sólidos, y se aumenta el índice de rasgado del papel obtenido. El único efecto negativo detectado fue el aumento de la dureza de la fibra.

Es la densidad básica de la madera la que determinará la calidad de la celulosa y la eficiencia en el proceso productivo, pero para obtenerla se requiere de procedimientos de laboratorio, lo que hace impracticable utilizarla como un parámetro de decisión en la calidad de la madera ingresada al proceso de producción. Una forma de incorporar, en parte, la densidad básica como parámetro de calidad, es a través de la determinación de la densidad aparente de la madera mediante el pesaje de ella y medición de su volumen estéreo. Con respecto a esto, Rodríguez y Salazar (1987), en experiencias realizadas en Fábrica Celulosa Laja, estudiaron la influencia de la densidad aparente de la madera de Pinus radiata D. Don en las distintas etapas del proceso productivo de pulpa Kraft,

tanto a nivel práctico como de laboratorio. Para ello se definieron cuatro tramos de densidad aparente, en base a un seguimiento de archivos y a un muestreo de rollizos al ingreso a fábrica:

Tramo A : mayor a 1.600 kg/mr

Tramo B : 1.200 a 1.599 kg/mr

Tramo C : 1.000 a 1.199 kg/mr

Tramo D : menor a 1.000 kg/mr

A nivel práctico las experiencias se orientaron a los aspectos de astillado de rollizos y calidad de la celulosa. En lo que respecta al primero, se caracterizó la granulometría y densidad de las astillas, concluyéndose que una baja densidad aparente de la madera afecta negativamente la eficiencia del astillado, ya que se aumenta la fracción de finos y la fracción con sobretamaño (Tabla 1).

Cabe señalar que la fracción de finos retenida en los harneros clasificadores tiene un uso final solamente como combustible, mientras que la fracción con sobretamaño debe ser enviada al "rechipper", produciéndose un deterioro adicional de la fibra y generación extra de finos.

TABLA 1. GRANULOMETRIA Y DENSIDAD DE LAS ASTILLAS SEGUN TRAMO DE DENSIDAD APARENTE.

TRAMO	GRANULOMETRIA		DENSIDAD APARENTE ASTILLAS SIN COMPACTAR (kg secos/m ³ estéreos)
	FRACCION FINOS* —— (% en peso) ——	FRACCION SOBRETAMAÑO**	
A	2,1	1,2	156,0
B	2,6	2,7	145,5
C	2,9	3,5	136,1
D	3,2	3,6	125,0

* : partículas < 6 mm

** : partículas > 45 mm

Con respecto a la calidad de la celulosa, se realizó una revisión de los registros del Departamento de Control de Calidad de Fábrica Celulosa Laja, encontrándose una marcada dependencia de la viscosidad con el porcentaje de madera del tramo D, incorporada al proceso productivo. Al aumentar este porcentaje la viscosidad de la pulpa disminuye (Tabla 2).

A nivel de laboratorio se realizaron experiencias de cocción con las astillas obtenidas directamente del proceso industrial. Estas cocciones se realizaron a Kappa $34 \pm 0,5$, manteniéndose constantes sus condiciones para cada tramo y modificándose sólo la dosificación de álcali efectivo con

la finalidad de ajustar el Kappa. La influencia de la densidad aparente en el proceso de cocción y en la calidad de la pulpa obtenida se presenta en la Tabla 3. Los resultados concuerdan con lo determinado por Celis y Fernández (1987) para la densidad básica, ya que al aumentar la densidad aparente aumenta el rendimiento de cocción, disminuye el específico de álcali y sólidos, y aumenta el índice de rasgado; además, se comprobó que aumenta la viscosidad de la celulosa y los índices de rotura y explosión del papel obtenido. Finalmente, se concluye que los rollizos con densidad aparente inferior a 1.000 kg/mr provocan graves deterioros en la calidad de la celulosa obtenida y aumentan los costos de producción, por lo que se recomienda que la madera cuya densidad aparente sea menor a éste valor no sea incorporada al proceso productivo.

TABLA 2. VISCOSIDAD DE LA CELULOSA EN RELACION AL PORCENTAJE DE MADERA DEL TRAMO D INCLUIDA COMO MATERIA PRIMA.

ANO	MADERA TRAMO D (%)	VISCOSIDAD (Cp)
1986 (*)	4,6	268
1987 (*)	28,5	222

(*): Enero

TABLA 3. INDICADORES DE LA EFICIENCIA DEL PROCESO DE COCCION Y DE LA CALIDAD DE LA CELULOSA PARA CADA TRAMO DE DENSIDAD APARENTE.

INDICADOR	TRAMO			
	A	B	C	D
Rendimiento clasificado (kg fibra seca/kg mad. seca)	47,7	46,9	45,0	43,9
Fracción de nudos (% en peso)	0,70	0,99	1,21	1,36
Sólidos (ton/ton pulpa cruda A.D.)	1,45	1,52	1,56	1,58
Alcali efectivo (ton/ton pulpa cruda A.D.)	0,34	0,36	0,38	0,39
Específico de madera (mr/ton pulpa cruda A.D.)	3,03	3,29	3,66	4,08
Viscosidad (Cp)	720	574	490	475
Indice Rasgado (a 20°SR)	116	97	94	87
Longitud rotura (km)	11,8	11,2	9,9	11,1
Indice Explosión (a 20°SR)	90	87	85	82

De los productos pulpables adquiridos por el Departamento Compras de Madera, el más complejo de manejar es el rollizo, principalmente el de Pinus radiata D.Don, debido a la calidad heterogénea del producto recepcionado y por la necesidad de mantener esta madera almacenada en canchas de acopio. Sin duda que ésto provoca un deterioro de ella,

cuyo grado estará determinado principalmente por las condiciones climáticas, especie, época de corta y presencia o ausencia de corteza (De Los Santos, 1968). Por lo tanto es necesario minimizar ésto, tomando precauciones, que afectarán a los sistemas de apilado y a la magnitud y duración del almacenamiento. Dentro de las principales deterioraciones que pueden afectar la madera, en las canchas de acopio, se encuentran las pudriciones y coloraciones producto del ataque de hongos, y la pérdida de peso a causa de la deshidratación natural.

Las pudriciones, pueden ser pardas o blancas y se manifiestan severamente sólo cuando la humedad de la madera está bajo el punto de saturación de la fibra, la temperatura ambiental está entre los 15 °C y los 32 °C y la humedad relativa entre un 20 % y un 60 % (De Los Santos, 1968). Los efectos de las pudriciones de la madera se traducen en pérdidas en el rendimiento, resistencia y blancura de la pasta, incremento en el consumo de reactivos químicos y pérdida en la obtención de subproductos (tall-oil y trementina). Cuando se trata únicamente de coloraciones -mancha azul- su influencia es prácticamente nula en los sistemas de cocción alcalinos, pero no así en las pastas al bisulfito blanqueadas, en las que se incrementa el consumo de reactivos y sobre todo en las

pastas mecánicas, que pierden blancura (De Los Santos, 1968).

En relación a la deshidratación de la madera, en el sur de los Estados Unidos, de clima caluroso, se han registrado pérdidas en el peso de la madera de pino por más del 15 % , después de 12 meses de almacenamiento, mientras que en Australia, para almacenamientos de 12 a 15 meses de Pinus radiata D.Don, las pérdidas oscilaron desde 9 a 21 % , correspondiendo las mayores a los rollizos de menor dimensión (De Los Santos, 1968).

El ajuste de funciones se realiza comúnmente mediante análisis de regresión utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios. Gujarati (1981), señala que para emplear este método en forma correcta deben cumplirse los siguientes supuestos:

1. El valor medio condicional del término de perturbación poblacional, condicional a los valores dados de las variables explicatorias, es cero.
2. La varianza condicional de las perturbaciones es constante y homocedástica.

3. No existe correlación serial -autocorrelación- entre las perturbaciones.
4. Las variables explicatorias no son estocásticas -fijas en muestras repetidas- o, de ser estocásticas, están distribuidas independientemente de las perturbaciones.
5. No hay multicolinealidad entre las variables explicatorias incluidas en el modelo de regresión.
6. Las perturbaciones están normalmente distribuidas con la media y la varianza dadas en el punto 1 y el punto 2, respectivamente.

Gujarati (1981), indica que al cumplirse estos supuestos se obtienen estimadores eficientes, es decir, para muestras grandes o pequeñas sus varianzas son mínimas, además son consistentes, o sea a medida que aumenta el tamaño de la muestra convergen a su valor poblacional, y finalmente son insesgados, por lo que, la esperanza matemática de la totalidad de las muestras de tamaño "n" de una población, es igual al valor poblacional. Si existe heterocedasticidad de varianza o autocorrelación entre las perturbaciones, los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios dejan de ser eficientes, en cambio cuando existe multicolinealidad los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios de los coeficientes de regresión serán insesgados y eficientes

pero no consistentes. En este último caso, si el propósito de la regresión es predicción la multicolinealidad no es problema, pero si lo es cuando se quiere una estimación confiable de los parámetros.

Existen diversas pruebas diseñadas para docimar los supuestos del método de mínimos cuadrados ordinarios, dependiendo de la aplicación y situación particular (Snedecor y Cochran, 1981; Steel y Torrie, 1985; Gujarati, 1981). Además, es posible aplicar diversos procedimientos que permiten eliminar o compensar tanto la heterocedásticidad como la autocorrelación de residuos (Cunia, 1964; Gujarati, 1981).

Vallejos (1990), dice que el procedimiento de ajuste de funciones utilizando mínimos cuadrados ordinarios consta de cuatro etapas: etapa de ajuste, de preselección, de selección y de comprobación de la exactitud. En la primera etapa se dociman los supuestos del método de mínimos cuadrados ordinarios y se realiza el análisis de regresión con los modelos para los cuales es aplicable el método. En la etapa de preselección se comprueba la significancia estadística tanto del coeficiente de regresión como el de correlación. Se prueban todos los coeficientes debiendo ser cada uno de ellos estadísticamente significativos; para que

esto ocurra, el estadígrafo calculado debe superar al tabulado a un nivel de significancia del 5 % (Snedecor y Cochran, 1981). Aquellos modelos que no presenten significancia estadística deben ser eliminados del análisis. Entre los modelos preseleccionados se selecciona el mejor, utilizando como criterio el coeficiente de determinación y el error estandar de estimación, siempre que estos posean la misma variable dependiente. Al comparar modelos con distinta variable dependiente, el criterio de selección puede ser el menor error cuadrático medio o el índice de Furnival menor (Furnival, 1961). Además, los residuos deben distribuirse en forma homogénea en relación a los valores estimados.

Una vez escogido el modelo, se procede a validarlo utilizando la metodología descrita por Vallejos (1979), la cual consiste en determinar y clasificar los posibles sesgos que posea la función. Para ello es necesario realizar una regresión entre los valores estimados y los valores reales, para luego probar la significancia estadística, tanto de la constante como del coeficiente de regresión, utilizando la prueba t-Student. En base al resultado obtenido la función se clasifica como insesgada, con sesgo constante o con sesgo variable. Una vez clasificado el tipo de sesgo se evalúa la exactitud de la

función a través del test de Freese (Freese, 1960). Para que la función entregue la exactitud requerida el valor chi-cuadrado calculado debe ser inferior al tabulado.

Si una función presenta sesgo y a la vez no entrega la exactitud requerida el modelo debe ser desechado. En cambio si presenta sesgo pero es exacta, es posible eliminar la acción del sesgo empleando el procedimiento de predicción inversa descrito por Ostle (1981).



III MATERIALES Y METODOS

A continuación se presentan los materiales utilizados en la elaboración de la memoria de título y la metodología empleada.

3.1 Materiales

La base de datos utilizada en el estudio corresponde a información recopilada entre abril y septiembre de 1991, para madera pulpable de Pinus radiata D. Don acopiada en cancha Galvarino, del Departamento Compras de Madera de Forestal Mininco S.A., ubicada en la comuna de Galvarino, provincia de Cautín, IX Región.

La zona, en que se recopiló la información presenta un clima mediterráneo frío, en el que la estación húmeda ocurre de abril a noviembre. En verano, el promedio de las temperaturas máximas medias de los cuatro meses más cálidos es superior a 17 °C. Específicamente se trata del agroclima Carillanca (INIA, 1989) caracterizándose el régimen térmico por una temperatura media anual de 10,0 °C, con una máxima media del mes más cálido -enero- de 21,5 °C y

una mínima media del mes más frío -julio- de 2,3 °C. El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación anual de 1.394 mm, siendo mayo el mes más lluvioso, con 236,6 mm. La evaporación de bandeja llega a 921 mm anuales, con un máximo mensual en enero de 161 mm y un mínimo en julio de 20 mm. La estación seca es de un mes, febrero. En la Tabla 4 se entregan las variables meteorológicas de la comuna de Galvarino, registradas durante el periodo de toma de información, abril a septiembre de 1991.

TABLA 4. VARIABLES METEOROLOGICAS OBSERVADAS EN LA COMUNA DE GALVARINO. AÑO 1991.

MESES	PRECIPITACION (mm)	T° MINIMA PROMEDIO (°C)	T° MAXIMA PROMEDIO (°C)
ABRIL	129,6	8,8	18,8
MAYO	183,0	6,2	14,9
JUNIO	135,5	5,1	12,1
JULIO	140,1	4,0	13,0
AGOSTO	70,6	2,4	14,1
SEPTIEMBRE	71,2	6,0	17,3

Fuente: Dirección Meteorológica de Chile.

La información recolectada en el estudio se encuentra segregada de acuerdo al tipo de intervención del cual

proviene la madera -tala rasa o raleo- y a su densidad aparente de ingreso a cancha. La estratificación en distintos niveles de densidad aparente inicial está dada en rangos cada 100 kg/mr para la madera proveniente de raleo y cada 50 kg/mr para la madera proveniente de tala rasa, Tabla 5.

TABLA 5. RANGOS DE DENSIDAD APARENTE INICIAL CONSIDERADOS Y NOMENCLATURA UTILIZADA.

RANGO	INTERVENCION	DENSIDAD APARENTE (kg/mr)	NOMENCLATURA
1	Raleo	1.000-1.100	R1
2	Raleo	1.400-1.500	R2
3	Raleo	1.500-1.600	R3
4	Raleo	1.600-1.700	R4
5	Tala rasa	1.600-1.650	T1
6	Tala rasa	1.650-1.700	T2

El suministro habitual en madera pulpable de Pinus radiata D. Don de cancha Galvarino presenta una densidad aparente superior a 1.400 kg/mr. La categoría R1, la de menor densidad aparente, se incluyó sólo para fines del estudio.

La madera correspondiente a estos rangos permaneció apilada en rumas de aproximadamente 6 metros de largo y 2 metros

de altura, cuyas características se presentan en la Tabla 6.

TABLA 6. CARACTERISTICAS DE LA MADERA CONTENIDA EN CADA UNA DE LAS CATEGORIAS DE DENSIDAD APARENTE INICIAL.

CATE- GORIA	DIAMETRO			ESPEZOR CORTEZA (cm)	NUMERO ROLLIZOS	VOLUMEN ESTEREO (mr)	DENSIDAD INICIAL (kg/mr)
	Medio	Mín.	Máx.				
R1	13,8	8,9	23,3	0,3	540	11,6	1.096,0
R2	10,1	8,7	32,5	0,5	397	12,1	1.468,0
R3	14,3	7,5	26,2	0,6	445	11,8	1.587,7
R4	16,6	8,8	26,7	0,7	381	12,4	1.697,0
T1	17,0	8,9	27,1	0,7	338	12,4	1.619,0
T2	21,8	7,6	34,6	1,0	267	13,2	1.696,0

De cada categoría se dispone de su densidad aparente media, la que se estimó a partir de una muestra de rollizos seleccionada considerando cinco niveles de altura (Tabla 7)

De los rollizos seleccionados se tiene el control semanal de su peso, por un periodo de 23 semanas a contar del 24 de abril, el cual fue realizado con un dinamómetro marca DILLON con capacidad de 500 kg y precisión de 2 kg. El

volumen de cada unidad muestral está dado en metros cúbicos sólidos sin corteza y se obtuvo empleando la fórmula de Smalian.

TABLA 7. DISTRIBUCION DE LAS UNIDADES MUESTRALES SEGUN NIVEL DE ALTURA PARA CADA CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE INICIAL.

NIVEL	ALTURA SOBRE EL SUELO (m)	UNIDADES MUESTRALES					
		R1	R2	R3	R4	T1	T2
1	0,0	3	3	3	3	3	3
2	0,5	3	3	3	3	3	3
3	1,0	3	3	3	3	3	3
4	1,5	3	3	3	3	3	3
5	2,0	9	9	7	9	8	8
TAMAÑO MUESTRA		21	21	19	21	20	20

El factor de conversión de volumen estéreo (mr) a volumen sólido (m³ ssc) para cada una de las categorías de densidad aparente definidas, se determinó empleando el método RED-400 (Tabla 8).

TABLA 8. FACTOR DE CONVERSION Y ERROR DE MUESTREO ASOCIADO SEGUN ESTRATO DE DENSIDAD APARENTE INICIAL.

CATEGORIA	FACTOR DE CONVERSION (m ³ ssc/mr)	ERROR DE MUESTREO (m ³ ssc/mr)	(%)
R1	1,457	0,024	1,7
R2	1,464	0,042	2,9
R3	1,404	0,038	2,7
R4	1,504	0,031	2,1
T1	1,487	0,051	3,4
T2	1,548	0,054	3,5

3.2 Método

3.2.1 Variación de la densidad aparente en función del tiempo de almacenamiento

3.2.1.1 Obtención de la densidad aparente

La densidad aparente media de cada categoría corresponde a la esperanza matemática de las densidades aparentes parciales de cada rollizo incluido en la muestra. Estas se

obtuvieron mediante el cuociente entre la masa y el volumen de cada unidad muestral, para cada semana de almacenamiento. Para transformar la densidad aparente, de la unidad $\text{kg/m}^3\text{ssc}$ a la unidad de interés kg/mr , se emplearon los factores de conversión de volumen estéreo a volumen sólido correspondientes a cada categoría.

3.2.1.2 Ajuste y prueba de supuestos de regresión

Una vez determinada la densidad aparente media de cada categoría -en kg/mr - y dado el tiempo de almacenamiento -en semanas- se docimó el supuesto de homocedasticidad de los datos, esto es, homogeneidad de varianza de la densidad aparente para los distintos niveles de la variable independiente considerada. La prueba utilizada para determinar la presencia de homocedasticidad fue el test de Bartlett (Gujarati, 1981).

Los modelos seleccionados se determinaron en base a un análisis gráfico de la información, proponiéndose los siguientes:

Modelo 1. $DA = B_0 + B_1 \cdot T$

Modelo 2. $DA = B_0 + B_1 \cdot T^2$

Modelo 3. $DA = B_0 + B_1 \cdot T^3$

Modelo 4. $DA = B_0 + B_1 \cdot T + B_2 \cdot T^2$

Modelo 5. $DA = B_0 + B_1 \cdot T + B_2 \cdot T^3$

Modelo 6. $DA = B_0 + B_1 \cdot T^2 + B_2 \cdot T^3$

Modelo 7. $DA = B_0 + B_1 \cdot T + B_2 \cdot T^2 + B_3 \cdot T^3$

Modelo 8. $\ln DA = B_0 + B_1 \cdot T$

Modelo 9. $\ln DA = B_0 + B_1 \cdot (1/T+1)$

Modelo 10. $\ln DA = B_0 + B_1 \cdot (1/T)$

DA = densidad aparente, en kg/mr.

T = tiempo de almacenamiento, en semanas.

El ajuste de los modelos se realizó mediante análisis de regresión, de acuerdo al método de mínimos cuadrados ordinarios, siempre que se cumpliera el supuesto de homocedasticidad.

Obtenidos los coeficientes para los modelos que se analizaron, se aplicó la prueba de correlación de rango de Spearman (Gujarati, 1981) para determinar si se cumple el supuesto de homocedasticidad de las perturbaciones, es decir, que la varianza condicional de las perturbaciones, condicional a los valores dados de cada variable independiente, permanece constante independientemente de los valores que tome la variable explicatoria.

El supuesto de autocorrelación de residuos se verificó, para cada función ajustada, utilizando el test de Durbin-Watson, empleándose el método gráfico en el caso que el valor calculado para el estadístico esté en el rango de indecisión (Gujarati, 1981).

Aquellos modelos que presentaron heterocedasticidad y/o autocorrelación de residuos fueron eliminados del análisis, puesto que para ellos los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios no son eficientes (Gujarati, 1981).

3.2.1.3 Preselección y selección

La preselección se hizo docimando la significancia estadística del modelo general mediante análisis de varianza y la significancia estadística de los coeficientes de regresión a través de la prueba de t-student, para cada función ajustada (Snedecor y Cochran, 1981). La no significancia estadística del modelo o la presencia de coeficientes de regresión no significativos, fue causa de eliminación de éste del análisis.

Posteriormente, entre los modelos con variable dependiente DA, se preseleccionó el mejor utilizando como criterio el error estandar de estimación (EEE) y el coeficiente de determinación ajustado (\bar{R}^2). Del mismo modo se procedió con los modelos con variable dependiente ln DA, para cada categoría de densidad aparente inicial.

Entre los modelos preseleccionados se seleccionó el mejor en base al menor error cuadrático medio (ECM) (Vallejos, 1990) y al menor Índice de Furnival (IF) (Furnival, 1961). Una vez elegido el mejor modelo, para cada categoría de densidad aparente, se realizó un análisis gráfico de residuos para determinar el comportamiento de éstos con respecto a la densidad aparente estimada.

Finalmente, se determinó el tipo de sesgo de cada función escogida, utilizando la metodología descrita por Vallejos (1979). Una vez clasificado el tipo de sesgo se procedió a determinar la exactitud de las funciones a través del test de Freese (Freese, 1960), para posteriormente eliminar la acción del sesgo empleando el procedimiento de predicción inversa descrito por Ostle (1981) y entregar las funciones corregidas para cada categoría de densidad aparente.

3.2.2 Variación de la densidad aparente entre categorías y niveles de altura

Para verificar la existencia de diferencias significativas en la variación media de la densidad aparente - expresada en porcentaje- entre el inicio y el final del periodo de estudio, tanto para las distintas categorías de densidad aparente inicial consideradas, como entre distintos niveles de altura dentro de cada categoría, se realizó una dócima de igualdad de medias mediante análisis de varianza (prueba F). En caso de existir diferencias significativas entre algunas de las medias, se utilizó el test de Scheffé y el test de Tukey con corrección de Kramer para las comparaciones múltiples (Steel y Torrie, 1985).

IV RESULTADOS Y DISCUSION.

4.1 Comportamiento de la Densidad Aparente

Al aplicar la prueba de Bartlett se comprobó la existencia de homocedasticidad en la densidad aparente real para las seis categorías de densidad aparente inicial, considerando las variables independientes T, T² y T³ (Tabla 9).

TABLA 9. TEST DE BARTLETT APLICADO A LA DENSIDAD APARENTE REAL PARA CADA CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE.

VARIABLE INDEPEND	CHI CUADRADO	CATEGORIA					
		R1	R2	R3	R4	T1	T2
T	muestral	4,90*	8,02*	3,35*	0,87*	9,25*	2,30*
	tabla	9,49					
T ²	muestral	5,19*	8,28*	5,24*	6,37*	9,30*	6,17*
	tabla	9,49					
T ³	muestral	6,50*	1,31*	4,30*	6,03*	7,70*	2,93*
	tabla	7,81					

*: Varianzas homogéneas ($p \leq 0,05$)

Cuando la variable dependiente fue logaritmo natural de la densidad aparente se detectó heterocedasticidad con respecto a las variables explicatorias $1/T+1$ y $1/T$ para las categorías R3 y T2, y en la variable $1/T$ para la

categoría R4 (Tabla 10).

TABLA 10. TEST DE BARTLETT APLICADO AL LOGARITMO NATURAL DE LA DENSIDAD APARENTE REAL PARA CADA CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE.

VARIABLE INDEPEND	CHI CUADRADO	CATEGORIA					
		R1	R2	R3	R4	T1	T2
T	muestral	4,76*	7,43*	2,88*	1,08*	8,89*	2,13*
	tabla	9,49					
1/T+1	muestral	2,36*	5,24*	8,18	7,22*	7,46*	11,79
	tabla	7,81					
1/T	muestral	1,32*	4,81*	10,45	9,69	5,68*	11,08
	tabla	9,49					

*: Varianzas homogéneas ($p \leq 0,05$)

Para los casos anteriores no es aplicable el método de mínimos cuadrados ordinarios por lo que se eliminan de análisis posteriores las posibles relaciones entre las citadas variables. Según Vallejos (1990) y Emanuelli (1991), la existencia de homocedasticidad se debería al reducido tamaño de la muestra, ya que en muestras pequeñas la prueba de Bartlett disminuye su potencia en relación a muestras grandes.

Una vez ajustados los modelos se aplicó la prueba de correlación de rango de Spearman para cada modelo y cada categoría de densidad aparente inicial (Tabla 11).

TABLA 11. PRUEBA DE CORRELACION DE RANGO DE SPEARMAN APLICADA A LOS MODELOS EN ESTUDIO PARA CADA CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE.

MODELO	t TABLA	t MUESTRAL SEGUN CATEGORIA					
		R1	R2	R3	R4	T1	T2
1	2,080	-1,72	0,69	1,18	1,51	1,83	1,12
2		-2,54*	0,22	0,28	-0,31	0,22	-0,38
3		-3,01*	-0,11	0,05	-0,74	-0,93	-0,18
4		-0,41	0,30	-0,81	-0,45	-1,18	-0,42
5		-0,44	0,39	-0,77	-0,33	-1,44	12,59*
6		-1,22	0,19	11,32*	-0,63	-1,45	-0,22
7		0,11	1,43	1,19	0,94	1,25	0,89
8		-1,72	0,94	1,45	1,84	2,16*	1,33
9		0,16	-2,28*	--	-2,74*	-3,40*	--
10		0,31	-2,50*	--	--	-3,27*	--

*: Heterocedasticidad ($p \leq 0,05$)

Los modelos que presentaron heterocedasticidad se eliminaron del análisis ya que de acuerdo a Gujarati (1981), cuando no se cumple el supuesto de homocedasticidad los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios no son eficientes, subestimándose las varianzas y los errores estandar de los coeficientes al aplicar las fórmulas tradicionales del método, y en consecuencia las pruebas "t" y "F" tienden a exagerar la significancia estadística de los parámetros.

Al aplicar la prueba de Durbin-Watson a los residuos entregados por cada función, se determinó la existencia de correlación serial positiva en los modelos que se indican en la Tabla 12.

TABLA 12. TEST DE DURBIN-WATSON APLICADO A LOS RESIDUOS DE LOS MODELOS AJUSTADOS.

MODELO	K	dl	du	d MUESTRAL SEGUN CATEGORIA					
				R1	R2	R3	R4	T1	T2
1	1	1,26	1,44	1,53	1,26nc	0,76+	0,78+	0,83+	1,00+
2	1			--	1,40nc	0,97+	1,03+	1,11+	1,29nc
3	1			--	1,36nc	1,15+	1,16+	1,40nc	1,44nc
4	2	1,17	1,54	1,75	1,40nc	1,12+	1,09+	1,38nc	1,35nc
5	2			1,71	1,43nc	1,18nc	1,17nc	1,49nc	--
6	2			1,61	1,41nc	--	1,16+	1,53nc	1,43nc
7	3	1,08	1,66	1,96	1,62nc	1,44nc	1,66nc	1,86	1,94
8	1	1,26	1,44	1,54	1,19+	0,72+	0,66+	--	0,92+
9	1			1,87	--	--	--	--	--
10	1			1,87	--	--	--	--	--

+ : Autocorrelación positiva ($p \leq 0,05$).
nc: El test no es concluyente.

Cuando los valores muestrales obtenidos para el test se encuentran en la zona de indecisión, la prueba de Durbin-Watson no es capaz de determinar la presencia de correlación serial positiva ni negativa. Aquellos modelos

que presentaron autocorrelación fueron eliminados del análisis ya que, al igual que cuando no se cumple el supuesto de homocedasticidad, los estimadores de mínimos cuadrados ordinarios no son eficientes si existe autocorrelación de residuos (Gujarati, 1981).

Al realizar el análisis de significancia estadística del modelo general utilizando la prueba "F" se encontró que todos los modelos son significativos. El mayor valor muestral de F lo presentan los modelos 9 y 10 para la categoría R1, el modelo 2 para la categoría R2, 5 para la categoría R3, 7 para la categoría R4 y 3 para las categorías T1 y T2 (Tabla 13).

El análisis de significancia estadística de los coeficientes de regresión de las funciones ajustadas se presenta en la Tabla 14. En cada caso los modelos con coeficientes no significativos fueron eliminados del análisis. Los coeficientes de regresión de la totalidad de las funciones para cada categoría se entregan en el Apéndice 1 (Tablas 1A a 6A).

TABLA 13. TEST F APLICADO A LOS MODELOS.

MODELO	K-1	n-K	F		F MUESTRAL SEGUN CATEGORIA				
			TABLA	R1	R2	R3	R4	T1	T2
1	1	21	4,32	35,64	91,78	--	--	--	--
2	1	21	4,32	--	102,01	--	--	--	123,65
3	1	21	4,32	--	95,26	--	--	116,21	138,30
4	2	20	3,49	21,37	48,67	--	--	52,98	61,32
5	2	20	3,49	20,56	49,90	46,50	39,66	89,39	--
6	2	20	3,49	18,62	48,64	--	--	60,34	65,88
7	3	19	3,13	15,89	36,38	36,76	72,89	49,01	61,72
8	1	21	4,32	35,64	--	--	--	--	--
9	1	21	4,32	48,44	--	--	--	--	--
10	1	21	4,32	48,44	--	--	--	--	--

ns: No significativo ($p \leq 0,05$)

Es posible apreciar que en aquellos modelos lineales simples el coeficiente de regresión es siempre significativo, en contraposición a lo que ocurre con los modelos que tienen un mayor número de variables explicatorias. De acuerdo a esto la variación de la densidad aparente puede ser explicada por una sola variable que es el tiempo de almacenamiento.

TABLA 14. TEST t-STUDENT APLICADO A LOS COEFICIENTES DE REGRESION DE LOS MODELOS EN ANALISIS.

MOD.	t	TAB.	COEF.	t MUESTRAL SEGUN CATEGORIA				
				R1	R2	R3	R4	T1
1	2,080	B1	-5,97*	-9,58*	---	---	---	---
2	2,080	B1	---	-10,10*	---	---	---	-11,12*
3	2,080	B1	---	-9,76*	---	---	-10,78*	-11,76*
4	2,086	B1	-2,75*	-0,16ns	---	---	2,06ns	0,85ns
		B2	1,80ns	-1,36ns	---	---	-3,58*	-2,54*
5	2,086	B1	-3,30*	-1,30ns	0,64ns	-0,47ns	0,98ns	---
		B2	1,63ns	-1,53ns	-3,31*	-3,01*	-3,97*	---
6	2,086	B1	-2,98*	-1,10ns	---	---	1,24ns	-0,06ns
		B2	2,26*	-0,19ns	---	---	-2,66*	-1,44ns
7	2,093	B1	-2,07ns	-1,68ns	-1,85ns	-2,93*	-2,12*	-2,80*
		B2	1,67ns	1,53ns	1,95ns	2,89*	2,27*	2,77*
		B3	-1,49ns	-1,68ns	-2,30*	-3,23*	-2,70*	-3,09*
8	2,080	B1	-5,97*	---	---	---	---	---
9	2,080	B1	6,96*	---	---	---	---	---
10	2,080	B1	6,96*	---	---	---	---	---

* : Significativo ($p \leq 0,05$)

ns: No significativo ($p \leq 0,05$)

En el caso particular de la categoría R3, en la que ninguno de los dos modelos en estudio entregó coeficientes de regresión significativos, se detiene el análisis y se prosigue una vez concluido éste para el resto de las

categorías.

Dentro de las funciones que presentan como variable explicatoria la densidad aparente, para la categoría R1 el modelo 6 presenta el menor EEE (21,98) y a su vez el mayor \bar{R}^2 (0,6154); en el caso de la categoría R2 es el modelo 2 el de menor EEE (25,33) y mayor \bar{R}^2 (0,8212); para la categoría R4 el modelo 7 presenta un EEE de 32,44 y un \bar{R}^2 de 0,9070; en el caso de las categorías T1 y T2 el menor EEE corresponde al modelo 7 (25,59 y 21,80 respectivamente) a su vez que este modelo presenta también los mayores \bar{R}^2 (0,8672 y 0,8920 respectivamente) (Tabla 15). De acuerdo a esto, se preselecciona el modelo 6 para la categoría R1, y se selecciona el modelo 2 para la categoría R2 y el modelo 7 para las categorías R4, T1 y T2.

Para la categoría R1 de los modelos cuya variable dependiente es el logaritmo natural de la densidad aparente $-\ln DA-$, el modelo 9 presenta el menor EEE (0,021) y el mayor \bar{R}^2 (0,6832) (Tabla 16). Estos modelos presentan \bar{R}^2 más altos que aquellos con variable dependiente DA, esto indica una relación lineal más estrecha entre el logaritmo natural de la densidad aparente y alguna transformación del tiempo de almacenamiento, para la categoría R1.

TABLA 15. \bar{R}^2 Y EEE PARA LOS MODELOS CON VARIABLE DEPENDIENTE DENSIDAD APARENTE.

MODELO		CATEGORIA DENSIDAD APARENTE					
		R1	R2	R3	R4	T1	T2
1	\bar{R}^2	0,6070	0,8050	---	---	---	---
	EEE	22,09	26,45	---	---	---	---
2	\bar{R}^2	---	0,8212	---	---	---	0,8478
	EEE	---	25,33	---	---	---	25,88
3	\bar{R}^2	---	0,8111	---	---	0,8397	0,8620
	EEE	---	26,06	---	---	28,11	24,64
6	\bar{R}^2	0,6154	---	---	---	---	---
	EEE	21,98	---	---	---	---	---
7	\bar{R}^2	---	---	---	0,9070	0,8672	0,8920
	EEE	---	---	---	32,44	25,59	21,80

TABLA 16. \bar{R}^2 y EEE PARA LOS MODELOS LOGARITMICOS DE LA CATEGORIA R1.

MODELO	8	9	10
\bar{R}^2	0,6113	0,6832	0,6831
EEE	0,023	0,021	0,021

Al comparar los modelos 6 y 9 que poseen distinta variable dependiente mediante el ECM y el Índice de Furnival se

determinó que es este último el que presenta el menor ECM (1,97 %) y el menor Índice de Furnival (19,70) (Tabla 17). Por lo tanto se selecciona el modelo 9 para la categoría R1, ya que presenta los mejores indicadores estadísticos.

TABLA 17. ESTADIGRAFOS PARA LOS MODELOS PRESELECCIONADOS CON DISTINTA VARIABLE DEPENDIENTE PARA LA CATEGORIA R1.

MODELO	ECM (%)	IF
6	2,14	21,98
9	1,97	19,70

Para la categoría R3 se eligió , de entre aquellos modelos que presentaron autocorrelación de residuos, el modelo 3, ya que entrega el menor ECM (1,91 %) y el mayor \bar{R}^2 (0,8111), y el menor Índice de Furnival (25,00) (Tabla 18).

Seleccionado este modelo, se procedió a eliminar el efecto de la autocorrelación utilizando la ecuación de diferencias generalizadas, bajo el supuesto que los residuos siguen un esquema autorregresivo de primer orden (Gujarati, 1981):

$$(Y_t - \tau * Y_{t-1}) = B_0 * (1 - \tau) + B_1 * (X_t - \tau * X_{t-1}) + e_t$$

TABLA 18. ESTADIGRAFOS PARA LOS MODELOS CON AUTOCORRELACION DE RESIDUOS DE LA CATEGORIA R3.

MODELO	t TABLA	t MUESTRAL B1	t B2	EEE	\bar{R}^2	ECM (%)	IF
1	2,080	-7,47*		30,79	0,7135	2,35	30,79
2	2,080	-8,81*		27,17	0,7768	2,08	27,17
3	2,080	-9,77*		25,00	0,8111	1,91	25,00
4	2,086	1,62ns	-3,01*	26,17	0,7931	1,95	26,17
8	2,080	-7,42*		0,025	0,7103	2,39	31,48

* : Significativo ($p \leq 0,05$)

ns: No significativo ($p \leq 0,05$)

La ecuación de diferencias generalizadas permite realizar un análisis de regresión, utilizando el método de mínimos cuadrados ordinarios, en el que tanto la variable dependiente como la variable explicatoria no se encuentran en su forma original sino a la forma de diferencias, que se obtienen restando una proporción del valor de la variable en el periodo anterior al valor de la variable en el periodo actual. La proporción utilizada corresponde al coeficiente de correlación de los residuos (τ). Al obtener estas diferencias se pierde una observación porque la primera observación no tiene un antecesor; para evitar esto, la primera observación es transformada en base al coeficiente de correlación de los residuos. Como rara vez se conoce el valor de este coeficiente de correlación, debe

ser estimado a partir del estadístico Durbin-Watson utilizando la expresión dada por Theil y Nagar (Gujarati, 1981).

De esta forma para la categoría R3 se obtiene la siguiente función:

$$DA^{\circ} = 736,8258 - 0,0067 * T^{\circ}$$

$$r^2 = 0,6406$$

$$t_m = 1,084$$

$$D_m = 2,19$$

con: $DA^{\circ} = DA(T) - 0,4358 * DA(T-1)$

$$T^{\circ} = T^3 - 0,4358 * (T-1)^3$$

Puede verificarse, mediante el test de Durbin-Watson, que esta función de regresión no presenta correlación serial positiva ni negativa ($d_l = 1,24$; $d_u = 1,43$).

Las funciones seleccionadas para cada categoría de densidad aparente inicial se presentan en la Tabla 7A.

Para las funciones seleccionadas tanto en la categoría R2 como para la categoría R4, se realizó un análisis gráfico de los residuos con respecto al tiempo de almacenamiento, ya que para estos dos casos los valores muestrales de la prueba de Durbin-Watson se encuentran en la zona de

indecisión. En ambos casos el análisis gráfico permite señalar que no se presenta correlación serial positiva ni negativa entre los residuos (figura 1A y figura 2A).

Para todas las funciones seleccionadas se realizó un análisis del comportamiento de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada, determinándose que estos se distribuyen aleatoriamente, no evidenciándose heterocedasticidad tal como lo indicaran las pruebas realizadas (figura 3A a figura 8A).

A través de la prueba t-Student realizada al intercepto y al coeficiente de regresión del ajuste entre la densidad aparente estimada y la densidad aparente real, se comprobó que los modelos seleccionados para las categorías R2, R4, T1 y T2 presentan sesgo constante, mientras que los modelos seleccionados para las categorías R1 y R3 presentan sesgo variable (Tabla 19).

TABLA 19. PRUEBA t-STUDENT APLICADA A LA CONSTANTE (B0) Y AL COEFICIENTE DE REGRESION (B1) PARA CLASIFICACION DE SESGO.

CATEGORIA DENS. APAR.	G.L.	t(B0) MUESTRAL	t(B1) MUESTRAL	t TABLA
R1	21	4799,25 *	-3,02 *	2,080
R2	21	26,26 *	-2,07 ns	2,080
R3	20	52,44 *	-2,26 *	2,086
R4	21	8,82 *	-1,36 ns	2,080
T1	21	21,22 *	-1,66 ns	2,080
T2	21	28,98 *	-1,49 ns	2,080

*: Significativo ($p \leq 0,05$)
 ns: No significativo ($p \leq 0,05$)

Aplicando el test de Freese, de acuerdo al tipo de sesgo detectado para cada categoría, se determinó que los modelos poseen un error máximo inferior a 5,30 % (Tabla 20). De acuerdo a esto se aplicó el procedimiento de predicción inversa (Ostle, 1981) para eliminar la acción del sesgo en cada caso.

TABLA 20 . ERROR MAXIMO EN LOS MODELOS SELECCIONADOS
PARA CADA CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE.

CATEGORIA	ERROR MAXIMO CALCULADO (%)
R1	0,40
R2	3,97
R3	5,29
R4	3,88
T1	3,27
T2	2,33

Las funciones corregidas para cada rango de densidad aparente son las que se indican en la Tabla 8A.

La gráfica de cada una de estas funciones se presentan en las figuras 9A a 14A.

Para la categoría R1, madera pulpable proveniente de raleo y de más baja densidad aparente inicial, se aprecia gráficamente que la densidad aparente decrece en forma exponencial con respecto al tiempo de almacenamiento, produciéndose una rápida disminución de la densidad entre la octava y decimoquinta semana de almacenamiento para

posteriormente tender a estabilizarse (figura 9A). Distinta es la situación para la madera de densidad aparente inicial intermedia y procedente de raleo -categorías R2 y R3- en las cuales el decrecimiento de la densidad aparente es lento entre la octava y decimosexta semana de almacenamiento para posteriormente acentuarse hasta el final del periodo de estudio (figuras 10A y 11A).

Para las categorías con madera pulpable de mayor densidad aparente inicial, tanto la procedente de raleo -categoría R4- como las de tala rasa -categorías T1 y T2-, la densidad aparente presenta un comportamiento sigmoideo con respecto al tiempo de almacenamiento, produciéndose entre la octava y decimoquinta semana un rápido decrecimiento, el que se atenúa entre la decimoquinta y vigésimotercera semana, para posteriormente, entre la vigésimotercera y trigésima semana de almacenamiento, aumentar nuevamente (figuras 12A a 14A). Si se analiza este comportamiento en conjunto con los antecedentes climáticos presentados en el Anexo , es posible explicar la fuerte pendiente de la curva, tanto entre la octava y decimoquinta semana (otoño), como entre la vigésimotercera y trigésima semana (fines de invierno-inicio primavera), por condiciones ambientales favorables para la deshidratación natural de la madera, esto es altas temperaturas y baja pluviometría. En forma

análoga, la pendiente más suave de las semanas intermedias corresponde a un periodo de bajas temperaturas y alta precipitación (invierno). La tasa de disminución, tanto al principio como al final del periodo de estudio, es siempre mayor en el caso de la madera proveniente de raleo con respecto a aquella que proviene de tala rasa.

De acuerdo a las funciones obtenidas, se puede determinar que la madera pulpable, ingresada a cancha en el mes de febrero, proveniente de raleo, con una densidad aparente entre 1.000 y 1.100 kg/mr -categoría R1-, alcanza la densidad límite de 1.000 kg/mr después de la decimoprimer semana de almacenamiento, la madera correspondiente a la categoría de 1.400 a 1.500 kg/mr -categoría R2- después de la vigésima semana, mientras que la madera de los rangos superiores (1.500 a 1.600 kg/mr y 1.600 a 1.700 kg/mr) no alcanza el valor límite dentro del periodo de estudio. Para madera proveniente de tala rasa, correspondiente al rango de 1.600 a 1.650 kg/mr -categoría T1-, el valor crítico se alcanza después de la vigésimonovena semana de almacenamiento, mientras que para la categoría de 1.650 a 1.700 kg/mr -categoría T2-, no se alcanza este valor límite dentro del periodo de estudio.

Si bien las funciones seleccionadas predicen satisfactoriamente, desde el punto de vista estadístico, el comportamiento de la densidad aparente a través del tiempo de almacenamiento, resulta prudente en términos prácticos, no basarse en los valores obtenidos directamente a partir de estas funciones, sino utilizar aquellos comprendidos entre la curva ajustada y el límite inferior de su intervalo de confianza, para un nivel de significancia del 5 %, a fin de mantener un margen de seguridad que permita el despacho oportuno de la madera a fábrica desde la cancha.



4.2 Variación de la densidad aparente entre categorías y niveles de altura.

4.2.1 Variación de la densidad aparente entre categorías.

La variación promedio -disminución- de la densidad aparente, para cada categoría, entre la octava y trigésima semana de almacenamiento, se presenta en la Tabla 21, expresada en porcentaje con respecto al valor inicial (octava semana).

TABLA 21. VARIACION PROMEDIO DE LA DENSIDAD APARENTE SEGUN CATEGORIA.

CATEGORIA	VARIACION (%)	DESV. EST. (%)	TAMANO MUESTRA
R1	10,14	6,25	21
R2	16,96	8,62	21
R3	14,00	6,92	19
R4	25,87	11,30	21
T1	18,83	9,94	20
T2	16,38	6,44	20

Se comprobó, mediante el test de Bartlett, que no se cumple el supuesto de homogeneidad de varianzas ($X^2_{muestral} = 11,66$; $X^2_{tabulado} = 9,49$). Sin embargo, dado que se usó el test de Scheffé en las comparaciones múltiples, es posible realizar la dódima de medias ya que la prueba utilizada

presenta la ventaja de ser muy poco afectada si no se cumplen los supuestos de normalidad y homogeneidad de varianzas (Guenther, 1964). Realizada la d6cima de igualdad de medias, mediante una prueba F, se estableci6 que existe diferencia significativa entre al menos dos de las medias en estudio ($F_{muestral} = 8,02$; $F_{tabulado} = 2,29$). Las diferencias entre las respectivas variaciones promedio se muestran en la Tabla 22 y los valores criticos de la prueba de Scheff6 en la Tabla 23.

TABLA 22. DIFERENCIAS ENTRE LAS VARIACIONES PROMEDIO DE LA DENSIDAD APARENTE, PARA LAS DISTINTAS CATEGORIAS.

CATEG.	X_j (%)	$X_j - X_6$ (%)	$X_j - X_5$ (%)	$X_j - X_4$ (%)	$X_j - X_3$ (%)	$X_j - X_2$ (%)
X1 R4	25,87	15,73	11,87	9,49	8,91	7,04
X2 T1	18,83	8,69	4,83	2,45	1,87	--
X3 R2	16,96	6,82	2,96	0,58	--	
X4 T2	16,38	6,24	2,38	--		
X5 R3	14,00	3,86	--			
X6 R1	10,14	--				
		(1)	(2)	(3)	(4)	(5)

TABLA 23. VALORES CRITICOS PARA LA PRUEBA DE SCHEFFE
($p \leq 0,05$).

CATEGORIA	SCH(1)	SCH(2)	SCH(3)	SCH(4)	SCH(5)
R4	8,87	9,10	8,98	8,87	8,98
T1	8,98	9,20	9,08	8,98	--
R2	8,87	9,10	8,98	--	
T2	8,98	9,20	--		
R3	9,10	--			
R1	--				

De acuerdo a los valores presentados en las tablas 22 y 23, se verifica que el porcentaje promedio de disminución de la densidad aparente es significativamente mayor para la categoría R4, con respecto al resto de las categorías, exceptuando la categoría T1. Entre las demás categorías no se detectó evidencia de diferencia significativa. Sin embargo, es posible apreciar que para el caso de la madera pulpable proveniente de raleo hay tendencia a menor variación mientras menor es la densidad aparente inicial, en cambio para la madera pulpable proveniente de tala rasa ocurre lo inverso, es decir, menor variación en la medida que aumenta la densidad aparente inicial.

4.2.2 Variación de la densidad aparente entre niveles de altura en la ruma.

La variación promedio que experimentó la densidad aparente de los rollizos, entre la octava y trigésima semana de almacenamiento, para los distintos niveles de altura, se presenta en la Tabla 24, expresada como porcentaje con respecto al valor inicial (octava semana).

TABLA 24. VARIACION PROMEDIO DE LA DENSIDAD APARENTE PARA DISTINTOS NIVELES DE ALTURA, SEGUN CATEGORIA.

NIVEL	ALTURA (m)		VARIACION (%) SEGUN CATEGORIA					
			R1	R2	R3	R4	T1	T2
0,0	Media	12,91	23,62	15,11	30,54	18,66	18,81	
	Desv.	5,92	11,41	8,54	12,89	10,40	9,13	
	n	3	3	3	3	3	3	
0,5	Media	12,33	11,63	18,52	23,88	16,10	19,95	
	Desv.	7,26	6,50	6,95	14,11	5,85	7,64	
	n	3	3	3	3	3	3	
1,0	Media	15,45	25,58	12,63	34,00	28,08	11,01	
	Desv.	8,81	6,69	12,51	13,83	7,98	3,04	
	n	3	3	3	3	3	3	
1,5	Media	7,36	22,46	11,58	31,15	26,15	13,25	
	Desv.	4,55	5,92	3,77	11,70	6,94	5,93	
	n	3	3	3	3	3	3	
2,0	Media	7,65	11,82	13,20	20,51	13,70	17,31	
	Desv.	5,10	5,16	5,56	8,28	10,14	5,83	
	n	9	9	7	9	8	8	

La homogeneidad de varianzas se probó utilizando el test de Bartlett, verificándose que se cumple dicho supuesto para un nivel de confianza del 95 % (Tabla 25).

TABLA 25. VALORES MUESTRALES Y CRITICO DE LA PRUEBA DE BARTLETT PARA HOMOGENEIDAD DE VARIANZAS.

CHI-CUADRADO	R1	R2	CATEGORIA		T1	T2
			R3	R4		
Muestral	1,35*	2,26*	3,20*	1,49*	0,99*	2,02*
Tabulado	9,49					

* : varianzas homogéneas ($p \leq 0,05$)

Realizada la d6cima de igualdad de medias para cada categor6a, mediante una prueba F, se estableci6 que s6lo para la categor6a R2 existe diferencia significativa entre al menos dos de los niveles de altura considerados (Tabla 26).

TABLA 26. VALOR MUESTRAL, GRADOS DE LIBERTAD Y VALOR TABULADO PARA LA PRUEBA DE IGUALDAD DE MEDIAS ENTRE LOS DISTINTOS NIVELES DE ALTURA, SEGUN CATEGORIA.

CATEGORIA	F muestral	GRADOS DE LIBERTAD		F tabulado
		f1	f2	
R1	1,39	4	16	3,01
R2	3,96*	4	16	3,01
R3	0,42	4	14	3,11
R4	1,28	4	16	3,01
T1	1,98	4	15	3,06
T2	1,10	4	15	3,06

* : significativo ($p \leq 0,05$)

Las diferencias entre las respectivas variaciones promedio para la categoria R2, se presentan en la Tabla 27 y los valores criticos para la prueba de Scheffé en la Tabla 28.

TABLA 27. DIFERENCIAS ENTRE LAS VARIACIONES PROMEDIO DE LA DENSIDAD APARENTE A DISTINTOS NIVELES DE ALTURA. CATEGORIA R2.

	NIVEL ALTURA	Xj (%)	Xj-X5 (%)	Xj-X4 (%)	Xj-X3 (%)	Xj-X2 (%)
X1	1,0 m	25,58	13,95	13,76	3,12	1,96
X2	0,0 m	23,62	11,99	11,80	1,16	---
X3	1,5 m	22,46	10,83	10,64	---	---
X4	2,0 m	11,82	0,19	---	---	---
X5	0,5 m	11,63	---	(1)	(2)	(3)
			(1)	(2)	(3)	(4)

TABLA 28. VALORES CRITICOS PARA LA PRUEBA DE SCHEFFE
($p \leq 0,05$). CATEGORIA R2.

NIVEL ALTURA	SCH(1)	SCH(2)	SCH(3)	SCH(4)
1,0 m	19,75	16,12	19,75	19,75
0,0 m	19,75	16,12	19,75	---
1,5 m	19,75	16,12	---	
2,0 m	16,12	---		
0,5 m	---			

De acuerdo a los valores de las Tablas 27 y 28, para la categoría R2 no existe evidencia de diferencia significativa en la variación media de la densidad aparente a distintas alturas en la ruma. Esto se debe a que la prueba de Scheffé entrega valores críticos altos siendo, en consecuencia, una prueba prudente y de bajo poder (Steel y Torrie, 1985).

En la Tabla 29 se entregan los valores críticos de la prueba de Tukey con corrección de Kramer para comparaciones múltiples.

TABLA 29. VALORES CRITICOS DE LA PRUEBA DE TUKEY CON CORRECCION DE KRAMER. CATEGORIA R2.

NIVEL ALTURA	TCK(1)	TCK(2)	TCK(3)	TCK(4)
1,0 m	16,31	13,31	16,31	16,31
0,0 m	16,31	13,31	16,31	---
1,5 m	16,31	13,31	---	
2,0 m	13,31	---		
0,5 m	---			

Según estos valores, para la categoría R2 existe evidencia de diferencia significativa en el porcentaje promedio de disminución de la densidad aparente, entre el nivel de altura de 1,0 m y el nivel de 2,0 m sobre el suelo. De acuerdo a los valores muestrales, para ésta categoría, la disminución de la densidad aparente es mayor en el nivel 1,0 m sobre el suelo que en el nivel 2,0 m sobre el suelo.

Si bien sólo en la categoría R2 efectivamente se detecta evidencia de diferencia significativa en la variación de la densidad aparente a distintos niveles de altura, en general hay tendencia a una mayor variación en los niveles medios de la ruma (entre 0,5 y 1,0 metros), detectándose las menores variaciones en los niveles superiores; esto puede deberse a que la madera del nivel superior, si bien está

expuesta a mejores condiciones de aireación que el resto de la ruma, se hidrata en forma natural en un mayor grado que el resto de la madera de la ruma, con la humedad proveniente de las precipitaciones. La madera del nivel inferior, en tanto, presenta una variación intermedia en la densidad aparente.



V CONCLUSIONES

1. La relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento, para madera pulpable de Pinus radiata D. Don, es explicada, según categoría de densidad aparente inicial, por los modelos que se indican:

- $DA = \exp (B_0 + B_1 \cdot (1/T+1))$ Categoría R1
- $DA = B_0 + B_1 \cdot T^2$ Categoría R2
- $DA = B_0 + B_1 \cdot T^3$ Categoría R3
- $DA = B_0 + B_1 \cdot T + B_2 \cdot T^2 + B_3 \cdot T^3$ Categorías R4, T1 y T2

Las funciones de regresión obtenidas para la densidad aparente, expresada en kg/mr, permiten hacer estimaciones confiables de esta variable con respecto al tiempo de acopio, expresado en semanas.

2. La madera con densidad aparente inicial sobre 1.500 kg/mr, tanto de raleo como de tala rasa, al cabo de 28 semanas de almacenamiento no alcanza el valor límite inferior de 1.000 kg/mr fijado para la recepción en fábrica.

3. La variación de la densidad aparente, entre la octava y trigésima semana de almacenamiento, es significativamente mayor para la madera proveniente de raleo con densidad

aparente inicial entre 1.600 y 1.700 kg/m³, con respecto al resto de las categorías, exceptuando la categoría T1. Entre las demás categorías no se detectó evidencia de diferencia significativa.

4. Para la madera proveniente de raleo con densidad aparente inicial entre 1.400 y 1.500 kg/m³, la variación de la densidad aparente es significativamente mayor en el nivel de altura 1,0 m sobre el suelo con respecto al nivel 2,0 m sobre el suelo. Entre los restantes niveles de altura no se detectó evidencia de diferencia significativa para ésta categoría, así como tampoco entre los niveles de altura de las demás categorías.

5. Se recomienda utilizar en la predicción de la densidad aparente a través del tiempo de acopio, los valores dados por el rango comprendido entre la curva ajustada y el límite inferior de su intervalo de confianza, para un nivel de significancia del 5 %.

VI RESUMEN

Se construyeron funciones que describen el comportamiento de la densidad aparente, con respecto al tiempo de almacenamiento, para rollizos pulpables de Pinus radiata D. Don almacenados en cancha Galvarino, del Departamento Compras de Madera de Forestal Mininco S. A., ubicada en la Provincia de Cautín, IX Región. Se probaron diez modelos de regresión, para seis categorías distintas de densidad aparente de ingreso a cancha, seleccionándose en cada caso aquel que entregó la mejor bondad de ajuste en base a los estadígrafos: error estandar de estimación, R^2 ajustado, error cuadrático medio e índice de Furnival. Todas las funciones seleccionadas presentan un error máximo inferior al 5,3 % a un nivel de significancia del 5 %.

Se determinó que la disminución de la densidad aparente es significativamente mayor para la madera proveniente de raleo con densidad aparente inicial de 1.600 a 1.700 kg/mr con respecto a las restantes categorías, exceptuando la categoría de tala rasa con densidad aparente inicial de 1.650 a 1.700 kg/mr.

Sólo para la madera proveniente de raleo con densidad aparente entre 1.400 a 1.500 kg/mr, la disminución de la

densidad aparente es significativamente mayor a 1,0 m sobre el suelo con respecto al nivel de altura 2,0 m sobre el suelo.



VII SUMMARY

Functions were constructed to describe the apparent density behavior in relation to the period of storage, for the Pinus radiata D. Don pulpwood piled up on Galvarino log storage field, property of Forestal Mininco Wood Purchase Department S. A., located in Cautin Province, IX Region Chile. Ten regression models were tested for six different categories of apparent density of ingress to log storage field, and was selected in each case the best evaluating the goodness of fit for each model by: standard error of the estimate, R^2 adjust, quadratic error mean and Furnival index. All the selected functions allow 5.3 % maximum inferior error at 5 % significance level.

This study determined that the apparent density decrease is significantly higher from thinning with an initial apparent density from 1,600 to 1,700 kg/mr in relation to the remaining categories, with the exception of the felling category with an initial apparent density of 1,650 to 1,700 kg/mr.

Only wood obtained from thinning with apparent density between 1,400 to 1,500 kg/mr, the apparent density decrease is significantly higher 1.0 m above ground level in relation to 2.0 m height above ground.

VIII BIBLIOGRAFIA

1. Celis N., V. y M. A. Fernández. 1987. Efecto de la densidad de la madera en la aptitud pulpable del Pino radiata. EN: III Jornadas Técnicas de la Celulosa y el Papel. Optimización de procesos. Nuevas estrategias de control y simulación. 17-22 de Agosto. Asociación Técnica de la Celulosa y el Papel. Concepción, Chile.
2. Cunia, T. 1964. Weighted least squares method and construction of volume tables. For. Sci. 10: 180-191.
3. De Los Santos, A. 1968. Parques de madera en las fábricas de celulosa. Instituto Forestal de Investigaciones y Experiencias. Dirección General de Montes, Caza y Pesca Fluvial. Ministerio de Agricultura. Madrid, España.
4. Emanuelli, P. R. 1991. Funciones locales de volumen y ecuaciones de crecimiento para un rodal de Pino oregón (Pseudotsuga menziesii (Mirb.) Franco) establecido en la precordillera andina de la provincia de Bio Bio. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Fac. Cienc. Agron., Vet. y For. Chillán, Chile.

5. Freese, F. 1960. Testing accuracy. For. Sci. 6: 139-145.
6. Furnival, G. M. 1961. An index for comparing equations used in constructing volume tables. For. Sci. 7: 337-341.
7. González, J. y J. Molina, 1989. Consideraciones sobre los tratamientos silviculturales y los rendimientos cuantitativos y cualitativos en madera pulpable de Pino radiata. Chile Forestal (163): Documento Técnico Nº 38.
8. Guenther, C. W. 1964. Analysis of Variance. (2a Ed.). Prentice-Hall. N. J. , U.S.A.
9. Gujarati, D. 1981. Econometría Básica. McGraw-Hill Latinoamericana. Bogotá, Colombia.
10. Loetsch, F., Zohrer, F. and K. E. Haller. 1973. Forest inventory. Vol 2. (2a. Ed.). BLV Verlagsgesellschaft. Munchen.
11. Mountain, H. S. 1949. Determining the solid wood volume of four pulpwood stacks. J. For. 47: 627-631.

12. Novoa, L. P. 1982. Aplicación de métodos fotográficos en la determinación del volumen de madera arrumada de *Pinus radiata* D. Don. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Fac. Cienc. Agron., Vet. y For. Chillán, Chile.
13. Novoa, R. , S. Villaseca, P. del Canto, J. Rouanet, C. Sierra y A. del Pozo. 1989. Mapa agroclimático de Chile. Ministerio de Agricultura, INIA. Santiago, Chile.
14. Ostle, B. 1981. Estadística Aplicada: Técnicas de la estadística moderna, cuando y donde aplicarlas. (7a. Ed.). Editorial Limusa. México.
15. Pérez, V. A. y J. Cabrera. 1987. Incidencia de la edad del árbol sobre las propiedades físicas y mecánicas del Pino radiata. Chile For. 136: 26-28.
16. Ramírez A., M. 1970. El metro-ruma - Variables que afectan su rendimiento en madera sólida. Tesis. de Grado. Universidad de Chile. Fac. Agron. Esc. Ing. For. Santiago, Chile.

17. Rodríguez, A. y B. Salazar. 1987. Compra de madera por tramos de precios diferenciados. Compañía Manufacturera de Papeles y Cartones S. A. Laja, Chile.(Informe Interno).
18. Snedecor, G. W. y W. Cochran. 1981. Métodos estadísticos. Compañía Editorial Continental. México.
19. Steel, R.G.D. y J. Torrie. 1985. Bioestadística: Principios y procedimientos. (2a. Ed.). McGraw-Hill. México.
20. Vallejos, O. 1990. Análisis y construcción de funciones locales de volumen para la especie Eucalyptus globulus (Lab.) presente en la hacienda Laguna de Cauquenes. Tesis de Grado. Universidad de Concepción. Fac. Cienc. Agron., Vet. y For. Chillán, Chile.
21. Vallejos, S. J. 1979. Un método para evaluar la exactitud de la función de volumen. Inf. Téc. N°75. INFOR-CORFO. Santiago, Chile.

APENDICE 1 : TABLAS



TABLA 1 A. COEFICIENTES DE REGRESION PARA LOS MODELOS ANALIZADOS EN LA DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD APARENTE. CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE R1.

MODELO	COEFICIENTES			R ²	EEE	F	
	B0	B1	B2				B3
1	1035,689	-4,146		0,6294	22,088	35,64	
2	998,126	-0,1018		0,5608	24,045	26,83	
3	985,355	-0,00303		0,4947	25,792	20,52	
4	1099,462	-11,791	0,2012	0,6812	20,991	21,37	
5	1076,478	-7,875	0,00321	0,6727	21,270	20,56	
6	1030,469	-0,4103	0,00989	0,6504	21,983	18,62	
7	1249,157	-39,841	1,7937	-0,02793	0,7147	20,376	15,89
8	6,94457	-0,00429		0,6290	0,0229	35,64	
9	6,78583	1,35657		0,6976	0,0206	48,44	
10	6,79122	1,17838		0,6975	0,0206	48,44	

TABLA 2 A. COEFICIENTES DE REGRESION PARA LOS MODELOS ANALIZADOS EN LA DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD APARENTE. CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE R2.

MODELO	COEFICIENTES				R ²	EEE	F
	B0	B1	B2	B3			
1	1149,084	-7,968			0,8139	26,452	91,78
2	1082,397	-0,2091			0,8293	25,331	102,01
3	1059,558	-0,00660			0,8193	26,065	95,26
4	1089,824	-0,864	-0,1869		0,8295	25,939	48,67
5	1102,853	-3,742	-0,00363		0,8333	25,648	49,90
6	1079,212	-0,1788	-0,00097		0,8296	25,983	48,64
7	1295,444	-39,394	2,0005	-0,03837	0,8516	24,829	36,38
8	7,05687	-0,00806			0,8081	0,0273	88,36
9	6,77746	2,21735			0,6780	0,0353	44,22
10	6,78722	1,91044			0,6670	0,0359	41,99

TABLA 3 A. COEFICIENTES DE REGRESION PARA LOS MODELOS ANALIZADOS EN LA DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD APARENTE. CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE R3.

MODELO	COEFICIENTES			R ²	EEE	F	
	B0	B1	B2				B3
1	1387,985	-7,230		0,7265	30,795	55,80	
2	1329,864	-0,1957		0,7870	27,174	77,62	
3	1310,047	-0,00634		0,8197	25,004	95,45	
4	1255,176	8,690	-0,4190	0,8119	26,170	43,15	
5	1289,016	1,818	-0,00778	0,8233	25,364	46,50	
6	1295,207	0,1350	-0,01059	0,8261	25,162	47,41	
7	1523,921	-41,668	2,4400	-0,05015	0,8528	23,752	36,76
8	7,24179	-0,00586		0,7235	0,0252	55,06	
9	---	---		---	---	---	
10	---	---		---	---	---	

TABLA 4 A. COEFICIENTES DE REGRESION PARA LOS MODELOS ANALIZADOS EN LA DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD APARENTE. CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE R4.

MODELO	COEFICIENTES			R ²	EEE	F	
	B0	B1	B2				B3
1	1542,947	-14,310		0,8320	44,646	104,04	
2	1425,275	-0,3808		0,8713	39,077	142,09	
3	1385,157	-0,01218		0,8832	37,220	158,76	
4	1367,238	6,753	-0,5543	0,8756	39,354	70,41	
5	1408,134	-1,986	-0,01060	0,8845	37,934	39,66	
6	1389,578	-0,040	-0,01091	0,8834	38,112	75,69	
7	1883,221	-89,934	4,9337	-0,09630	0,9197	32,440	72,89
8	7,36294	-0,01151		0,8200	0,0374	95,65	
9	6,96932	3,07035		0,6465	0,0525	38,44	
10	---	---		---	---	---	

TABLA 5 A. COEFICIENTES DE REGRESION PARA LOS MODELOS ANALIZADOS EN LA DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD APARENTE. CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE T1.

MODELO	COEFICIENTES				R ²	EEE	F
	B0	B1	B2	B3			
1	1344,398	-8,901			0,7393	36,693	59,60
2	1273,251	-0,2419			0,8077	31,516	88,17
3	1249,001	-0,00787			0,8470	28,113	116,21
4	1167,303	12,328	-0,5586		0,8412	29,342	52,98
5	1212,863	3,123	-0,01034		0,8541	28,128	89,39
6	1225,256	0,2160	-0,01467		0,8580	27,754	60,34
7	1507,629	-51,444	3,0318	-0,06351	0,8853	25,590	49,01
8	7,21457	-0,00774			0,7324	0,0325	57,46
9	6,95458	1,98330			0,5332	0,0429	24,01
10	6,96374	1,70181			0,5203	0,0435	22,75

TABLA 6 A. COEFICIENTES DE REGRESION PARA LOS MODELOS ANALIZADOS EN LA DESCRIPCION DEL COMPORTAMIENTO DE LA DENSIDAD APARENTE. CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE T2.

MODELO	COEFICIENTES				R ²	EEE	F
	B0	B1	B2	B3			
1	1539,305	-8,827			0,8146	29,238	92,16
2	1466,810	-0,2351			0,8547	25,879	123,65
3	1442,112	-0,00752			0,8683	24,644	130,30
4	1427,826	4,536	-0,3517		0,8598	26,050	61,32
5	1453,665	-0,998	-0,00673		0,8691	25,174	66,25
6	1443,254	-0,010	-0,00720		0,8683	25,25	65,88
7	1759,643	-57,641	3,1783	-0,06192	0,9067	21,802	61,72
8	7,34631	-0,00651			0,8098	0,0219	89,49
9	---	---			---	---	---
10	---	---			---	---	---

TABLA 7A. FUNCIONES SELECCIONADAS PARA CADA CATEGORIA DE DENSIDAD APARENTE INICIAL.

Categoría R1

$$\ln DA = 6,78583 + 1,35657*(1/T+1)$$

$$r^2 = 0,6976$$

Categoría R2

$$DA = 1082,397 - 0,20914*T^2$$

$$r^2 = 0,8293$$

Categoría R3

$$(DA(T)-0,4358*DA(T-1)) = 736,826-0,00607*(T^3-0,4358*(T-1)^3)$$

$$r^2 = 0,6406$$

Categoría R4

$$DA = 1883,221 - 89,9337*T + 4,93489*T^2 - 0,09630*T^3$$

$$r^2 = 0,9197$$

Categoría T1

$$DA = 1507,629 - 51,4438*T + 3,06184*T^2 - 0,06351*T^3$$

$$r^2 = 0,8853$$

Categoría T2

$$DA = 1759,643 - 57,6409*T + 3,17830*T^2 - 0,06192*T^3$$

$$r^2 = 0,9067$$

Donde:

DA: Densidad aparente (kg/mr)

T : Tiempo de almacenamiento (Semanas)

TABLA 8A. FUNCIONES CORREGIDAS DE LA ACCION DEL SESGO PARA CADA RANGO DE DENSIDAD APARENTE INICIAL.

Categoría R1

$$DA = \exp(6,75147 + 1,9446*(1/T+1))$$

Categoría R2

$$DA = 1099,822 - 0,25219*T^2$$

Categoría R3

$$DA = 613,395 - 0,007540*(T^3 - 0,5410*(T-1)^3) + 0,5410*DA(T-1)$$

Categoría R4

$$DA = 1936,764 - 97,7965*T + 5,36634*T^2 - 0,10472*T^3$$

Categoría T1

$$DA = 1550,927 - 58,1614*T + 3,46166*T^2 - 0,07180*T^3$$

Categoría T2

$$DA = 1800,065 - 63,6494*T + 3,50961*T^2 - 0,06837*T^3$$

Donde:

DA: Densidad aparente (kg/mr)

T : Tiempo de almacenamiento (Semanas)

APENDICE 2 ★ : FIGURAS



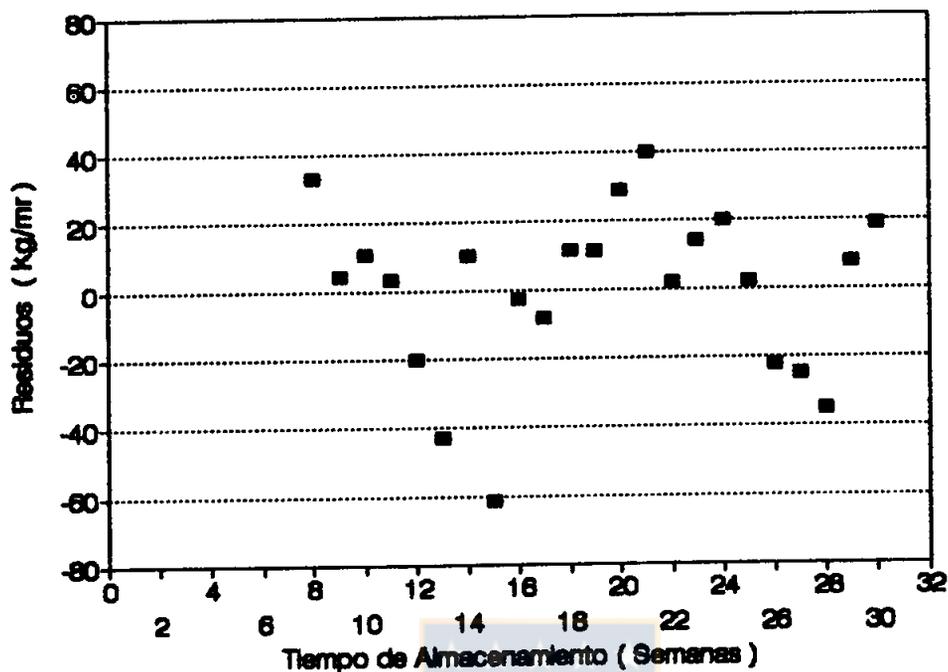


Figura 1A. Distribución de los residuos generados por la función seleccionada para la categoría R2.

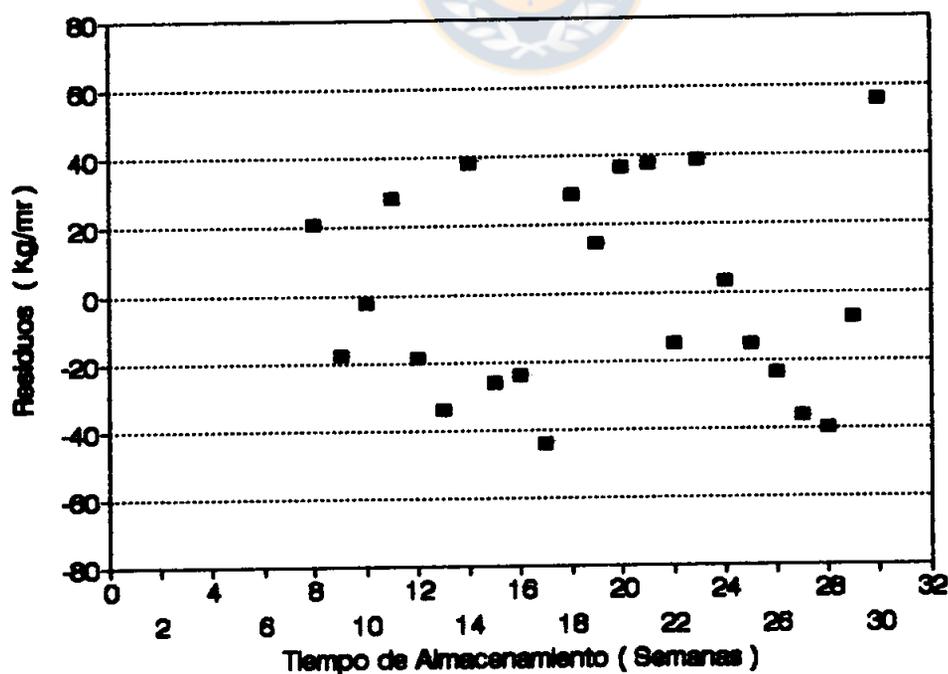


Figura 2A. Distribución de los residuos generados por la función seleccionada para la categoría R4.

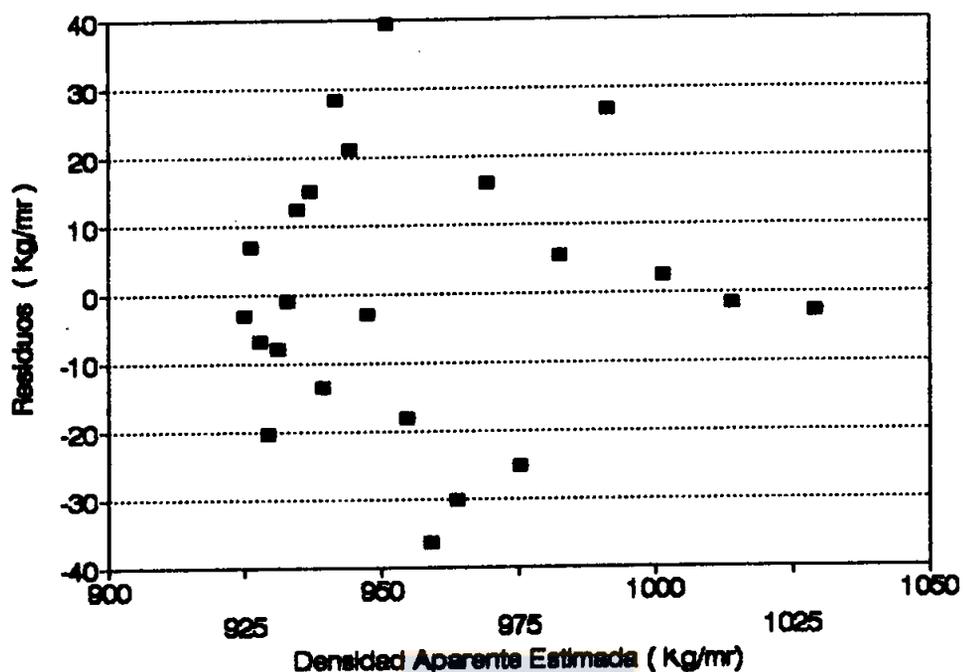


Figura 3A. Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría R1.

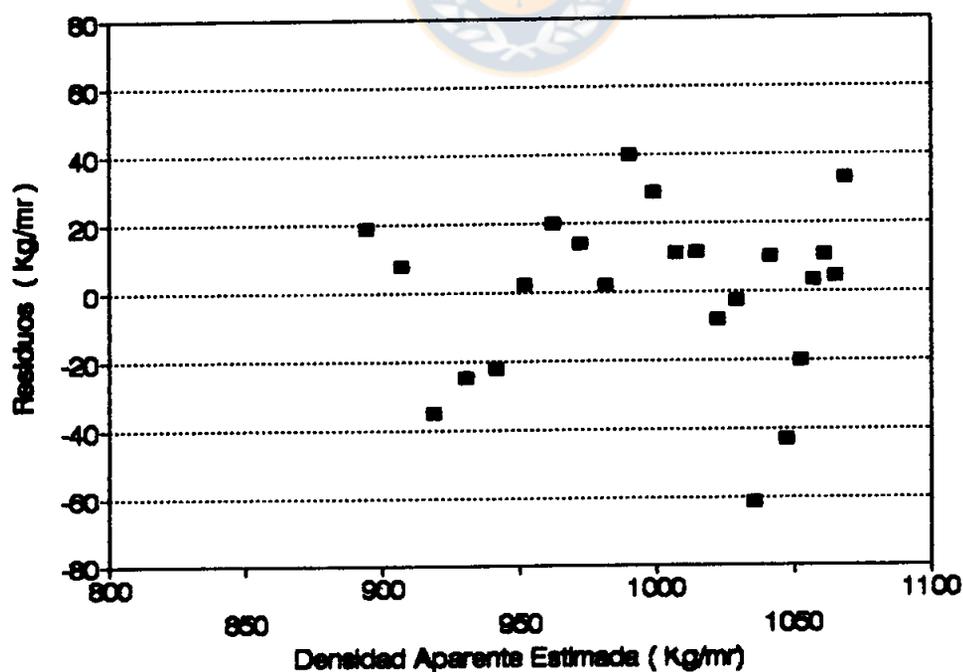


Figura 4A. Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría R2.

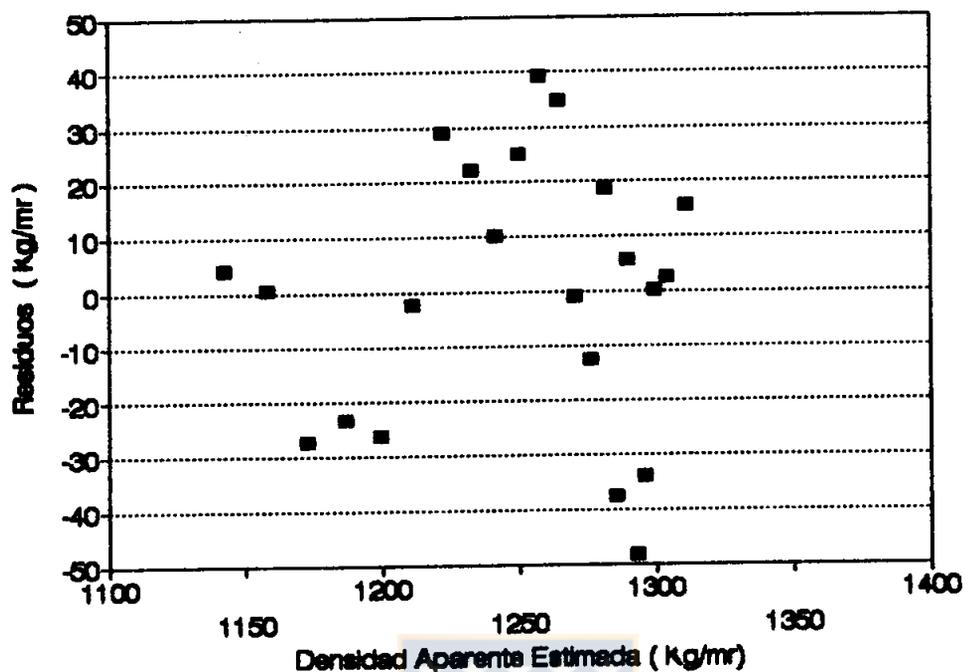


Figura 5A. Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría R3.

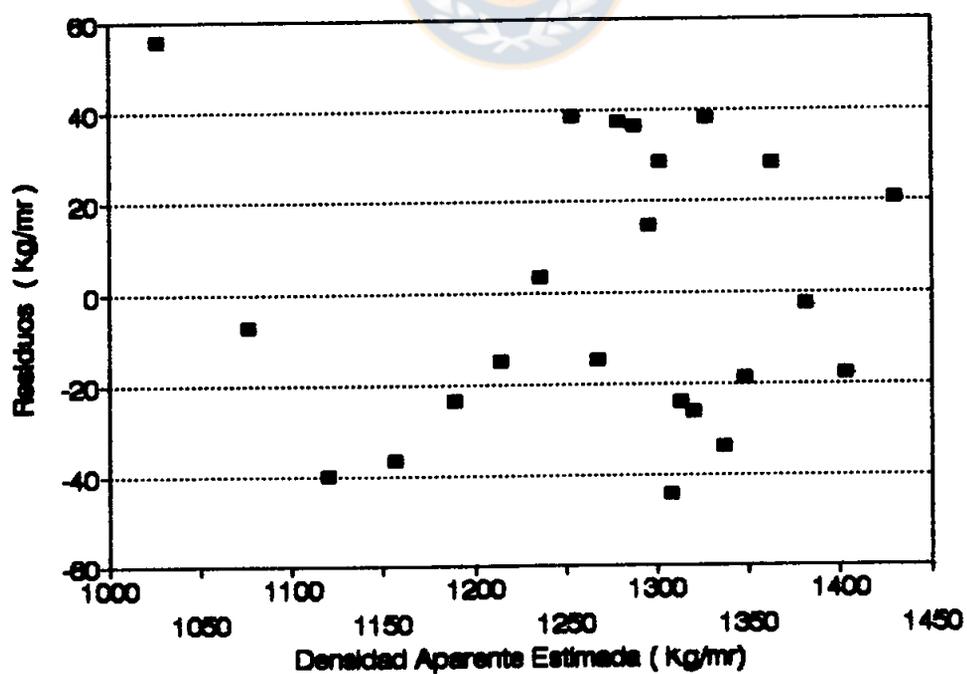


Figura 6A. Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría R4.

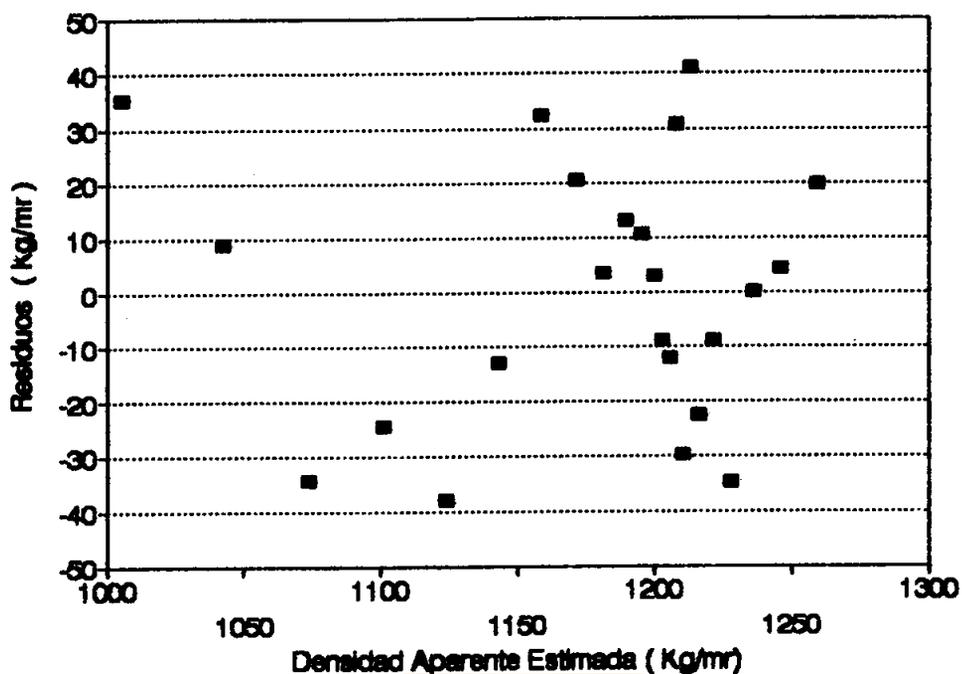


Figura 7A. Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría T1.

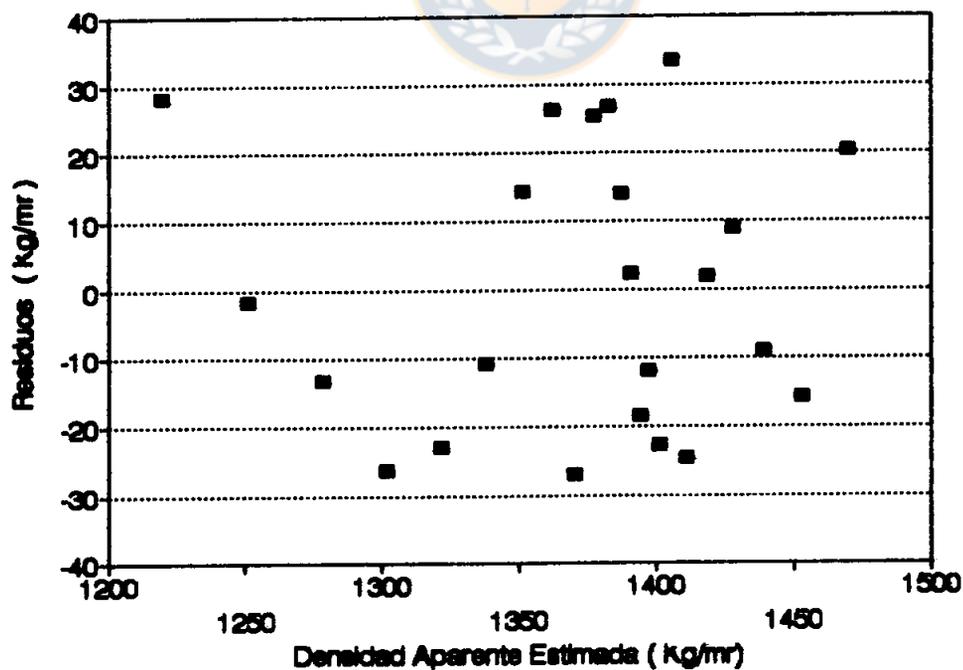


Figura 8A. Distribución de los residuos con respecto a la densidad aparente estimada. Categoría T2.

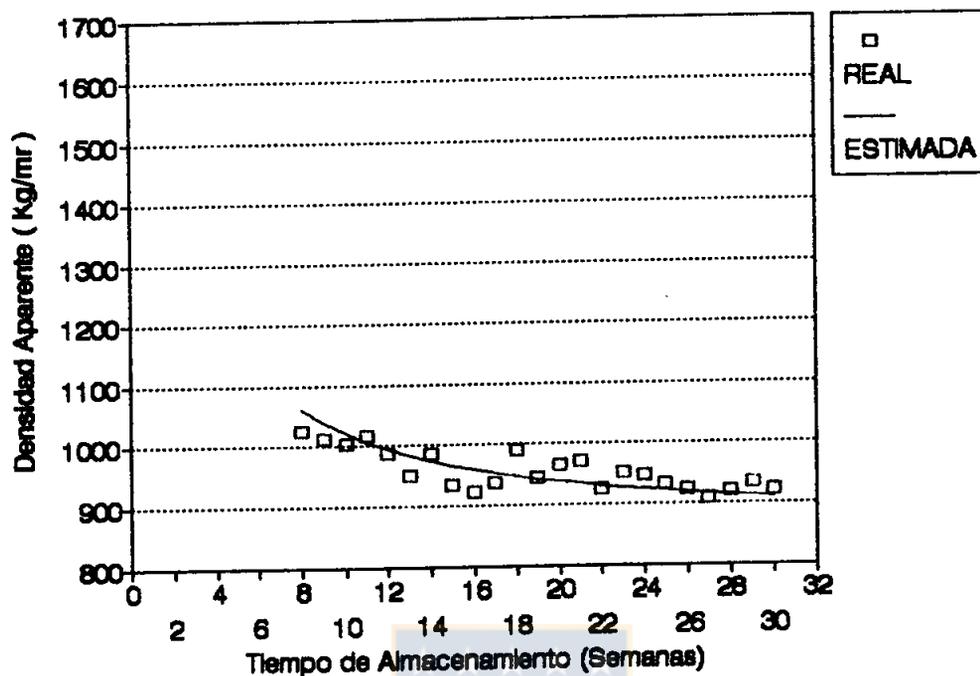


Figura 9A. Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría R1 (Raleo; 1.000-1.100 kg/mr)

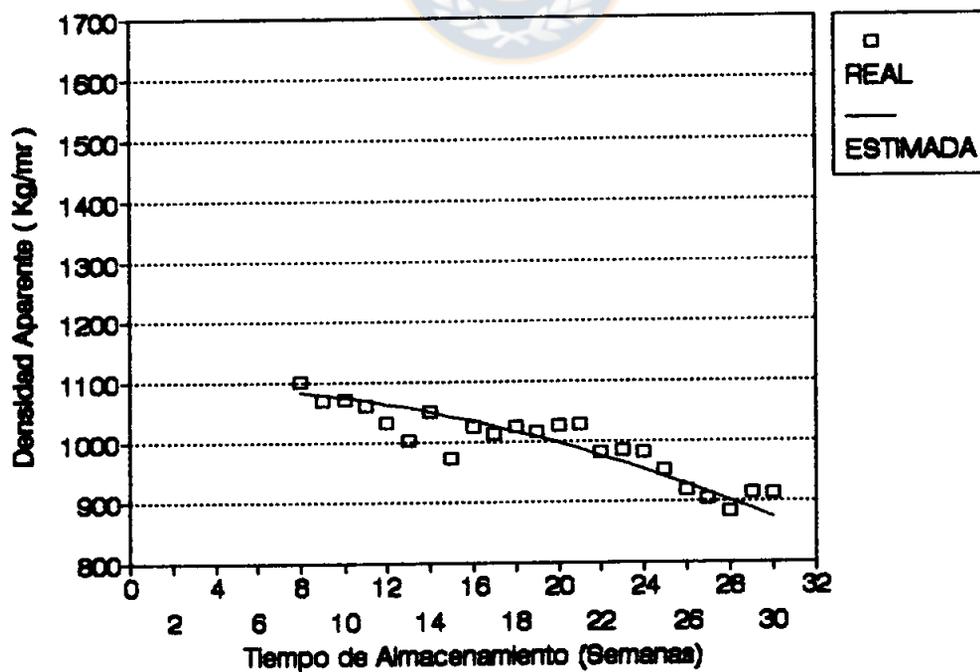


Figura 10A. Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría R2 (Raleo; 1.400-1.500 kg/mr)

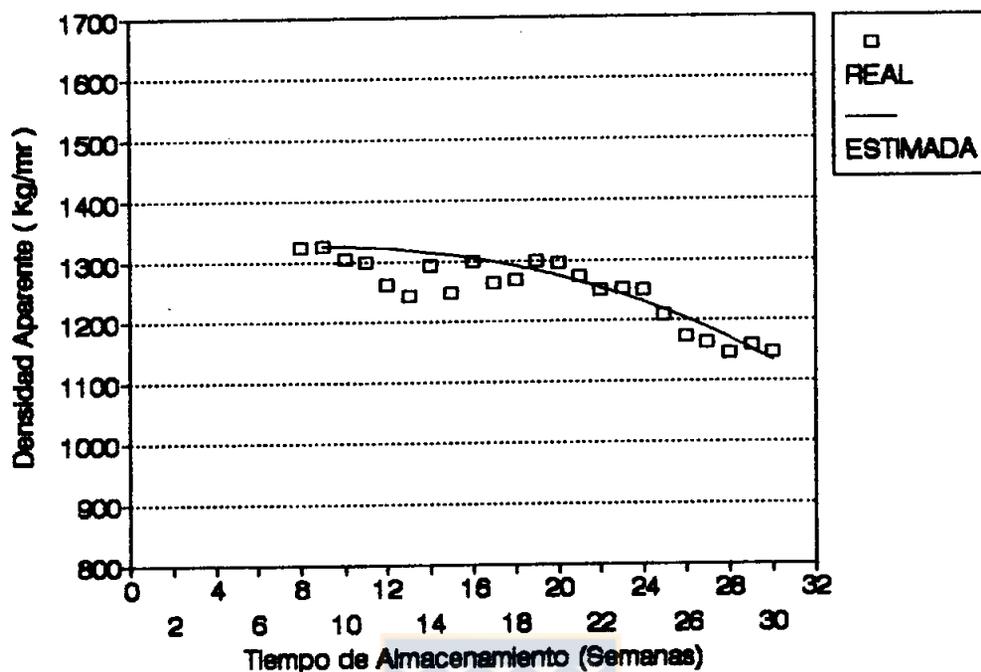


Figura 11A. Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría R3 (Raleo; 1.500-1.600 kg/mr)

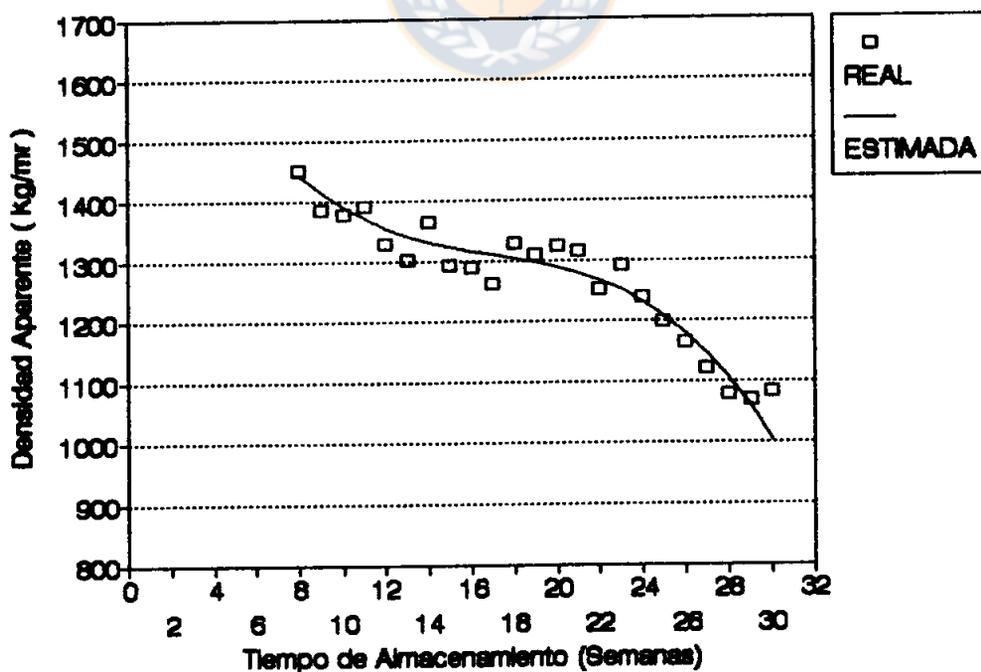


Figura 12A. Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría R4 (Raleo; 1.600-1.700 kg/mr)

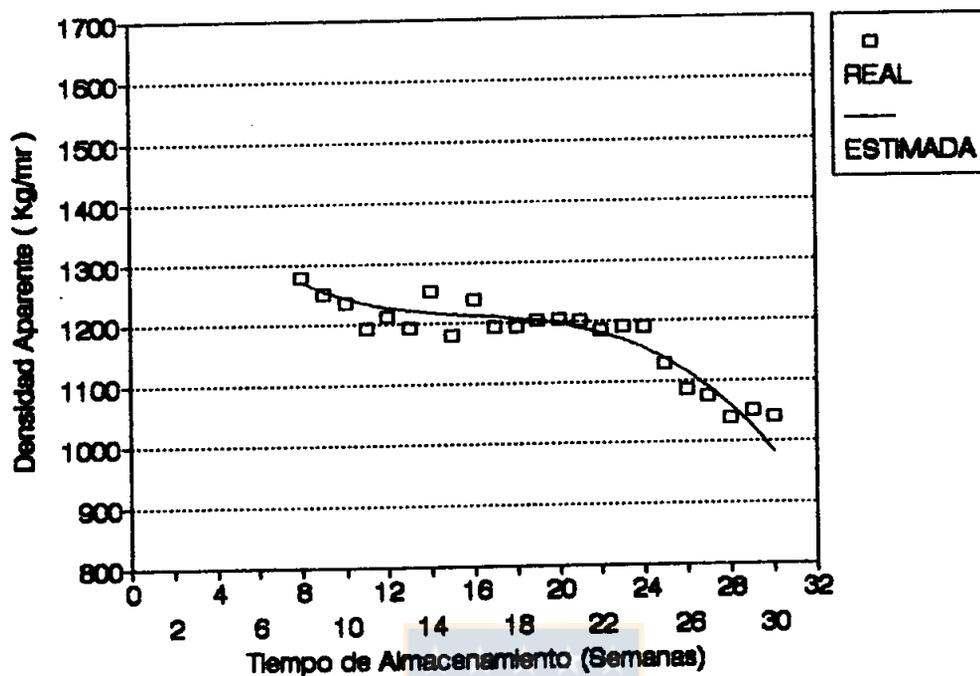


Figura 13A. Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría T1 (Tala rasa; 1.600-1.650 kg/mr).

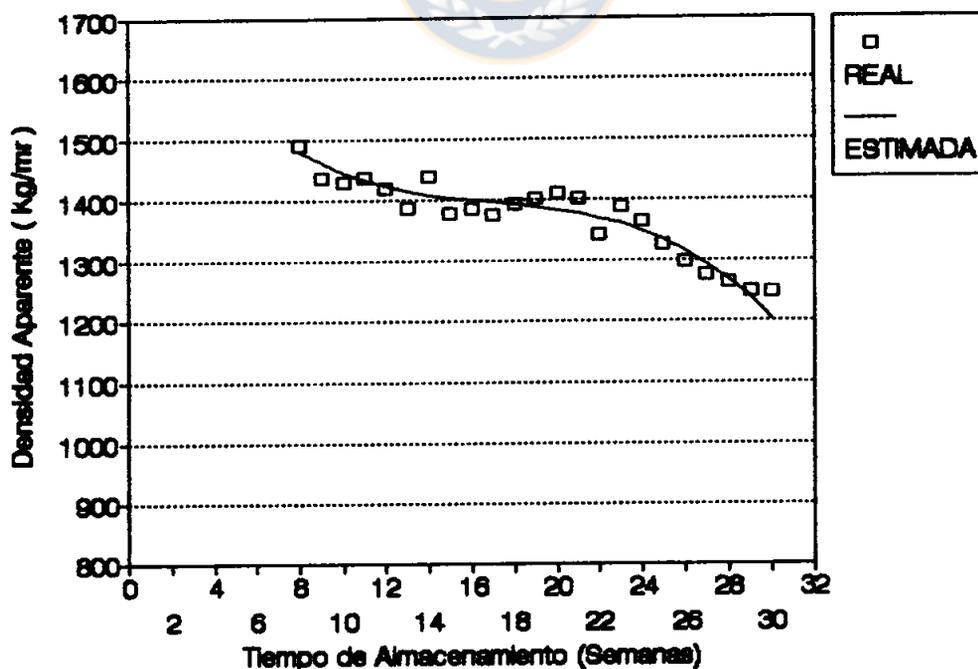


Figura 14A. Relación entre la densidad aparente y el tiempo de almacenamiento. Categoría T2 (Tala rasa; 1.650-1.700 kg/mr).

ANEXO : VARIABLES METEOROLOGICAS OBSERVADAS EN LA
COMUNA DE GALVARINO. AÑO 1991



SEMANA	FECHA	T° MAXIMA PROMEDIO (°C)	T° MINIMA PROMEDIO (°C)	PRECIPITACION (mm)
0	27/02	28,57	9,26	3,8
1	06/03	19,81	6,81	7,5
2	13/03	23,21	7,86	10,0
3	20/03	23,96	8,71	0,0
4	27/03	24,86	8,97	8,5
5	03/04	22,19	7,07	1,0
6	10/04	20,64	7,81	74,6
7	17/04	19,21	11,53	42,0
8	24/04	16,64	7,04	11,5
9	01/05	18,57	9,36	0,5
10	08/05	14,36	2,71	3,0
11	15/05	16,93	5,71	9,5
12	22/05	15,43	7,59	54,5
13	29/05	14,21	10,43	92,0
14	05/06	11,89	5,50	48,5
15	12/06	10,93	1,90	7,5
16	18/06	15,08	6,75	26,0
17	25/06	10,79	4,09	26,0
18	03/07	12,59	7,06	6,5
19	10/07	13,71	6,93	35,3
20	17/07	15,14	1,67	26,8
21	23/07	12,17	2,42	25,0
22	30/07	11,43	4,00	47,5
23	07/08	11,00	1,31	18,8
24	13/08	10,72	-0,12	20,8
25	20/08	14,07	2,93	33,5
26	27/08	16,36	5,00	0,5
27	03/09	18,36	5,21	17,3
28	10/09	16,21	6,57	1,5
29	17/09	15,71	6,97	16,3
30	24/09	16,44	4,93	29,1

Fuente : Dirección Meteorológica de Chile.