

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA
FACULTAD DE AGRONOMÍA

**“ESTUDIO DE LAS RELACIONES SITIO-ESPECIE
PARA *E. globulus ssp. globulus* EN PARADA
ARTEAGA, DEPARTAMENTO DE FLORIDA”**

por

Guillermo CUETO CARRIÓN

TESIS presentada como uno de
los requisitos para obtener el
título de Ingeniero Agrónomo.
(Orientación Forestal)

MONTEVIDEO
URUGUAY
2005

Tesis Aprobada por:

Directores:

Luis SAYAGUES LASO

.....

Rafael ESCUDERO

.....

Fernando IRISITY

Fecha: Montevideo, 21 de noviembre del año 2005.

Autor:

Guillermo CUETO CARRIÓN

AGRADECIMIENTOS

A mis padres por brindarme la posibilidad de estudiar. Gracias a su apoyo constante logré alcanzar esta meta y culminar mi carrera. A mi novia y a mis compañeros de Facultad que en tantos momentos me ayudaron a salir adelante y a afrontar las dificultades, haciendo de éstas una prueba más fácil y entretenida.

A todos los docentes que con su tiempo y dedicación contribuyeron a nuestro desarrollo como estudiantes y como personas.

De manera especial al Ing. Agr. Luis SAYAGUES, director de este trabajo, por su voluntad y respaldo al momento de evacuar dudas y por su apoyo incondicional en todo el período de realización de la tesis.

A la Caja de Jubilaciones y Pensiones de Profesionales Universitarios por todo el apoyo logístico.

Al Sr. Ing. Agr. Javier LIZARRAGA y al Técnico Forestal Robert GUTIERREZ, colegas de trabajo, quienes ayudaron en el trabajo de campo y brindaron parte de la información utilizada en esta tesis.

A todos ellos muchas gracias.

TABLA DE CONTENIDO

PÁGINA DE APROBACIÓN.....	II
AGRADECIMIENTOS.....	III
LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES.....	IV
1. INTRODUCCIÓN	1
2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
2.1 EL <i>EUCALYPTUS GLOBULUS SSP. GLOBULUS</i> EN CHILE	3
2.2 REGIÓN DE PROCEDENCIA DEL <i>EUCALYPTUS GLOBULUS SSP. GLOBULUS</i>	5
2.3 CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS	9
2.4 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS.....	9
2.5 EL <i>E. GLOBULUS SSP. GLOBULUS</i> EN EL URUGUAY.....	10
2.6 CONCEPTO DE SITIO FORESTAL.....	11
2.6.1. Aspectos climáticos que condicionan el Sitio Forestal.....	14
2.6.2. Aspectos edafológicos que condicionan el Sitio Forestal.....	15
2.7 CALIDAD DE SITIO FORESTAL.....	20
2.7.1. Métodos directos.....	20
2.7.2. Métodos indirectos.....	20
2.8 CALIDAD DE SITIO EN BASE A PARÁMETROS DEL RODAL.....	21
2.8.1. Medición del volumen de los árboles.....	22
2.8.2. Medición de las características ambientales.....	23
2.8.3. Medición de la vegetación.....	23
3. MATERIALES Y MÉTODOS	24
3.1. CARACTERÍSTICAS FISIAGRÁFICAS Y AGROCLIMÁTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO	24
3.1.1 Geología.....	24
3.1.2. Suelos.....	26
3.1.2.1. Descripción de los suelos CONEAT.....	26
3.1.2.2. Evaluación de suelos del área de estudio.....	28
3.1.2.3. Resultados del estudio de suelos.....	30
3.1.3. Características agroclimáticas.....	33
3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN.....	39
3.3. MATERIALES EMPLEADOS.....	41
3.3.1. Instrumental.....	41
3.3.2. Equipos.....	41
3.3.3. Insumos.....	42
3.4. TOMA DE MUESTRAS.....	42
3.4.1. Muestreo preliminar.....	42
3.4.1.1. Metodología del muestreo preliminar.....	42
3.4.1.2. Registro de Datos.....	44

3.4.1.3. Delimitación de Sitios	45
3.4.2. Muestreo definitivo	45
3.4.2.1. Selección de muestras	45
3.4.2.2. Apeo, desrame y trozado.....	48
3.4.2.3. Toma de datos	48
3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS	49
3.5.1. Procesamiento del muestreo preliminar.....	49
3.5.1.1. Diferenciación de Sitios forestales.....	49
3.5.1.2. Cálculo de parámetros estadísticos	50
3.5.2. Procesamiento del muestreo definitivo.....	50
3.5.2.1. Procesamiento de los Factores de Forma.....	50
3.5.2.2. Estimación del error del vertex	53
3.5.2.3. Cálculo de parámetros estadísticos	53
<u>4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN</u>	55
4.1 MUESTREO PRELIMINAR.....	55
4.1.1. Clasificación de Sitios.....	55
4.1.2. Delimitación de Sitios.....	55
4.2. MUESTREO DEFINITIVO.....	59
4.2.1. Parámetros dasométricos	59
4.2.2. Análisis estadísticos.....	70
4.2.2.1. Regresión simple entre variables dasométricas	76
4.2.2.2. Relación entre altura real y variables de suelo.....	88
4.2.3. Regresión múltiple	95
4.2.3.1 Regresión múltiple entre altura total real y variables de suelo	95
4.2.4. Discusión sobre los problemas de adaptación Sitio-especie de las procedencias de <i>E. globulus</i> empleadas en el área de estudio.....	96
<u>5. CONCLUSIONES.....</u>	98
<u>6. RESUMEN.....</u>	99
<u>7. SUMMARY</u>	101
<u>8. BIBLIOGRAFÍA.....</u>	103
<u>9. ANEXOS.....</u>	106

LISTA DE CUADROS E ILUSTRACIONES

<i>Cuadros</i>	<i>Página</i>
1. Datos promedios mensuales de distintas temperaturas para la serie 1965-1994. Estación Agrometeorológica de Chillán.....	7
2. Datos promedios mensuales y anuales de precipitación y evapotranspiración potencial para la serie 1965-1994. Estación Agrometeorológica de Chillán.....	7
3. Grupos de suelos CONEAT del área de estudio correspondiente al padrón 11894. CONEAT.	26
4. Unidades de suelos identificadas por SGANGA (1996) y su correspondiente grupo CONEAT.	30
5. Promedios mensuales de precipitaciones serie 1986-2004. SUL, 2005.....	33
6. Promedios mensuales de temperaturas serie 1986-2004. SUL, 2005.....	34
7. Promedios de temperaturas máximas y mínimas mensuales entre los años 1986 – 1995. Estudio de clima de CJPPU.....	36
8. Número de heladas promedio anuales por rango de temperaturas para la serie 1986 – 1995. Estudio de Clima CJPPU, Año 1996.....	36
9. Número de árboles apeados por Sitio.....	45
10. Clases de altura de diferenciación de Sitios.....	49
11. Promedios de densidad y sobrevivencia por Sitio.....	55
12. Promedios de DAP, altura estimada, altura real y volumen individual sin corteza hasta los 5 cm de diámetro para los diferentes Sitios.....	61
13. Parámetros estadísticos del Sitio Malo, muestreo definitivo.....	64
14. Parámetros estadísticos del Sitio Intermedio, muestreo definitivo.....	65
15. Parámetros estadísticos del Sitio Bueno, muestreo definitivo.....	67
16. Parámetros estadísticos del Sitio Muy Bueno, muestreo definitivo.....	69
17. Parámetros estadísticos generales de los árboles apeados.....	70
18. Análisis de varianza de la altura real de los árboles apeados.....	71
19. Prueba de Tukey para altura real con un 95 % de confianza.....	71
20. Análisis de varianza del DAP de los árboles apeados.....	71
21. Prueba de Tukey para el DAP con un 95 % de confianza.....	72
22. Análisis de varianza del FFINV CC de los árboles apeados.....	72
23. Análisis de varianza del FFCCC de los árboles apeados.....	72
24. Prueba de Tukey para el FFCCC con un 95 % de confianza.....	73

25. Análisis de varianza del FFTCC de los árboles apeados.....	73
26. Prueba de Tukey para el FFTCC con un 95 % de confianza.....	73
27. Análisis de varianza del Volumen de Inventario de los árboles apeados.....	74
28. Prueba de Tukey para el Volumen de Inventario con un 95 % de confianza.....	74
29. Análisis de varianza del Volumen Comercial de los árboles apeados.....	74
30. Prueba de Tukey para el Volumen Comercial con un 95 % de confianza.....	75
31. Resultados generales del análisis de varianza del modelo ajustado por stepwise....	95
32. Cuadrados medios, F de Fisher y nivel de confianza para las variables de suelo más significativas por correlación múltiple.....	95

Figuras

Página

1. Ubicación del predio.....	1
2. Áreas potenciales para la plantación de seis especies de Eucaliptos de rápido crecimiento, entre la I y la X región chilena. INFOR (1986).....	4
3. ISOHIETAS medias anuales de la VIII región. Universidad de Concepción.....	5
4. ISOTERMAS medias anuales de la VIII región. Universidad de Concepción.....	6
5. Corte geológico de la zona de Florida. BOSSI (1975).....	25
6. Suelos CONEAT del área de estudio, correspondiente al padrón 11894.....	26
7. Mapa de suelos realizado para la Caja de Profesionales. SGANGA (1996).....	31
8. ISOTERMAS E ISOHIETAS medias anuales de Uruguay.....	35
9. Fecha media de primera helada (a) y última helada (b) (Facultad de Agronomía 1978).....	37
10. Ubicación de la plantación analizada.....	40
11. Distribución de árboles apeados en los Sitios: Muy Bueno, Bueno e Intermedio.....	46
12. Distribución de árboles apeados en el Sitio Malo.....	47
13. Diferenciación de Sitios preliminar.....	56
14. Diferenciación de Sitios definitiva.....	58
15. Aspecto de la plantación en el Sitio Malo.....	65
16. Aspecto de la plantación en el Sitio Intermedio.....	66
17. Aspecto de la plantación en el Sitio Bueno.....	68

1. Climodiagrama de Chillán para la serie 1965-1994.....	8
2. Balance hídrico de Cerro Colorado para la serie 1986-1996.....	38
3. Histograma de DAP de los árboles apeados.....	59
4. Histograma de altura real de los árboles apeados.....	59
5. Histograma de Factor de Forma de Inventario con corteza de los árboles apeados.	60
6. Promedios de DAP por Sitio.....	61
7. Promedios de altura estimada con vertex y altura real por Sitio.....	62
8. Promedios de los Factores de Forma sin corteza por Sitio.....	63
9. Promedios de los Factores de Forma con corteza por Sitio.....	64
10. Relación lineal entre altura real y altura estimada con vertex.....	76
11. Relación hipsométrica.....	77
12. Relación hipsométrica del Sitio I y de los Sitios II, III y IV.....	78
13. Regresión lineal entre altura real y altura comercial.....	79
14. DAP vs Factores de Forma con corteza.....	80
15. Altura real vs Factores de Forma con corteza.....	81
16. Clases de altura real vs Factores de Forma con corteza.....	82
17. Clases de altura real vs porcentaje corteza.....	83
18. Alturas reales por Sitio vs Factor de Forma de Total con corteza.....	84
19. Alturas reales por Sitio vs Factor de Forma de Inventario con corteza.....	85
20. Alturas reales por Sitio vs Factor de Forma Comercial con corteza.....	85
21. DAP por Sitio vs Factor de Forma de Total con corteza.....	86
22. DAP por Sitio vs Factor de Forma de Inventario con corteza.....	86
23. DAP por Sitio vs Factor de Forma Comercial con corteza.....	87
24. Clases de altura real vs contenido de K en el horizonte A.....	88
25. Clases de DAP vs contenido de K en el horizonte A.....	89
26. Clases de DAP vs cotas.....	90
27. Clases de altura real vs contenido de Na en el horizonte Bt.....	91
28. Clases de DAP vs contenido de Na en el horizonte Bt.....	91
29. Clases de DAP vs contenido de P en el horizonte A.....	92
30. Clases de DAP vs contenido de P en el horizonte Bt.....	93
31. Clases de altura real vs contenido de Ca en el horizonte Bt.....	93
32. Clases de DAP vs contenido de Ca en el horizonte A.....	94
33. Clases de DAP vs contenido de Ca en el horizonte Bt.....	94

1. INTRODUCCIÓN

Este trabajo fue realizado en un predio de la Caja de Jubilaciones y Pensiones de Profesionales Universitarios, ubicado en “Parada Arteaga”, cercano al centro poblado de Cerro Colorado, sobre el kilómetro 158,700 de la ruta 7.



FIGURA 1. Ubicación del predio.
Fuente: Ingenieros Consultores Asociados, 2001.

El establecimiento cuenta con unas 4200 hectáreas forestadas. Allí se cultivan varias especies de eucaliptos con diferentes propósitos, algunas de ellas manejadas para aserrado, como las especies de *E. dunnii* y *E. grandis* y otras como *E. globulus* con sus subespecies y *E. viminalis* para pulpa.

La plantación analizada en este predio data del año 1997 y tiene una superficie de 320 ha. Es una plantación coetánea de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* que no ha sido manejada hasta el momento.

Se seleccionó esta plantación porque es la que tiene mayor superficie y edad dentro del predio, para la especie *globulus ssp. globulus* y porque suponemos que en ella se pueden observar mejor cuales son los factores microclimáticos y de suelo que más la han afectado en el desarrollo en sus 8 años de crecimiento y con eso cumplir los objetivos de este trabajo.

El objetivo general de este trabajo es determinar los factores de Sitio que afectan el crecimiento del *Eucalyptus globulus ssp. globulus* en el área de estudio.

Los objetivos específicos de este trabajo son:

- Diferenciar los Sitios forestales en el área de estudio.
- Obtener valores precisos de la variabilidad de los parámetros dasométricos.
- Correlacionar variables de suelos y dasométricas.
- Estimar el error del instrumento de medición de altura (vertex II).

2. REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

2.1 EL *Eucalyptus globulus ssp. globulus* EN CHILE

El *Eucalyptus globulus ssp. globulus* fue introducido a Chile en el año 1823 (FAO, 1979) citado por Schlatter (1993).

Las primeras plantaciones con fines industriales comenzaron en los años 1930 sobre la costa de la VIII región (Rada, 1992) citado por Schlatter (1993).

Actualmente las plantaciones comerciales se extienden desde latitudes entre 35° y 41° Sur y longitudes entre 72° y 74° Oeste, abarcando de la VII hasta la X región, y dentro de esas regiones desde el centro del continente hasta las costas oceánicas (FIGURA 2).

Alrededor del 90% de las plantaciones de eucaliptos en Chile son de *E. globulus ssp. globulus*, debido a que crece muy bien en algunas regiones. Chile ahora tiene más de 350.000 ha de esa subespecie CORMA, (2002) citado por Méndez (2003).

Crece en zonas con precipitaciones muy dispares, entre 350 mm y 1500mm anuales. Las mejores zonas de crecimiento se encuentran con precipitaciones cercanas a los 800 mm anuales.

Con respecto a los suelos, la mayor parte de las zonas costeras altas y la región plana central (entre 33° y 42° Sur), se caracteriza por presentar alfisoles e inceptisoles, o suelos originarios a partir de la meteorización de rocas graníticas; son suelos moderadamente ácidos o con alta acidez, con moderada cantidad de nutrientes y susceptibles a la erosión. La mayoría de los suelos de esa zona son fértiles y buenos para la forestación (Schlatter, 1993).

Otra área importante donde se desarrolla el *E. globulus ssp. globulus*, localizada entre la región central (entre 33° y 38° Sur), está compuesta por entisoles. Son suelos livianos, bien drenados, fuertemente ácidos y pobres con respecto a la retención de nutrientes (Schlatter, 1993).

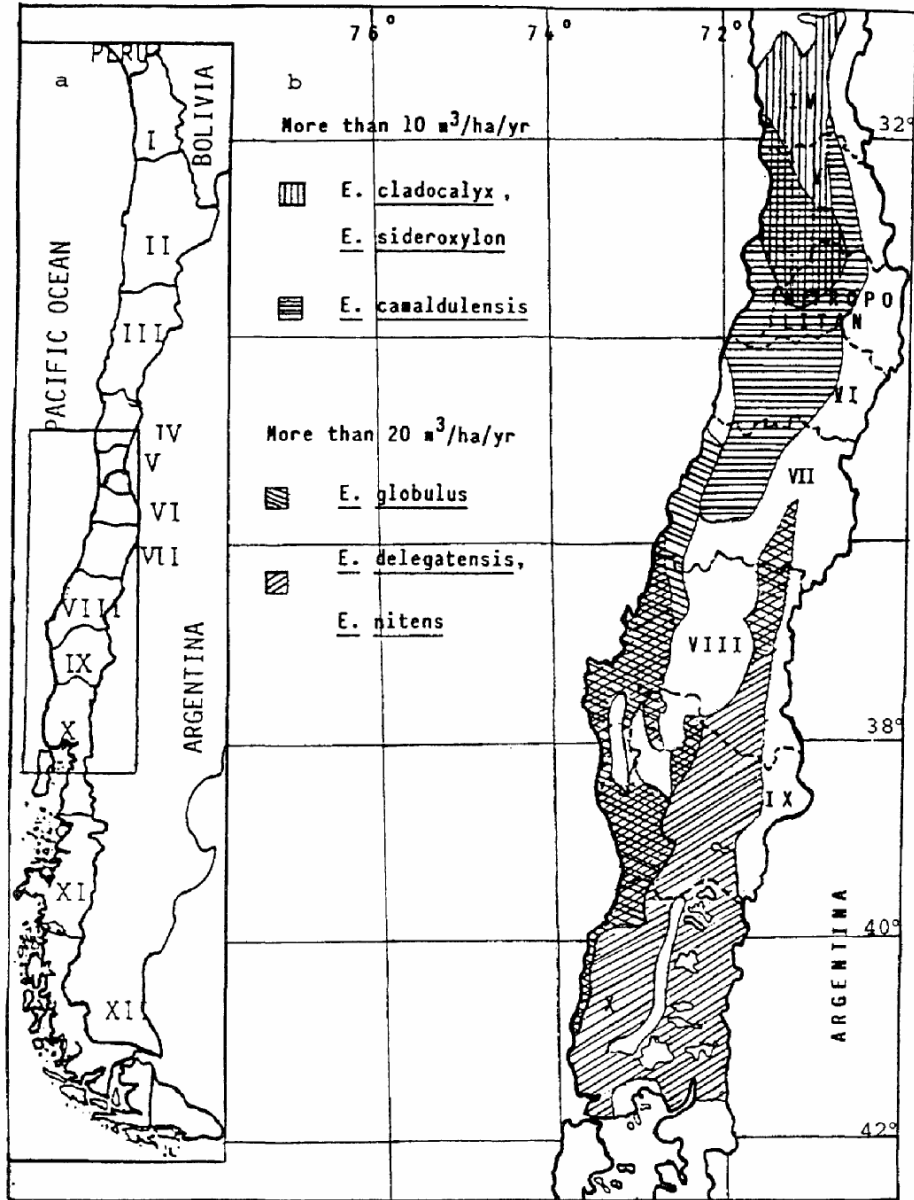


Figure 1: Chile, showing (a) latitudinal distribution of regions, and (b) areas potentially planted with six eucalypt species, and their potential growth rates. I to XII denote administrative regions. Adapted from INFOR (1986).

FIGURA 2. Áreas potenciales para la plantación de seis especies de eucaliptos de rápido crecimiento, entre la I y la X región chilena. INFOR (1986).

En Chile se manejan rotaciones entre 8 y 10 años, para plantaciones destinadas a obtener madera para pulpa y de 25 años aproximadamente para la obtención de madera rolliza.

Las densidades de plantación varían entre 1330 a 1666 plantas por hectárea y el IMA (incremento medio anual), oscila entre 20 y 50 m³/ha/año.

En Sitios buenos es común encontrar rendimientos promedios anuales entre 30 y 40 m³/ha/año (Martínez, 1981) citado por Schlatter (1993).

En Sitios muy puntuales se han observado en los primeros años de edad de la plantación, incrementos en altura de hasta 4 m/año. En Sitios de primera clase ubicados en la VIII región (F. Colcura), el Índice de Sitio es de 36 m o más para una edad de 20 años (Martínez, 1981) citado por Schlatter (1993).

2.2 REGIÓN DE PROCEDENCIA DEL *Eucalyptus globulus ssp. globulus*

La procedencia de la semilla de la plantación analizada, es del Centro de semillas genéticas e investigaciones entomológicas de Chillán, que pertenece a la CONAF (Comisión Nacional de Forestación).

Chillán se sitúa en la VIII región y presenta un clima mediterráneo temperado.

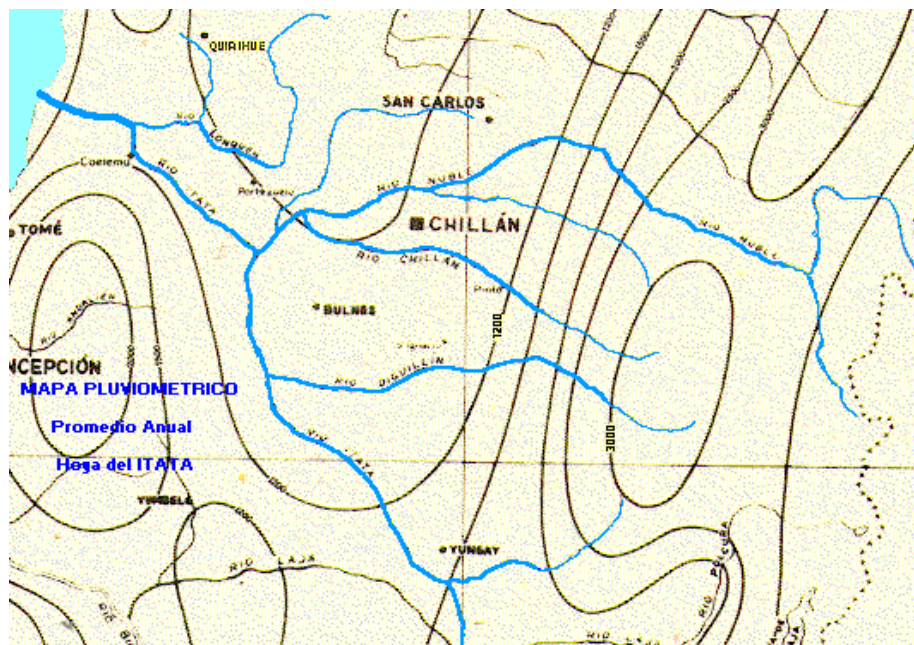


FIGURA 3. ISOHIETAS medias anuales de la VIII región. Universidad de Concepción.

El período libre de heladas aprovechable es de 5 meses, de noviembre a marzo.

El régimen térmico de esa zona se caracteriza por una temperatura media anual de 14° C, con una media máxima del mes más cálido (enero) de 28,8° C y una media mínima del mes más frío (julio) de 3,5° C.

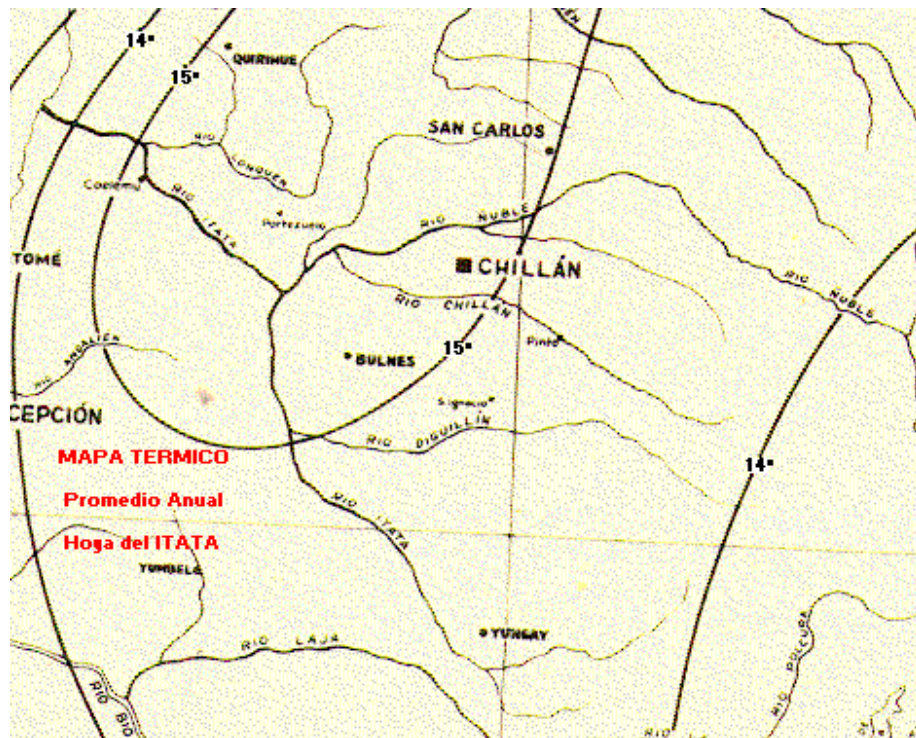


FIGURA 4. ISOTERMAS medias anuales de la VIII región. Universidad de Concepción.

Según comunicación personal del Sr. Jorge López (2005), el Centro de Semillas de Chillán recibe semillas de árboles plus, de diversas partes de la VIII que ya están adaptados a las condiciones de esa región.

Los rendimientos promedios encontrados en Chillán usando semilla seleccionada con árboles adaptados a la región, oscilan entre 28 y 32 m³/ha/año.

En cuanto a suelos, donde crecen los árboles plus en general son de textura liviana, profundos y bien drenados.

A continuación se presentan datos promedios de la Estación Agrometeorológica de Chillán, ubicada en latitud 36° 34', longitud 72° 06', altitud 144 m.s.n.m., para una serie de 30 años entre 1965 y 1994.

CUADRO 1. Datos promedios mensuales de distintas temperaturas para la serie 1965-1994. Estación Agrometeorológica de Chillán.

	Temperatura aire (° C)	Temperatura máxima (° C)	Temperatura mínima (° C)	Temperatura suelo (° C)
Enero	19,7	28,4	11,0	28,6
Febrero	19,1	27,9	10,3	28,1
Marzo	17,1	25,4	8,9	25,6
Abril	13,5	20,5	6,2	20,7
Mayo	10,6	15,5	5,7	15,7
Junio	8,7	12,5	4,8	12,7
Julio	8,0	12,3	3,8	9,6
Agosto	9,1	14,2	3,9	14,4
Septiembre	10,9	16,9	4,8	17,1
Octubre	12,8	19,3	6,3	19,5
Noviembre	15,7	23,1	8,3	23,3
Diciembre	18,2	26,2	10,2	26,4
Promedio	13,6	20,2	7,0	20,1

CUADRO 2. Datos promedios mensuales y anuales de precipitación y evapotranspiración potencial para la serie 1965-1994. Estación Agrometeorológica de Chillán.

	Precipitación acumulada mes (mm de agua)	Precipitación acumulada año (mm de agua)	Evaporación acumulada mes (mm)	Evaporación acumulada año (mm)
Enero	13,9	13,9	235,7	235,7
Febrero	14,6	28,5	190,5	426,3
Marzo	25,9	54,4	148,7	575,0
Abril	62,6	117,0	77,3	652,3
Mayo	211,1	328,1	30,6	682,9
Junio	201,6	529,7	16,2	699,1
Julio	188,8	718,5	18,9	718,0
Agosto	115,6	834,1	40,1	758,1
Septiembre	84,6	918,7	70,7	828,8
Octubre	65,6	984,3	112,3	941,1
Noviembre	38,5	1022,8	162,9	1103,9
Diciembre	27,9	1050,7	211,4	1315,3

Analizando el primer cuadro se observa que la zona de Chillán presenta temperaturas mínimas promedio por debajo de 5° C entre los meses de junio y setiembre.

El régimen hídrico se caracteriza por una precipitación promedio anual de 1050 mm por año, con lluvias distribuidas principalmente en los meses de invierno. Entre los meses de mayo y agosto. En sólo cuatro meses, llueve en promedio 717 mm, lo que representa un 68 % del total de lluvias anuales.

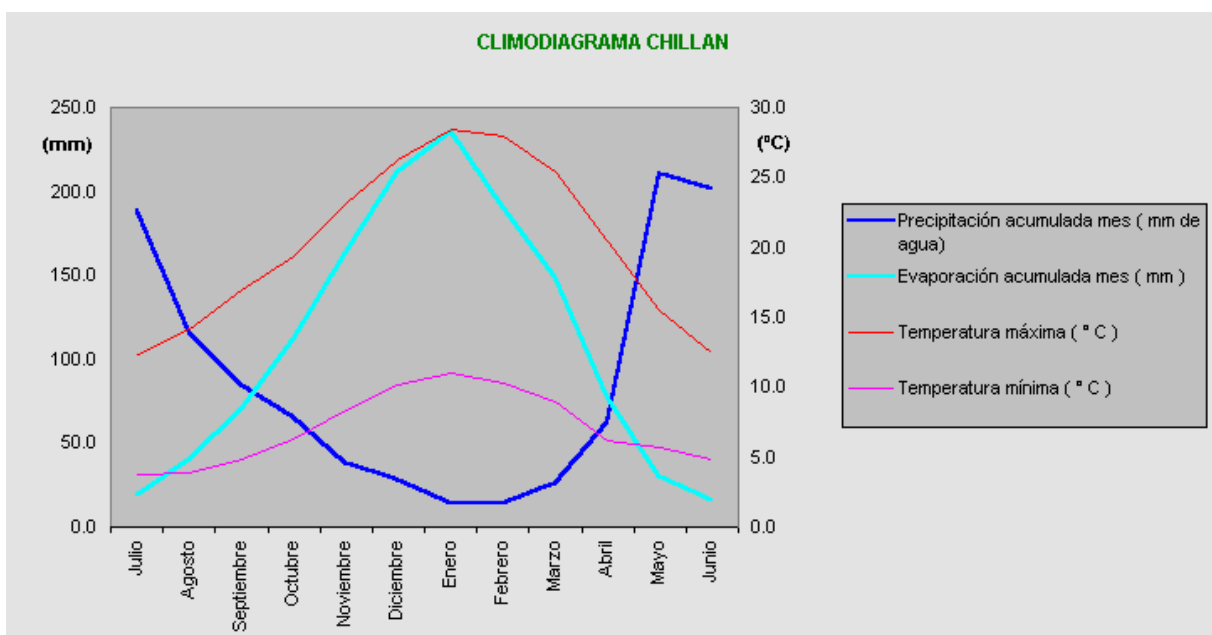


GRÁFICO 1. Climodiagrama de Chillán para la serie 1965-1994. Estación Agrometeorológica de Chillán.

2.3 CARACTERÍSTICAS ECOLÓGICAS

A continuación se detallan las características ecológicas de la región donde el *E. globulus ssp. globulus*, tiene sus mejores desarrollos a nivel mundial.

1. **Latitud** 37° - 43°30´
2. **Altitud** 0 – 500m
3. **Precipitación:**
 - a. tipo: invernal uniforme.
 - b. total anual: 500 – 1520mm, en 150 – 200 días.
 - c. estación seca: hasta tres meses, no rigurosa.
4. **Temperatura:**
 - a. Media máxima: 18 – 23°C
 - b. Media mínima: 4°C
 - c. Mínima absoluta: - 4,5°C, poco tiempo
 - d. Máxima absoluta: 40,5°C
 - e. Media anual: 10 – 15,5°C
5. **Heladas:** 0 – 20, si son ligeras.
6. **Nevadas:** escasas y de poca intensidad.
7. **Clima:** muy frío
8. **Suelo:** con pH mayor a 5, arenoso arcilloso. Subsuelo podzólico con arcilla profunda y bien drenado.

2.4 CARACTERÍSTICAS ESPECÍFICAS

El *E. globulus ssp. globulus* presenta las siguientes características.

1. **Porte:**
 - a. Altura: 31 – 65m, con forma recta o retorcida.
 - b. Diámetro: 0,90 – 1,50.
2. **Plasticidad:**
 - a. Al frío -6°C, muy poco tiempo.
 - b. A la sequía, moderada.
3. **Variabilidad genética:** moderada.
4. **Presencia de lignotubérculo.**
5. **Brote de cepa:** muy bueno.
6. **Aspectos sanitarios:** susceptible a hongos y bacterias.

2.5 EL *E. globulus ssp. globulus* EN EL URUGUAY

El *E. globulus ssp. globulus* fue introducido al país en el año 1853 .

Desde su introducción hasta ahora ha ganado superficie y tiene un mercado creciente como madera para pulpa; tanto a nivel nacional como internacional. Por esa razón actualmente existen más de 200.000 hectáreas de este especie, distribuidas en tres grandes zonas: litoral, centro y sur (DGF, año 2002).

Los primeros árboles procedieron del Jardín Botánico de la Ciudad del Cabo, los que a su vez descendían de unos pocos ejemplares que fueran llevados allí, desde la Isla de Mauricio.

La elevada consanguinidad y la mala conformación de los árboles originales llevó a un cierto desprestigio de la especie, la que fue desplazada en popularidad por los eucaliptos colorados (Brussa 1995).

Muchos autores afirman que los orígenes seleccionados al principio no fueron de los mejores, ya que, en algunas zonas del país, existe una inadaptación al Sitio (Krall 1973).

El territorio uruguayo se encuentra en una área de transición para el cultivo de la especie *E. globulus ssp. globulus*. Se ha observado en algunas áreas particulares del país una buena adaptación de la especie.

Esta especie se ha adaptado más a zonas costeras que continentales, debido principalmente a la influencia marítima de esa zona, coincidente con el lugar de origen de los ejemplares introducidos a nuestro país.

Los principales inconvenientes en Uruguay para el crecimiento y desarrollo de esta especie son: las heladas, las sequías prolongadas, el excesivo calor del verano y la temperatura promedio anual (Shield, 2005).

2.6 CONCEPTO DE SITIO FORESTAL

De acuerdo con Sorrentino (1984), el **SITIO** es el agregado de todas las condiciones ambientales que afectan la supervivencia y el crecimiento de una comunidad de plantas.

Asimismo expresa la capacidad de una superficie para desarrollar vegetación, es decir la productividad de cierta área en relación a las comunidades vegetales que allí se desarrollan.

Para lograr una adecuada implantación de especies y su manejo posterior, resulta sumamente importante tener conocimiento sobre las especies forestales, y sobre su respuesta de crecimiento en relación a los distintos factores que componen el medio ambiente.

Debido a factores económicos y de mercado, se hace necesario conocer el potencial productivo de los diferentes Sitios. Esta potencialidad, expresada en producción de madera para una especie particular o para un tipo forestal, en un tiempo dado, ha sido definida como calidad de Sitio Clutter (1983) citado por Baridon *et al* (2001). Este concepto involucra la integración de parámetros climáticos y edáficos.

La zonificación del potencial forestal de los suelos para la planificación regional, resulta de gran importancia con el fin de orientar a los productores en la selección de los Sitios y especies mejor adaptadas López *et al* (1993) citado por Baridon *et al* (2001) .

El objetivo de dividir una zona en Sitios forestales, debe ser eminentemente práctico y debe servir en definitiva para facilitar el manejo silvicultural respectivo.

En la actualidad la aplicación del conocimiento de las distintas relaciones de crecimiento en un Sitio dado, consiste simplemente en promover el desarrollo de ciertas especies en Sitios donde su establecimiento es realmente conveniente o donde su crecimiento potencial puede lograrse plenamente.

Formin (1969) citado por Bonilla (1971), expresa que “la tolerancia de las plantas a diversas condiciones ecológicas del medio, son siempre la resultante de la acción combinada y compleja de varios factores climáticos, edáficos y bióticos”.

En ese sentido, Sganga (1979) resalta que “es muy arriesgado definir los requerimientos edáficos de un vegetal independientemente de los otros elementos del medio ambiente en que ese vegetal va a crecer: clima y factores bióticos”.

Bonilla (1970), citado por Sganga (1979) coincide que: “al estudiar la relación suelo-árbol, es muy difícil establecer como afecta al crecimiento una propiedad del suelo tomada independientemente de las otras”.

De modo general, según (Cozzo,1979) citado por Sganga (1979) “las plantaciones forestales con destino industrial no constituyen una manera indiscriminada de utilizar especies y terrenos; por el contrario, son una ordenada, selectiva y rigurosa forma de uso de unas y otros, con el fin de obtener un bosque que sume el máximo de sus respectivas potencialidades productivas”.

Según el mismo autor el estudio minucioso de cada Sitio del terreno y el conocimiento o presunción de sus capacidades para el crecimiento y desarrollo forestal, así como la adaptación a las variables edáficas de las más comunes especies forestales, da como resultado la más acabada planificación de una forestación industrial.

Por lo tanto, “para la planificación silvicultural de forestaciones industriales, es indispensable tener un conocimiento minucioso del terreno, (considerando todos los aspectos edafológicos), conocer el clima y las variaciones microclimáticas más importantes (heladas y anegamiento), así como el entorno ecológico de cada Sitio, generado por la vegetación, la topografía y la geología. También es necesario considerar la calidad y procedencia de los plantines” (Cozzo, 1979).

El mismo autor considera que sería conveniente aprovechar sólo los suelos de primera calidad a fin de alcanzar una máxima rentabilidad traducida en el acortamiento de los turnos de explotación para maximizar la productividad de madera con fines industriales. No obstante se debe procurar igualmente, aprovechar al máximo, aquellos tipos de suelos de prioridad forestal, siempre que se hayan realizado las investigaciones necesarias para determinar su potencial real, mediante la aplicación de especies que se le adecuen y con prácticas que permitan un desarrollo forestal sostenible.

En este sentido Bonilla (1971), destaca que “la metodología general de los trabajos en los que se estudia la influencia del suelo y del clima sobre el crecimiento de los árboles, consiste en relacionar el crecimiento de éstos, expresados por medio del “Índice de Sitio”, con un conjunto de variables edafológicas más o menos numerosas”.

La productividad forestal potencial, frecuentemente es medida por el “Índice de Sitio”. Este índice es determinado por la acción e interacción de diversos factores del medio y es influenciado por las prácticas en la gestión forestal. Varios autores han estudiado la relación entre la productividad forestal y las características del ambiente. Entre éstas, se destaca la importancia de las variables climáticas (precipitación, radiación incidente y temperatura), topográficas (pendiente, exposición, forma del relieve, posición en el paisaje y altitud) y edáficas (químicas, físicas, morfológicas y

mineralógicas) (Braga *et al.*, 1999; Amaral, 1999; O'Carrol & Farrell, 1993; Barros, 1992; Weston, 1991; Noble *et al.*, 1991; Buckley 1988; Fabres *et al.*, 1987).

Además de las variables anteriormente citadas, Riero y Niepagen (1969) citados por Nyyssonen (1976) expresan que “otro factor de primordial importancia para el éxito de una plantación es el hecho de tener en cuenta el origen y la raza de las semillas utilizadas”.

Lo mencionado en el párrafo anterior, se mantiene vigente ya que en los “ensayos de orígenes” realizados por el INIA en Uruguay, se ha observado que la zona de origen es un factor muy importante en la adaptación de los árboles. Los ensayos determinaron que la sobrevivencia y la susceptibilidad a enfermedades están muy relacionada al lugar de origen de la semilla (Balmelli *et al.* 2005).

Los árboles plus seleccionados en el ensayo evolucionaron en forma diferente según el Sitio de adaptación y poseen una composición genética bastante distinta, a pesar de ser de la misma subespecie.

Se ha comprobado que el origen de la semilla es un factor esencial a la hora de producir los plantines y en su posterior adaptación en el rodal, ya sea por:

- el porcentaje de germinación,
- la susceptibilidad a enfermedades en vivero,
- la mejor adaptación a campo,
- la mayor sobrevivencia,
- la menor susceptibilidad a los patógenos.

Además el origen de la semilla afectará:

- la densidad específica,
- el rendimiento individual,
- el porte,
- las condiciones en el proceso industrial de la elaboración de pulpa, entre otros.

2.6.1. Aspectos climáticos que condicionan el Sitio Forestal

Si bien el clima tiene incidencia regional y afecta el crecimiento de los árboles, es el microclima el que va a condicionar el Sitio.

La cantidad de precipitación y su distribución a través del período de crecimiento, junto a las características físicas del suelo, condicionan la disponibilidad de agua para la vegetación.

Bonilla (1971) señala que “indudablemente cuando se estudia el comportamiento de los árboles en un Sitio dado, los hallazgos acerca del efecto del clima son en ese lugar mínimos o inexistentes. Pero, si comparamos resultados de crecimientos de árboles en distintas regiones, los efectos climáticos pasan a tener importancia capital”

De acuerdo con FAO (1959) y Czarnowski (1964), los datos climáticos a tener en cuenta para analizar la introducción de una especie serían:

- Temperatura media anual.
- Temperatura media del mes más cálido.
- Temperatura media del mes más frío.
- Temperatura máxima absoluta.
- Temperatura mínima absoluta.
- Régimen de heladas (período libre de heladas perjudiciales).
- Precipitación medial anual (frecuencia y distribución).
- Humedad relativa.
- Número de horas de luz.
- Índice de aridez.

Según Czarnowski (1964), las variables temperatura, radiación y viento son sustituidas, en muchas expresiones de Sitio, por variables geográficas y topográficas tales como: latitud, altitud, exposición, pendiente, posición en la pendiente, distancia al mar; todas éstas, fácilmente determinables por cartografía y fotointerpretación.

2.6.2. Aspectos edafológicos que condicionan el Sitio Forestal

Con respecto a las relaciones con las propiedades del suelo, se consideran como variables particularmente importantes para la productividad del eucalipto, la profundidad efectiva, la pedregosidad, la textura, la densidad aparente, el tipo de horizonte A y la fertilidad del suelo (Fabres, 2003).

Entre los parámetros de fertilidad del suelo se destacan: la materia orgánica (principalmente como fuente de nitrógeno, fósforo y boro, el efecto sobre el CIC, y la capacidad de retención de agua); saturación de bases, formas químicas del fósforo, potasio, calcio y la meteorización de minerales primarios, dependientes fundamentalmente de la mineralogía del suelo (Fabres, 2003).

Cada una de las variables detalladas anteriormente varía con el tipo de suelo y condiciona lo que sobre él crece. La disponibilidad y forma por la cual los vegetales absorben los nutrientes disponibles hará con que la especie satisfaga sus necesidades, crezca y se desarrolle de acuerdo a las condiciones inherentes de cada Sitio (Fabres, 2003).

Entre los nutrientes esenciales para el crecimiento de las plantas, el nitrógeno y el fósforo, han sido los que han tenido un gran impacto con respecto a la productividad de las especies forestales (Barros *et al.*; 1992, Gonçalves *et al.*, 1997; Fabres *et al.*, 2003).

En Portugal se han constatado respuestas a la aplicación de fertilizantes boratados, con diferentes magnitudes de respuesta dependiendo de la región edafoclimática de ese país. Para el potasio y el calcio, los estudios realizados hasta el momento sugieren que existen respuestas significativas solo en condiciones de suelos con fertilidad natural muy baja en estos elementos Coutinho *et al.*, (2001) citado por Fabres (2003).

La respuesta en crecimiento en altura de los árboles a la fertilización con cualquier nutriente es por definición indicadora de la existencia de deficiencia nutricional de ese nutriente (Attwill, 1996).

Con referencia a los micronutrientes del suelo depende fundamentalmente de la composición mineralógica de la roca madre que le dio origen. En la mayoría de los casos los tenores existentes en el suelo no son limitantes, con excepción de algunos suelos muy explotados por la agricultura extractiva. En suelos arenosos derivados de rocas graníticas, se podría observar deficiencia en algunos micronutrientes, principalmente boro, Coutinho *et al.* (2001) citado por Fabres (2003).

A nivel nacional, se obtuvieron respuestas significativas a la fertilización con boro en el crecimiento en altura total, confirmando las deficiencias de este componente en algunas zonas del país (Méndez, 2003).

Correlación múltiple con variables edáficas

Notraro y Pallozzi (1983) en su trabajo de investigación, comparando dos tipos de suelos en diferentes departamentos del país (Paysandú grupo CONEAT 9.3 y Tacuarembó grupo CONEAT 8.4), llegaron a la conclusión que entre tantas variables de suelo que afectan el crecimiento del *E. grandis*, las más importantes e incidentes en el crecimiento en altura total fueron:

- X_{32} = “porcentaje de materia orgánica en el Horizonte B”
- X_{34} = “fósforo extraído por el método Bray N° 1 en ppm/s en el horizonte B”
- X_{57} = “porcentaje de pendiente”

Tomando en cuenta más de 50 variables de suelo, llegaron a la conclusión que las variables anteriormente citadas están correlacionadas positivamente con la altura de los árboles y que son determinantes en la calidad del Sitio forestal.

A partir del programa “Forward Stepwise” y usando el método de regresión múltiple, para estimar la altura total promedio de los árboles, llegaron a la siguiente fórmula matemática:

$$\text{Altura total promedio (m)} = 0\,773,7384 + 4,18220 X_{32} + 70,82318 X_{34} + 0,75329 X_{57}$$

El empleo de modelos de Sitio - crecimiento para evaluar y entender los factores que limitan el crecimiento de los árboles es un tema ampliamente estudiado a nivel mundial.

El INIA, conjuntamente con la Facultad de Agronomía, realizó un estudio específico sobre “El efecto de los factores edáficos, climáticos y biológicos en la adaptación Sitio – especie forestal”.

Este estudio se realizó sobre plantaciones de *Eucalyptus globulus ssp globulus*, de 7 años en el Sur del Río Negro, donde se diferenciaron 30 Sitios diferentes en distintas zonas del país.

Del análisis de regresión múltiple efectuado con las variables de suelo, se dedujo que podría haber algún grado de asociación entre la concentración de Na, el porcentaje de arena, el porcentaje de arcilla, el contenido de P y el pH (KCl) en el horizonte A, con el desarrollo en altura total de las plantaciones.

Los mejores ajustes se encontraron con la altura total de los árboles como variable dependiente.

El modelo obtenido por regresión múltiple, utilizando en programa Stepwise, fue el siguiente:

$$\text{Altura total} = 18,59 - 10,56 \text{ Na-A} - 0,133 \% \text{ Arena} + 3,363 \text{ pH(KCl)} - 0,439 \text{ P-A} - 0,15 \% \text{ Arcilla}$$

Coefficiente de correlación r: 0,7585

Coefficiente de determinación r^2 : 0,5754

Un modelo adecuado para uso práctico debe tener un alto coeficiente de determinación y un bajo valor del error estándar, con el menor número posible de variables independientes (Factores de Sitio), fácilmente medibles y comprensibles.

Por otro lado, el método stepwise emplea una forma de selección de variables que hace que las incluidas en el modelo y su orden de inclusión, provean una cierta información adicional sobre la influencia de algunos aspectos particulares del Sitio sobre el crecimiento de los árboles.

De las Salas (1987), citado por Attwill (1996) menciona que, “La construcción de modelos de pronóstico de rendimientos basados en indicadores edáficos es una alternativa metodológica, cuando se trata de fijar unidades productivas en lugares donde no existen referencias directas, tales como series históricas o plantaciones con posibilidades de instalación de parcelas de investigación”.

Dentro de las medidas directas de la productividad, el crecimiento en altura, en un rodal de determinada edad, es muy poco afectado por la densidad del rodal y las cortas intermedias (Attwill, 1996). La utilidad práctica de su correlación con el volumen potencial alcanzable ha permitido su uso como indicador de calidad de Sitio.

Louw (1999) considera que son dos los principales objetivos que guían la mayor parte de los estudios de factores de Sitio:

1. Pronosticar el potencial de crecimiento de los árboles, en tierras donde no se han plantado nunca o se requiere información para especies nuevas.

2. Identificar aquellos factores del ambiente relacionados al crecimiento de los árboles.

A nivel mundial, los estudios más exitosos de este tipo se han realizado en áreas limitadas, con patrones de Factores de Sitio relativamente homogéneos o recurrentes Louw (1999).

Las ventajas de emplear modelos estadísticos para la evaluación de tierras son las siguientes:

- El análisis de regresión lineal constituye un medio fácil de usar para analizar un amplio espectro de factores ambientales como factores independientes que afectan el crecimiento de los árboles. Permite destacar los factores que afectan significativamente el crecimiento de los árboles así como sus interacciones, suministrando una visión interna de la dinámica del Sitio.
- La incorporación de cualquier combinación de Factores de Sitio en un modelo final, permite la integración de todos los componentes del ecosistema (por lo menos en teoría) en la evaluación del Sitio.
- La contribución de cualquier factor ambiental al crecimiento de los árboles puede ser cuantificada, en contraste con sistemas en que la importancia de un factor específico es evaluada por un juicio experto.
- La evaluación final de un Sitio se realiza en un formato cuantitativo, en contraste con otros sistemas en que solo es posible una evaluación cualitativa.
- Los modelos de Sitio-crecimiento se basan en medidas reales de altura de plantaciones existentes.

Las desventajas más importantes, son:

- Los modelos de Sitio crecimiento se aplican solo al área particular estudiada. Las extrapolaciones no deben realizarse sin verificar la adecuación de los modelos en áreas adyacentes.
- Debido a problemas como costos y facilidad de medición, el investigador está limitado por la naturaleza de los factores “independientes” del Sitio que pueden incorporarse para evaluación.
- La posible influencia de factores bióticos sobre el crecimiento de los árboles necesita ser evaluada, pero estos factores no pueden ser incorporados a los modelos de Sitio-crecimiento. Estos modelos solo pueden evaluar condiciones ambientales en las que los factores biológicos no constituyan una limitante significativa. La posible influencia de competencia por malezas, plagas o enfermedades requiere otro tipo de evaluación.
- La interpretación de un modelo puede llevar, a menudo, a percepciones incorrectas. Es necesario tener en mente que las variables independientes en un modelo no son necesariamente las causas de la variación de la variable dependiente.
- El mejoramiento genético de las especies forestales comerciales es muy dinámico y nuevos clones, híbridos y otros tipos de individuos mejorados reemplazan frecuentemente a la especie pura. Sin embargo, el crecimiento del material mejorado no puede ser tomado como capaz de una mejora uniforme a lo largo de todo el rango de factores de Sitio en un área.
- El desarrollo de modelos de Sitio-crecimiento puede ser considerada una operación relativamente costosa.

El empleo de los modelos fuera de contexto y para propósitos equivocados, así como la falta de validación de modelos con datos independientes, son algunas de las razones más importantes de falla.

2.7 CALIDAD DE SITIO FORESTAL

Existen varias formas de definir y medir la calidad de un Sitio forestal.

La calidad de Sitio se define según Cox et al (1997) “como la capacidad de un área determinada para el crecimiento de árboles. Es la respuesta, en el desarrollo de una determinada especie, a la totalidad de las condiciones ambientales (edáficas, climáticas y bióticas) existentes en un determinado lugar. Su conocimiento resulta fundamental en la ingeniería forestal para elegir los mejores Sitios, para plantar la especie apropiada en el lugar adecuado, y para cambiar sus características. Antes se estaba supeditado a cambios de manejo, especialmente en la densidad del rodal. Sin embargo, actualmente pueden modificarse también sus características físicas, a través de la fertilización, irrigación, preparación del suelo, etc”.

La productividad es un concepto biológico y no puede expresarse matemáticamente. Por ello se ha optado por representar la calidad de Sitio a través de un valor o índice denominado Índice de Sitio o Índice de Productividad, ambos muy populares porque son una expresión cuantitativa de la calidad de Sitio.

La evaluación de la calidad de Sitio puede realizarse de dos formas: por métodos directos e indirectos.

2.7.1. Métodos directos

- a) Determinación de volumen o altura del rodal. Este método es difícil de interpretar, salvo que el rodal se encuentre cercano a una edad clave o de rotación, usada como comparación.
- b) Registro histórico de desarrollo y rendimiento.
- c) Intercepción, basada en la medición de longitudes internodales de un cierto número de años de crecimiento después de que el árbol haya alcanzado 1,3m. (algunos autores recomiendan alturas mayores que 2 y 3 metros).
- d) Análisis fitosociológico y / o fisonómico de la vegetación presente en el área.

2.7.2. Métodos indirectos

Estos métodos conducen a la obtención de Índices de Sitio o Productividad a través del análisis de regresión en tres formas diferentes.

- a) Medición de uno o más factores del medio que se consideran como íntimamente relacionados con el crecimiento de los árboles.
- b) Determinación de características propias de los árboles o de los rodales considerados sensibles a la calidad de Sitio.
- c) Una combinación de las anteriores.

Son indicadores de la calidad de un Sitio las variables vegetacionales, ya sea la vegetación arbustiva o herbácea. Ellas permiten calificar la calidad o productividad de un determinado Sitio.

2.8 CALIDAD DE SITIO EN BASE A PARÁMETROS DEL RODAL

En este sentido, se han empleado el volumen y la altura del rodal. El volumen refleja la capacidad productiva del Sitio, pero se ve afectado por factores ajenos como la densidad, el manejo histórico del rodal y también por el procedimiento de estimación.

Otros índices de calidad de Sitio o de productividad son el crecimiento medio máximo, evaluado a una determinada edad, o el volumen al final de la rotación.

En la medición de la calidad de Sitio la variable del rodal más comúnmente usada es la altura dominante, que se refleja a través del **Índice de Sitio**, definido como la altura dominante o predominante promedio de un rodal a una determinada edad clave. La altura predominante es en alto grado independiente de la densidad y del manejo, esto último siempre que los raleos y / o podas no sean muy intensos. Sin embargo, existe una desventaja y es la existencia de desarrollos en área basal muy diferentes para iguales índices de Sitio (Cox *et al*, 1997).

Durante muchos años, se definió el Índice de Sitio como la altura media de 100 árboles dominantes y codominantes por hectárea a una edad índice.

Según Bonilla (1971) “el problema se presenta cuando se quiere encontrar un índice relativamente simple y seguro, que exprese el efecto de los factores edáficos, climáticos y bióticos y sus respectivas interacciones”; “el uso de la altura como “Índice de Sitio” sólo debe aplicarse a masas coetáneas con densidades no extremas. La variable más usada como Índice de Sitio es la altura de los árboles dominantes y codominantes”.

Aún cuando el crecimiento en altura parece ser el mejor Índice de Sitio (teniendo en cuenta seguridad y simplicidad), existen ciertas objeciones:

- Las densidades extremas afectan el crecimiento en altura.
- Existe variación entre árboles en lo referente a su altura debido a diferencias genéticas.
- En latifoliadas de copa delicuescente se hace difícil la mensura correcta de los árboles.
- La competencia con otras plantas en los primeros años de vida del bosque, llega a producir algunas variaciones en el crecimiento altimétrico.

Cabe señalar que la determinación del Índice de Sitio para bosques jóvenes, puede tener el inconveniente que ciertas características del suelo, a determinada profundidad del mismo, aún no hayan actuado sobre el crecimiento dado que las raíces no llegaron todavía a esa zona (Bonilla,1971).

El mismo autor menciona en uno de sus artículos: “De acuerdo a distintos trabajos realizados en distintos países y con distintas especies, se recomienda utilizar para la determinación del Índice de Sitio, la altura de los tres o cuatro árboles más gruesos de la parcela, a los que se le mide el DAP, altura y edad”.

Según Bonilla (1971), no resulta fácil evaluar directamente las relaciones causa-efecto, pues existen interacciones continuas entre los factores ambientales y genéticos y a su vez dentro de ellos entre sí.

Básicamente se utilizan cuatro tipos de mediciones generales para evaluar la calidad de un Sitio forestal:

- a través del volumen de los árboles;
- a través de las características ambientales;
- mediante mediciones de la vegetación;
- a través de los Índices de Sitio propiamente dichos.

2.8.1. Medición del volumen de los árboles.

Consiste en expresar el volumen por unidad de superficie de acuerdo a la edad de los árboles del Sitio. Se consideran árboles dominantes y codominantes, pues la altura de estos individuos es casi insensible a las diferencias de densidad y además porque para evaluar el potencial productivo de un Sitio, deben analizarse los mejores exponentes.

La calidad del Sitio se mide a través de la cantidad de madera producida en un área, durante un determinado período de tiempo.

El principal inconveniente de analizar este parámetro es que el volumen es dependiente de la densidad del bosque. Por lo tanto, a través de este parámetro, no se tiene una idea exclusiva de la capacidad productiva inherente al Sitio específicamente, sino a la interacción de éste con el resto de los factores enumerados.

2.8.2. Medición de las características ambientales.

Para este tipo de análisis se construyen curvas de regresión múltiple, donde la variable dependiente es la altura de los árboles y las variables independientes son determinadas características ambientales, del árbol y del rodal.

A continuación se detallan los factores o variables más relevantes:

- 1) Factores o variables del rodal (densidad, cobertura, índice de competencia).
- 2) Factores del suelo (profundidad, porcentajes de arena – limo- arcilla, nivel de agua o capacidad de campo, poros, pH, N, P, salinidad, napa freática, etc.)
- 3) Factores foliares (N foliar en hojas jóvenes y adultos, ídem para P, K, Ca, Mg, CU, y macro o microelementos en general).
- 4) Factores fisiográficos (exposición, pendiente, altitud, nivel sobre el mar, distancia al mar, etc).
- 5) Factores climáticos (temperaturas mínimas, precipitación, vientos).

2.8.3. Medición de la vegetación.

Este método consiste en utilizar plantas indicadoras naturales como evaluación del tipo y calidad del Sitio. Este concepto se desarrolla ampliamente en Ecología.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. CARACTERÍSTICAS FISIOGRÁFICAS Y AGROCLIMÁTICAS DEL ÁREA DE ESTUDIO

3.1.1 Geología

La zona donde se realizó el trabajo de campo de la tesis está geológicamente situada entre las formaciones **Paso Severino** y **Arroyo Grande**, las que caracterizan el subsuelo del norte del departamento de Colonia, este del de Soriano y los departamentos de Flores y Florida.

El rasgo dominante es la abundancia de áreas graníticas y migmatíticas. No se reconocen extensiones cartografiables de ectinitas, las cuales aparecen como relictos locales no migmatizados (Bossii, *et al* 1991).

Es difícil hacer una generalización de las características geológicas de esta faja granitizada, pero ciertos rasgos estructurales y litológicos son tan frecuentes, que merecen ser mencionados.

Una de las características más notables es la abundancia de áreas graníticas con profiblastos de microclina y biotita como accesorio dominante.

Según Bossi *et al* (1991) estas características se pueden observar en las zonas aledañas a Cerro Colorado, Nico Pérez-Batlle y Ordoñez, entre otras.

Las rocas encontradas son petrográficamente granodioritas o granitos calcoalcalinos con omnipresencia de plagioclasas, microclina y cuarzo. El accesorio dominante es la biotita. La estructura se homogeneiza totalmente en parches de algunos kilómetros cuadrados y en otras áreas muestra migmatitas parcialmente orientadas o relictos de ectinitas no asimilados.

Otro prototipo estructural muy frecuente son las áreas migmatíticas con afloramientos de gneisses acordonados que, cuando son expuestas en canteras de cierta profundidad, muestran su verdadera naturaleza migmatítica. Por lo menos en el departamento de Florida constituyen la mayor parte del subsuelo.

Los gneisses son piroxénico-graníferos de grano fino homogéneo.

Los suelos vegetales se desarrollan fácilmente sobre las migmatitas, mientras que las rocas graníticas, menos diaclasadas y con mayor cantidad de cuarzo, son resistentes a la meteorización.

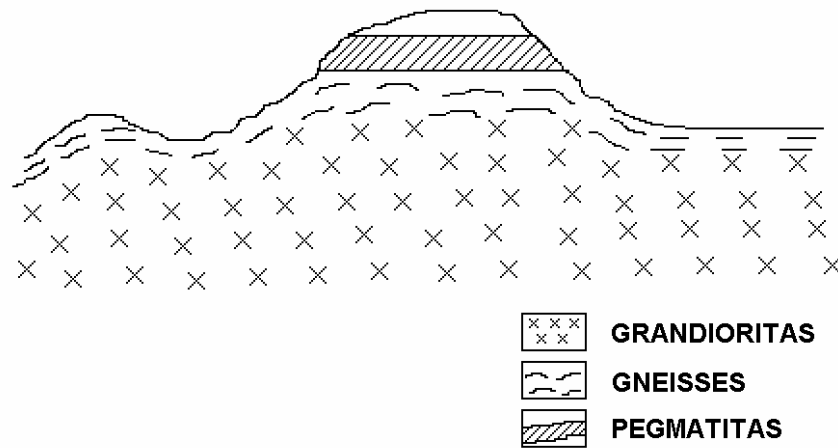


FIGURA 5. Corte geológico de la zona de Florida. BOSSI (1975).

Según Sganga (1996), la geología del área está conformada sobre una base cristalina bien fragmentada, de granitos orientados, generalmente con afloramientos globoides, de naturaleza calco alcalina y filones cuarcíticos intercalados con otras rocas que no afloran, probablemente gneisses muscovíticos o biotíticos.

Cubriendo esta base se encuentran sedimentos cuaternarios, producto de la alteración del sistema cristalino original (de relieve montañoso).

Las últimas manifestaciones sedimentarias son de coluviones y aluviones modernos, que colmatan los valles y planicies.






3.1.2. Suelos

3.1.2.1. Descripción de los suelos CONEAT

El área donde se desarrolla la plantación analizada, corresponde al padrón catastral número 11894 que cuenta con los grupos CONEAT, 2.11a, 2.12, 2.13, 2.21 y 03.3 (CUADRO 3).

La totalidad de la superficie del área de estudio está compuesta por suelos de prioridad forestal ya que sobre el grupo 03.3 no se ha plantado (FIGURA 6).

CUADRO 3. Grupos de suelos CONEAT del área de estudio correspondiente al padrón 11894. CONEAT.

Florida - 11894			
	Grupo	Índice	Porcentaje
	2.11a	53	10.2 %
	2.12	83	52.5 %
	2.13	92	5.6 %
	2.21	105	29.8 %
	03.3	96	1.8 %

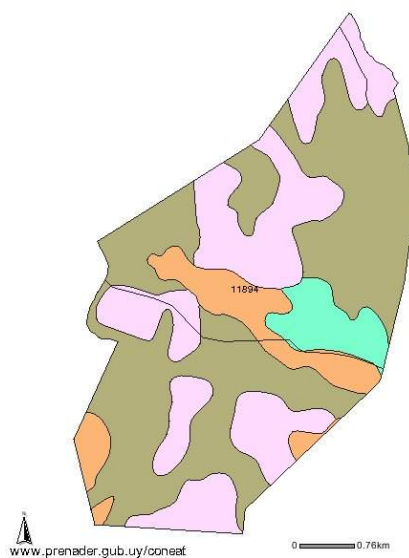


FIGURA 6. Suelos CONEAT del área de estudio, correspondiente al padrón 11894. CONEAT.

A continuación, se presenta una descripción genérica de los grupos CONEAT del área de estudio, que formaron parte del muestreo preliminar y del definitivo, subrayando aquellos suelos que se encuentran en la zona de la plantación 1997 estudiada.

GRUPO 2.12

Son sierras no rocosas de relieve ondulado y ondulado fuerte, con afloramientos en general menores de 5% y pendientes variables entre 5 y 15%. Los suelos son Brunosoles Subéutricos Háplicos y Típicos, arenoso francos y francos, algunas veces arenosos franco gravillosos, superficiales y moderadamente profundos, (Regosoles y Praderas Pardas medias poco profundas). Asociados a estos, se encuentran Litosoles Subéutricos Melánicos, arenoso-franco-gravillosos, a veces muy superficiales y pedregosos y **Brunosoles Subéutricos Lúvicos** (Praderas Pardas máximas), francos u ocasionalmente arenoso-francos, a veces ródicos (Praderas Rojas). La vegetación es de pradera de ciclo predominantemente estival, a veces con matorral y monte serrano asociado, en general en las gargantas y áreas cóncavas. El uso actual es pastoril. Ocupa grandes extensiones en los Departamentos de Maldonado, Lavalleja, oeste de Treinta y Tres y suroeste de Cerro Largo. Los suelos de este grupo forman parte de la unidad Sierra de Polanco de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.).

GRUPO 2.13

Son sierras aplanadas no rocosas, asociadas a sierras no rocosas onduladas, con interfluvios extendidos aplanados o ligeramente ondulados en la parte superior con pendientes de 1-2% y pendientes de 4-8% en las laderas más fuertes. El material geológico corresponde a rocas graníticas, más alteradas que en las unidades anteriores, a veces recubiertas con sedimentos muy delgados totalmente edafizados. Los suelos son **Brunosoles Subéutricos Típicos**, francos, profundos y moderadamente profundos, a veces a contacto pseudolítico (Praderas Pardas poco profundas) y **Brunosoles Subéutricos Háplicos**, arenoso franco gravillosos y franco gravillosos, superficiales (Regosoles). Asociados a estos, en las laderas más fuertes y próximos a los afloramientos, ocurren Litosoles Subéutricos Melánicos, arenoso franco gravillosos, a veces muy superficiales y pedregosos. La vegetación es pradera de ciclo predominantemente estival, con matorral serrano asociado en las gargantas y áreas cóncavas de mayor pendiente. El uso actual es pastoril. Ocupa áreas en los alrededores de Cerro Chato, Valentines, Puntas del Olimar, oeste de Treinta y Tres y norte de Maldonado. Los suelos de este grupo integran la unidad Cerro Chato y una parte importante de la unidad Sierra de Polanco de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.).

GRUPO 2.21

El relieve es de colinas, con interfluvios convexos y pendientes entre 6 y 12%. Los suelos son Brunosoles Lúvicos (Praderas Pardas máximas), francos y **Argisoles**

Subéutricos Melánicos Abrúpticos, francos a veces moderadamente profundos (Praderas Planosólicas). Los Brunosoles se dan en las laderas convexas o planas, en tanto que los Argisoles se relacionan a la zona alta mas suave de los interfluvios. Este padrón de suelos se da en el sur del Dpto. de Treinta y Tres y norte de Rocha, en tanto que en el sur de Rocha y Maldonado dominan los Brunosoles de texturas mas finas y mayor fertilidad natural. Asociados a estos, ocurren suelos de menor espesor: Brunosoles Lúvicos moderadamente profundos ródicos (Praderas Rojas) y accesoriamente Litosoles Subéutricos Melánicos, a veces muy superficiales. Ambos se relacionan a áreas mas disectadas o estalles, o a proximidad de afloramientos rocosos. El material madre esta constituido por un débil manto (a veces discontinuo) de sedimentos limo arcillosos cuaternario sobre la roca del basamento cristalino. La vegetación es de pradera predominantemente estival, y el uso actual pastoril. Ocupa áreas importantes al oeste y suroeste de Treinta y Tres, alrededores de Velásquez y sur del Departamento de Maldonado. Los suelos de este grupo corresponden a la unidad José Pedro Varela de la carta a escala 1:1.000.000 (D.S.F.).

3.1.2.2. Evaluación de suelos del área de estudio

En el mes de diciembre del año 1996 se realizó un estudio de suelos del predio ubicado en “Parada Arteaga” (Sganga, 1996).

El estudio fue realizado en las 7439 ha del predio, que hasta el año 1996 se dedicaron principalmente a la cría de ganado ovino-bovino y, en algunas áreas reducidas, a la agricultura o las praderas convencionales.

El área comprende tierras de transición ente el sistema serrano y el cristalino central, por lo que no presentan características modales de éstos, sino condiciones transicionales (marginales).

Así, la información CIDE (1962) citado por Sganga (1979), determina en ese lugar, el límite de las Zonas 2 y 5 de la Carta de Reconocimiento a escala 1:1 millón de la Dirección de Suelos y Agua (1976), el límite entre San Gabriel-Guaycurú y Sierra Polanco. Este aspecto marginal del área también ha sido el causante de diferencias entre las características reales de los suelos del área de estudio y la descripción de CONEAT para los suelos en ellas comprendidos.

El relieve es de colinas y lomadas, muy penetrado por las vías de drenaje, las que, en general, tienden a un sistema dendrítico, condicionado por el granito.

Los suelos presentan como característica saliente, el gran desarrollo de los horizontes Bt, que tienen su mayor expresión en los Planosoles y Argisoles, que son los suelos dominantes, y la discontinuidad en los materiales generados del suelo.

Son suelos ácidos, predominantemente suelos Saturados Lixiviados, en algunos casos próximos a la definición de Luvisoles.

La naturaleza mineralógica determina una variable cantidad de potasio y la presencia significativa del catión sodio, generalmente trasladado a las partes más bajas del paisaje (dada su alta movilidad).

Son suelos pobres en materia orgánica y fósforo y con horizontes Bt que evidencian hidromorfismo, con colores y moteados pardo claros, amarillos y rojos. Estas condiciones periódicas de reducción del suelo, genera la formación y movilización de óxidos de hierro, entre otras sustancias.

El sistema hidrológico está relacionado a la naturaleza de los suelos y en él es muy importante el escurrimiento subsuperficial (sobre el horizonte Bt), generándose vertientes en muchas concavidades. El régimen de inundaciones es de corta duración y afecta las vías de agua principales.

Los suelos presentan en general, colores pardo a pardo oscuros (7.5YR4/3 – 10YR3/2) en el horizonte superficial, a excepción de Gleysoles, Fluvisoles y Vertisoles, cuyo color es negro

La transición A – Bt es por lo general brusca, con stone-line (pavimento casajoso) en los pseudolíticos. Las concentraciones calcáreas a nivel de sustrato (CCa) son de escasísima expresión.

Las texturas, de carácter netamente franco a franco arenoso, presentan proporciones similares de arenas finas y gruesas, aunque ocasionalmente predomina esta última (Familia ArF).

El sustrato rocoso, está fragmentado, no constituyendo contactos líticos, al menos en los primeros 120cm, con horizonte R casajoso gravilloso.

La relación con los Grupos CONEAT, se dificulta por la diferencia de escalas. Sin embargo resulta de valor a los efectos de poder correlacionar estas Series con tierras de otras reines, a través de su analogía en el sistema.

3.1.2.3. Resultados del estudio de suelos

Como resultado del estudio de suelos específico para el predio de “Parada Arteaga” se presentó un mapa digital, diferenciando geográficamente cada polígono de suelo.

Dentro del padrón 11894, Sganga diferenció 27 tipos de suelos asociados. De esos 27 tipos se utilizaron en el trabajo solamente 13, que son los suelos correspondientes a la plantación de *E. globulus ssp. globulus* del año 1997.

CUADRO 4. Unidades de suelos identificadas por SGANGA (1996) y su correspondiente grupo CONEAT.

Suelo identificado Por SGANGA (1996)	Suelo CONEAT
1	2.21
2	2.21
22	2.21
32	2.12
33	2.13
41	2.12
42	2.12
47	2.12
78	2.21
188	2.12
195	2.13
216	2.12
244	2.13

Cada número de suelo identificado por Sganga (1996), corresponde a un polígono. Como se desprende del cuadro anterior cada polígono se puede asociar a un grupo CONEAT. Dentro del área de muestreo los grupos CONEAT encontrados fueron el 2.12, 2.13 y 2.21.

En la FIGURA 7 se detalla la distribución geográfica de cada unidad de suelo en la plantación analizada.

Estudio de suelos

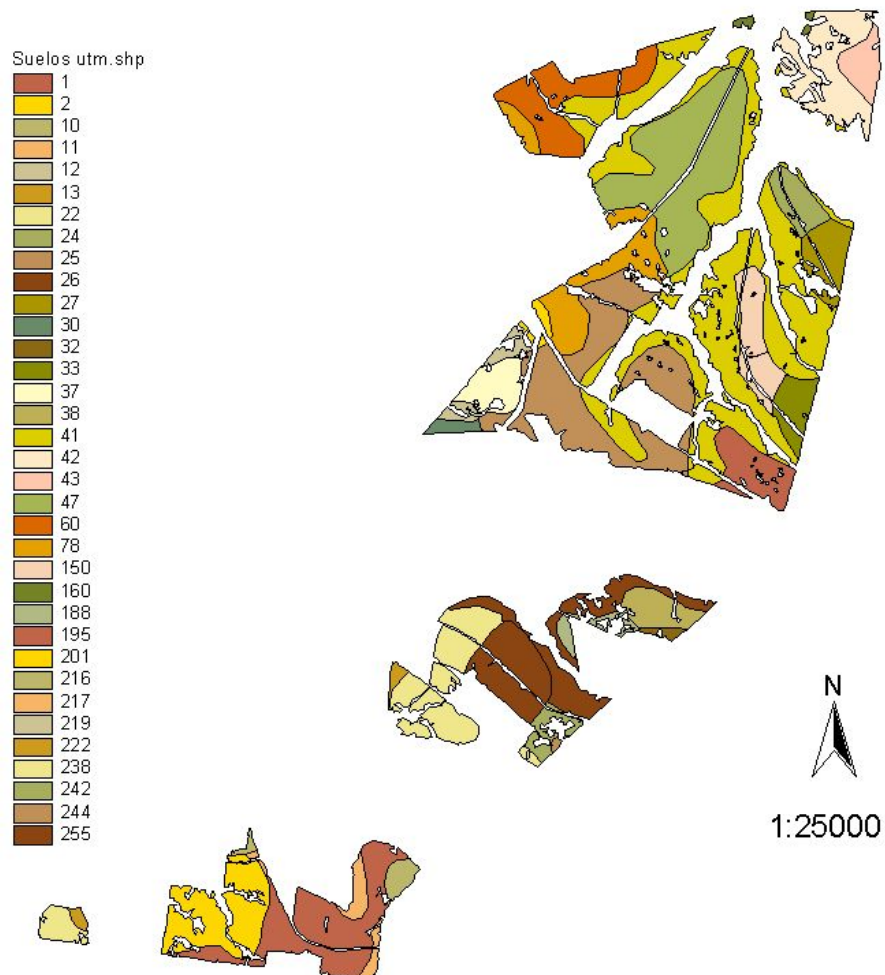


FIGURA 7. Mapa de suelos del área de estudio. SGANGA (1996).

En el **ANEXO 1** se presenta para cada polígono de suelo una tabla con las siguientes variables.

1. Suelo.
2. Uso de la tierra.
3. Geología.
4. Relieve.
 - a. Forma
 - b. Pendiente
 - c. Largo de laderas
 - d. Exposición
 - e. Altura sobre el nivel del mar
5. Características del suelo
 - a. Espesores
 - b. Estructura
 - c. Textura
 - d. Datos químicos
6. Cualidades del suelo
 - a. Espacio a las raíces
 - b. Disponibilidad de oxígeno
 - c. Disponibilidad de agua
 - d. Densidad aparente
 - e. Riesgo de heladas
 - f. Fertilidad actual
 - g. Balance catiónico
 - h. Rocosidad y pedregosidad
 - i. Inundaciones
 - j. Accesibilidad a la forestación

El estudio de Sganga (1996) incluye, además de la clasificación CONEAT, las características físico-químicas de los grupos de suelos, que fueron utilizadas en el presente trabajo para llegar al modelo de correlación múltiple.

3.1.3. Características agroclimáticas

Para la descripción agroclimática, se usaron datos del S.U.L. (Secretariado Uruguayo de la Lana), por ser la estación agrometeorológica más cercana, encontrándose a solo 30 Km de la plantación estudiada.

En lo referente a precipitación mensual promedio y temperaturas mensuales promedios se utilizaron datos de una serie de 19 años, a partir del año 1986, año donde se comenzó a tomar esos registros (CUADROS 5 y 6).

CUADRO 5. Promedios mensuales de precipitaciones.

Fuente: Secretariado Uruguayo de la Lana, año 2005

	PRECIPITACIONES PROMEDIOS SERIE 1986-2004
<i>Enero</i>	87,7
<i>Febrero</i>	109,6
<i>Marzo</i>	116,9
<i>Abril</i>	119,2
<i>Mayo</i>	96,8
<i>Junio</i>	89,2
<i>Julio</i>	95,3
<i>Agosto</i>	95,8
<i>Septiembre</i>	101,6
<i>Octubre</i>	121,3
<i>Noviembre</i>	121,0
<i>Diciembre</i>	103,9
Total anual	1258,3

Como se puede observar en el cuadro anterior no existen grandes diferencias en las precipitaciones promedios mensuales, aunque los valores oscilan entre los 88 y 121mm.

CUADRO 6. Promedios mensuales de temperatura. Fuente: Secretariado Uruguayo de la Lana, año 2005.

	PROMEDIOS SERIE 1986-2004
<i>Enero</i>	22,8
<i>Febrero</i>	22,0
<i>Marzo</i>	20,7
<i>Abril</i>	17,1
<i>Mayo</i>	13,4
<i>Junio</i>	10,8
<i>Julio</i>	10,0
<i>Agosto</i>	12,1
<i>Septiembre</i>	12,9
<i>Octubre</i>	15,9
<i>Noviembre</i>	18,2
<i>Diciembre</i>	20,8
ANUAL	16,4

Las temperaturas promedios máximas se dan en los meses de verano, siendo el mes de enero el que tiene las mayores temperaturas, que alcanzan un valor de 22,8 ° C.

Con respecto al descenso de temperatura se observa una disminución bastante pronunciada de unos 4 grados promedio entre los meses de abril y mayo. Luego la temperatura sigue bajando siendo la temperatura promedio más baja la correspondiente al mes de julio con 10 grados Celsius.

La temperatura promedio anual de la zona aledaña a Cerro Colorado es de 16,4 grados Celsius. Esa temperatura es levemente inferior a la que se observa en el mapa de Isotermas e Isohietas media anuales a escala nacional (FIGURA 8).

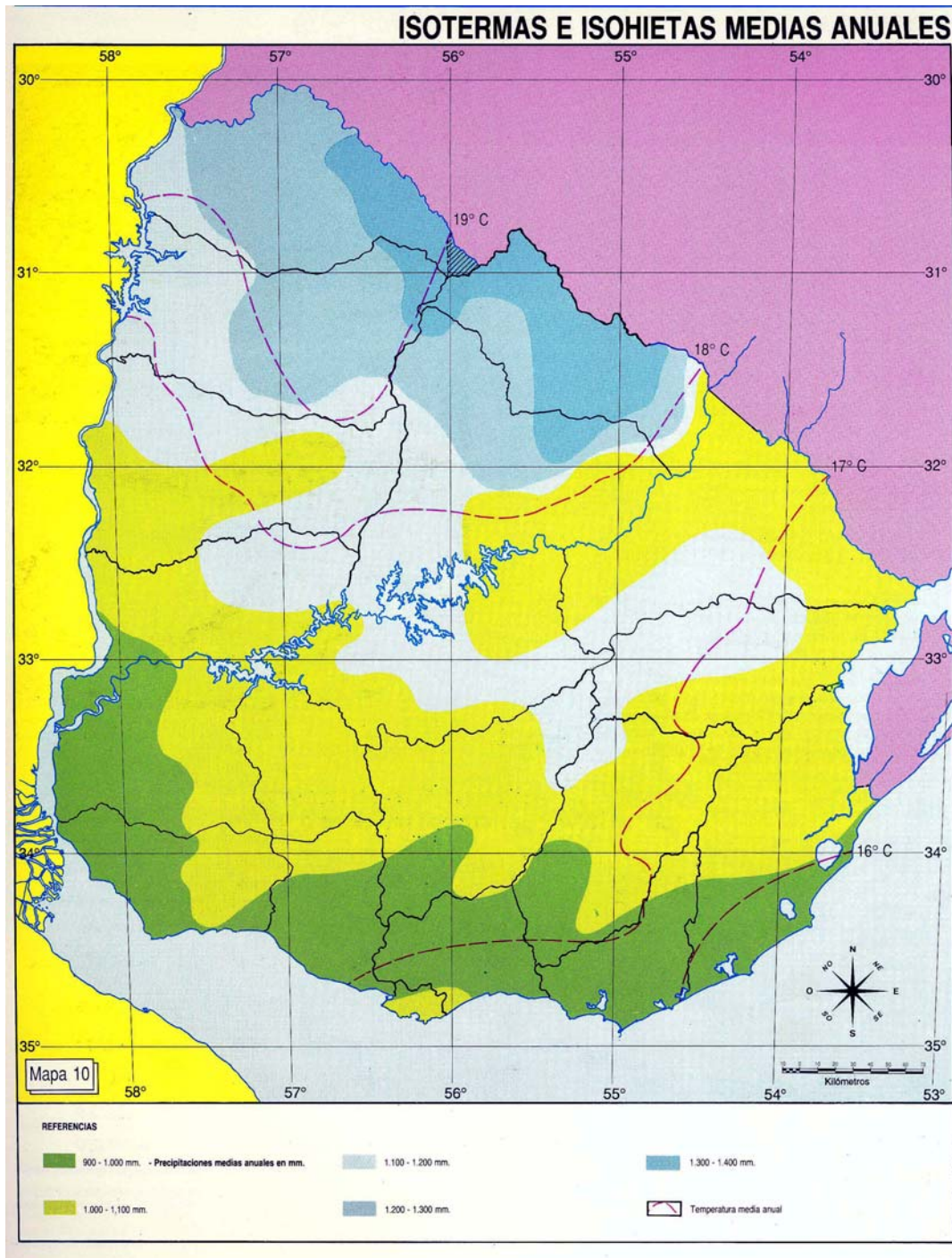


FIGURA 8. ISOTERMAS E ISOHIETAS medias anuales de Uruguay.

El comportamiento de las temperaturas promedio es similar al resto del país, con temperaturas promedio mayores en los meses de verano, lo que estará afectando a una mayor evapotranspiración potencial y por ende a períodos de déficit hídrico en algunos suelos.

Para las Temperaturas máximas promedio, mínimas promedio, evapotranspiración potencial y número de heladas se utilizaron datos de una serie de 10 años a partir del año 1986 (SUL, 1996)

En el CUADRO 7 , se observa que la temperatura mínima promedio más baja ocurre en julio con 5,6 ° C y la máxima promedio en el mes de enero con 29 ° C.

CUADRO 7 . Promedios de temperaturas promedio máximas y mínimas mensuales entre los años 1986 – 1995. Fuente: Estudio de Clima CJPPU, Año 1996.

MESES	TEMP MÍN PROMEDIO	TEMP MÁX PROMEDIO
Enero	16,5	29,0
Febrero	16,8	27,5
Marzo	15,6	26,0
Abril	12,4	21,7
Mayo	8,6	17,9
Junio	6,6	14,8
Julio	5,6	14,0
Agosto	7,1	16,0
Septiembre	7,8	17,4
Octubre	10,5	20,6
Noviembre	12,9	23,6
Diciembre	15,4	26,8

A continuación se muestra un resumen de la frecuencia de heladas promedio, por rango de temperaturas para una serie de 10 años entre los años 1986 – 1995.

CUADRO 8 . Número de heladas promedio anuales por rango de temperaturas para la serie 1986 – 1995. Fuente: Estudio de Clima CJPPU, Año 1996.

Temperaturas mínimas	Entre 0 y - 2° C	Entre - 2 y - 4° C	Entre - 4 y - 6° C	Entre - 6 y - 8 ° C	Menor que -8° C	Total
N ° de heladas	17	15	9	4	2	46

Las heladas más frecuente se encuentran entre 0 y -4°C , sumando un total de 32, lo que representa un 70% del total de heladas.

Como indica la FIGURA 9, la fecha promedio de ocurrencia de la primera helada, en la zona de Cerro Colorado es el 10/06, y la fecha promedio para la última helada es el 20/08, según datos aportados por Facultad de Agronomía (1978).

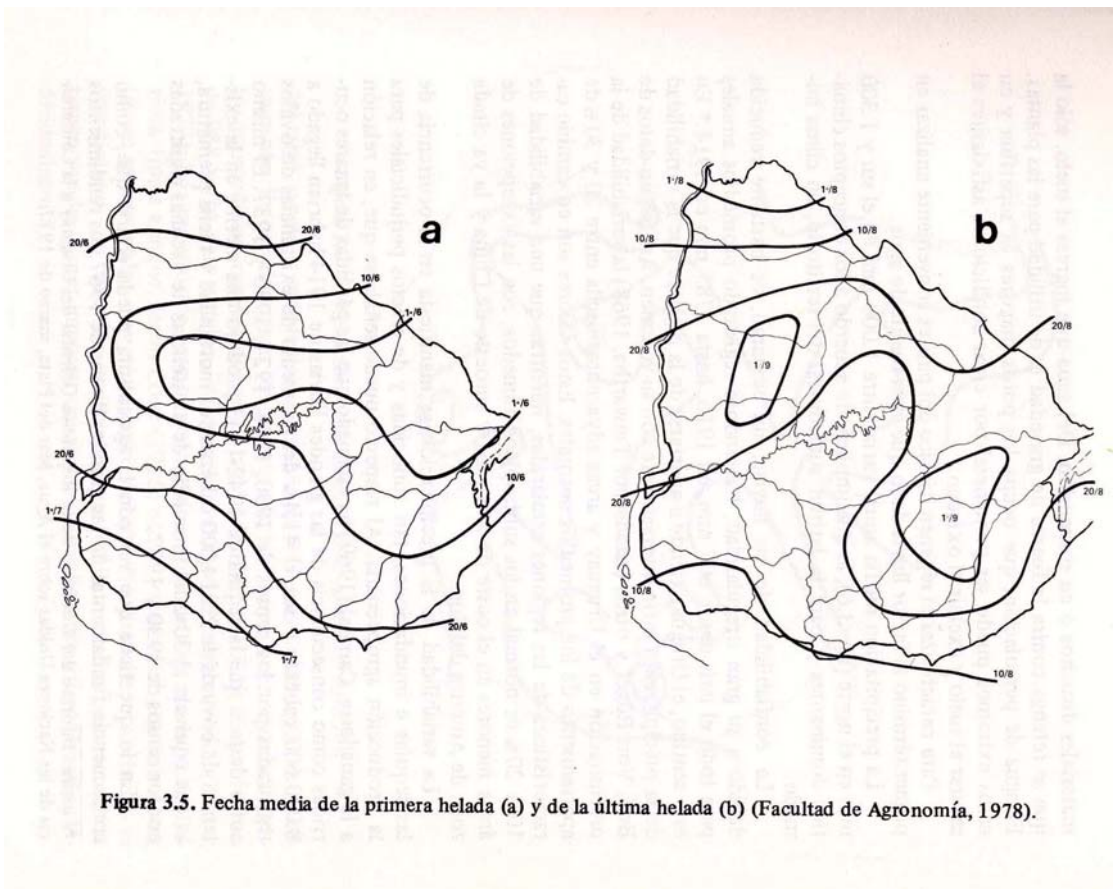


FIGURA 9. Fecha media de primera helada (a) y última helada (b) (Facultad de Agronomía 1978).

En el GRÁFICO 2 se presentan los datos de E.T.P. (Evapotranspiración Potencial), resumidos en el estudio de Clima de la Caja de Profesionales para una década. En este gráfico se observa que las mayores magnitudes se dan en verano.

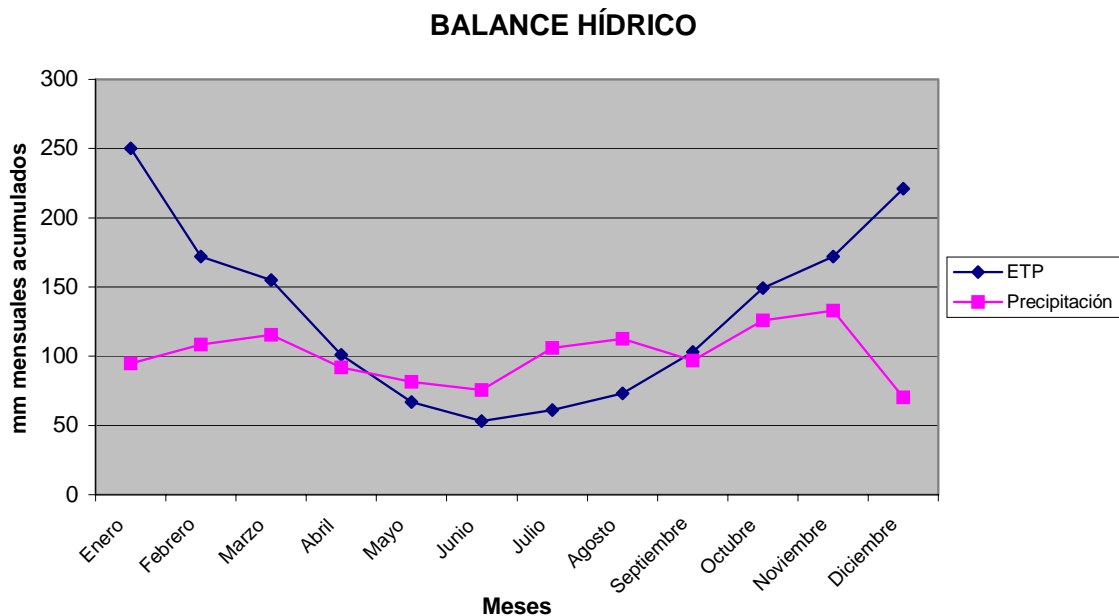


GRÁFICO 2. Balance hídrico de Cerro Colorado para la serie 1986-1996.

Fuente: Estudio de clima, realizado por Eliseo Sequeira para la CJPPU, Año 1996.

Como se desprende del gráfico en los meses de invierno existe mayor precipitación que evapotranspiración, lo que permite que exista un almacenaje de agua en el suelo mientras que en verano ocurre exactamente lo contrario.

La capacidad de almacenaje de agua va a estar sujeta al tipo de suelo. Como se mencionó anteriormente los suelos del área de estudio presentan un horizonte A, de unos 25 a 40 cm y por debajo de éste se encuentra el horizonte Bt casi impermeable, lo que favorece el anegamiento superficial en los meses de invierno, más que nada en las parte baja.

En el verano estos suelos retienen el agua en su horizonte A. El espesor de ese horizonte es muy importante porque allí se desarrollan las raíces y desde allí básicamente, los árboles toman el agua y los nutrientes.

Es muy importante destacar que la plantación estudiada sufrió tres inclemencias meteorológicas muy importantes que pueden haberla afectado. Ellas fueron: vientos fuertes de más de 120 km/hora en el año 2000, una helada muy grande en el año 2002 y dos sequías prolongadas en el año 2000 y 2004, cuando la plantación del estudio contaba con 4 y 7 años de edad respectivamente.

3.2. CARACTERÍSTICAS DE LA PLANTACIÓN

La plantación analizada fue plantada en la primavera del año 1997, por una empresa contratada por la Caja y cuenta con una superficie de 320 ha de *Eucalyptus globulus ssp globulus*, distribuidas en los potreros que se presentan con los números 1, 2, 3, 4 en la FIGURA 10.

A continuación se detallan las labores realizadas para su implantación.

- Control de hormigas
- Marcación de caminos y cortafuegos
- Marcación de curvas de nivel
- Preparación de suelo:
 - Subsolador con tractor a un metro de profundidad
 - Primera pasada de excéntrica
 - Segunda pasada de excéntrica
- Plantación manual
- Replantación
- Fertilización
- Tareas de mantenimiento
 - Primera pasada de excéntrica en entre-filas
 - Segunda pasada de excéntrica en entre-filas

La semilla es de origen chileno, de Chillán, correspondiente a la VIII Región chilena.

La fertilización fue con fosfato de amonio, fórmula 40-20-00, 100 g por planta, 50 gramos a cada costado a 30cm de la planta y a 20 cm de profundidad. No se aplicó potasio.

El marco de plantación exigido fue de 4 m entre las filas y 2 m entre plantas, totalizando una densidad inicial de 1250 plantas por hectárea. La empresa exigió en aquel momento un 85% de prendimiento al año de la plantación, porcentaje que fue logrado.

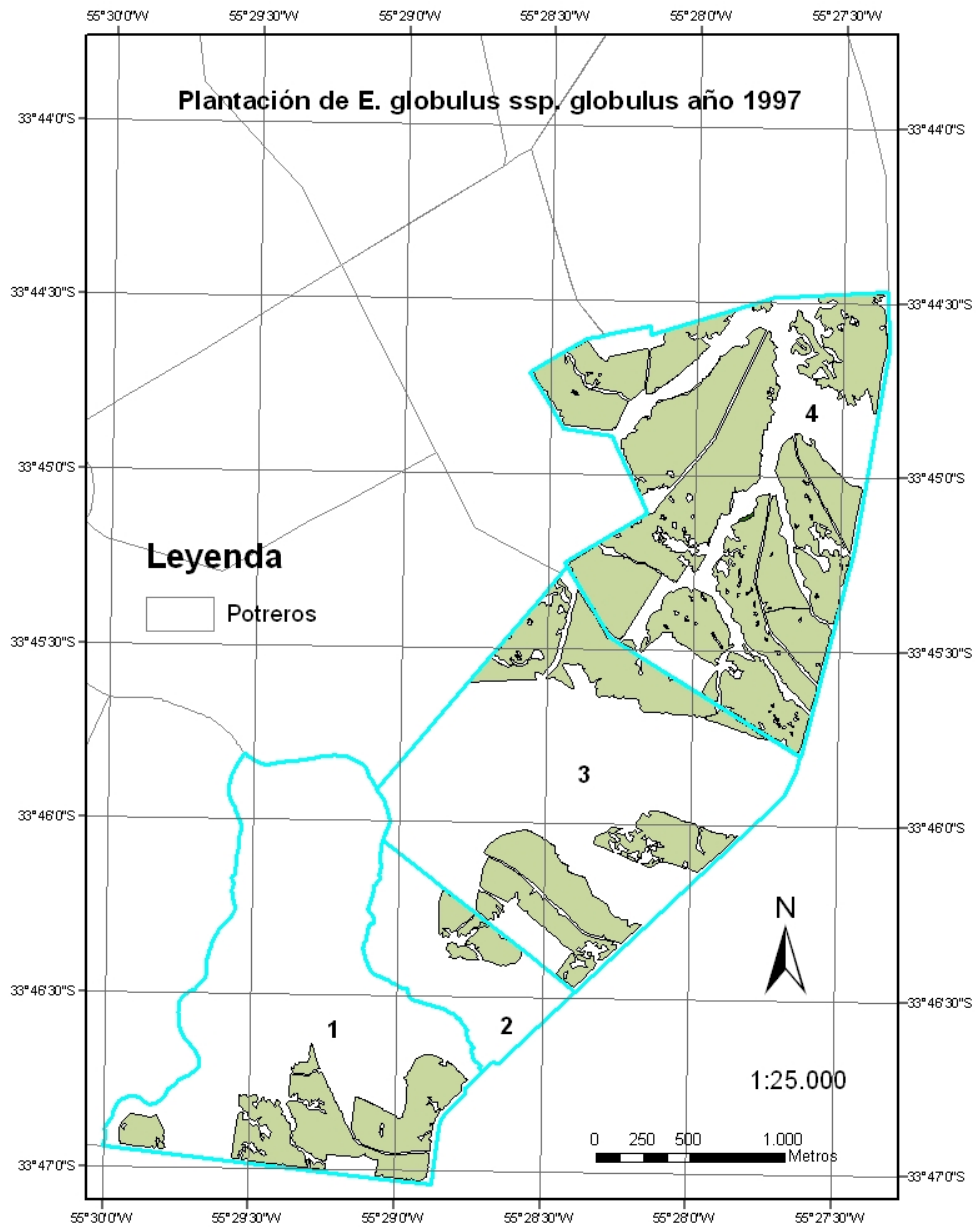


FIGURA 10. Ubicación de la plantación analizada dentro del predio.

3.3. MATERIALES EMPLEADOS

Los materiales utilizados en esta tesis fueron gentileza de la Caja de Profesionales Universitarios.

3.3.1. Instrumental

- Una cinta métrica de 40 m.
- Hipsómetro láser (Vertex II) para estimación de alturas.
- Forcípula digital para el registro de diámetros.
- Sistema de Posicionamiento Global (G.P.S.) para registros de la parcelas.
- Colectoras de datos.
- Software Arc-view.

3.3.2. Equipos

- Dos motos marca Honda XLR 125, para el traslado interno dentro del establecimiento.
- Una motosierra STHIL 0.36 para el apeo de árboles.
- Una notebook para el procesamiento y almacenamiento de los datos.
- Una calculadora científica.
- Dos mochilas para el transporte de materiales e instrumentos.
- Vestimenta de trabajo (pantalón, camisa y botas de goma).
- Equipo de seguridad (casco, chaleco fluorescente, polaina, guantes y zapatos de seguridad con punta de acero).
- Equipo de seguridad para el funcionario que maneja la motosierra (pantalón de seguridad, casco protector visual y auditivo, guantes y chaleco de seguridad).
- Un recipiente anti-vuelco para cargar nafta y aceite de la motosierra.

- Una regla para la medición de corteza y diámetro de las trozas para el cálculo del factor de forma.

3.3.3. Insumos

- Pintura al agua exterior, color blanco.
- Pinceles y espátulas.
- Estaca con una piola de 7,98 m utilizada para marcar las parcelas de 200 m².
- Combustibles y lubricantes para las motos y la motosierra.
- Planillas de papel elaboradas en Excel y disquetes.
- Pilas alcalinas y baterías.
- Materiales de oficina
- Herramientas de afilado para la motosierra.
- Mapas varios

3.4. TOMA DE MUESTRAS.

3.4.1. Muestreo preliminar

Se realizó un muestreo preliminar con una intensidad de una parcela cada cinco hectáreas lo que corresponde a un 0,4 % de la superficie de la población, con el objetivo de preestablecer Sitios forestales y delimitarlos geográficamente, usando para ello herramientas computacionales adecuadas que manejan datos georreferenciados (Arc-view).

3.4.1.1. Metodología del muestreo preliminar

3.4.1.1.1. Planificación

- Construcción del mapa de campo, definición de las parcelas por potrero y numeración de las mismas.
- Utilización de mapas, escala 1:25.000 y 1:50.000.

- Distribución espacial de las unidades de muestro realizadas en gabinete. Se distribuyeron azarosamente, pero considerando su distribución en las laderas alta, media y baja (**ANEXO 2**).

3.4.1.1.2 Trabajo de Campo

Unidades de Muestreo:

- Las unidades de muestreo fueron parcelas circulares de 200 m² (radio de 7,98 m).
- Se marcaron con pintura al agua, de color blanco. En el exterior de la misma se pintó la entrada con el número correspondiente al mapa. En su interior se numeró solamente el árbol N° 1 que se ubicó en el extremo del surco más alejado del centro. Se consideró el sentido horario para empezar el registro de datos pues es un criterio usado para mantener un orden en la obtención de los mismos.

Instalación de la Unidad de Muestreo y Levantamiento de Datos

- En el campo se trabajó con grupos de dos operarios. Se ubicó el punto de la parcela considerando siempre la escala manejada en el mapa de campo. En el interior del rodal se ubicó el centro de la parcela, colocando allí una estaca con una cuerda de radio correspondiente a 7,98 m.
- La estaca fue colocada en la entre-fila y entre dos árboles enfrentados, siendo éstos, los centros de la parcela.
- Mientras un operario realizaba el marcado de los árboles extremos de la parcela, considerando extremos a aquellos en los que la cuerda alcance por lo menos hasta la mitad del diámetro del árbol, el otro operario lo seguía e iba pintando los árboles marcados como extremos.

- Se numeró solamente el primer árbol de cada parcela. Los demás árboles extremos llevaron marcas cuadradas por encima del D.A.P. de unos 15 cm aproximadamente. Los centros de la parcela llevaron anillos completos.
- Luego de marcar el giro el operario que marcó la parcela, medía los diámetros a la altura del pecho, y las medidas de altura total.

3.4.1.2. Registro de Datos

- **Altura total:** Se midieron con vertex. Se seleccionaron 10 árboles vigorosos y sanos de cada parcela, tratando que ellos fueran los más representativos de la parcela. Para estimar la altura con vertex el operario que efectúa la medida debe alejarse una distancia aproximada a la altura del individuo a medir. Luego debe tomar dos medidas consecutivas, una apuntando el láser hacia el ápice del árbol y la otra apuntando hacia la base. La medida hacia la base es para confirmar que el instrumento este funcionando bien y debería oscilar entre 0 y 30 cm.
- **D.A.P.:** Se midieron todos los D.A.P. tomando dos valores por individuo.
- **GEORREFENENCIA.:** Se realizó el registro de los puntos de las parcelas, usando el G.P.S., tomando 20 posiciones de cada punto ubicado en el centro de la parcela entre los dos árboles centrales (**ANEXO 2**).

3.4.1.3. Delimitación de Sitios

A partir de los resultados de altura total del muestreo preliminar, se dividió el área de estudio en cuatro clases de Sitio, dentro de las cuales se realizó el muestreo definitivo. Los resultados y el procesamiento de la delimitación de Sitios se detallarán más adelante.

3.4.2. Muestreo definitivo

A partir de los datos del muestreo preliminar se calculó el tamaño mínimo de muestra con un 95 % de probabilidad, para el muestreo definitivo en los diferentes Sitios. Este valor fue superior a 100 árboles en total. Sin embargo, por razones de tiempo y costo, se estableció un límite de apeo de 100 árboles. En función de este valor, se redefinió el tamaño de muestras de cada Sitio en forma directamente proporcional a la variabilidad de la altura total, calculada en el muestreo preliminar para cada Sitio.

En el CUADRO 9 se detallan la cantidad de árboles apeados por Sitio y en el ANEXO 3 se puede observar la localización geográfica de cada los ejemplares apeados.

Luego de realizado el apeo de los árboles y la toma de datos correspondiente, se recalculó el tamaño mínimo de muestra, como se presenta en el Capítulo de Resultados y Discusión, el nuevo valor fue inferior a 100 árboles, por lo cual se consideró que la cantidad de árboles muestreados fue compatible con un muestreo representativo.

CUADRO 9. Número de árboles apeados por Sitio.

SITIOS	ÁRBOLES APEADOS
MALO	59
INTERMEDIO	13
BUENO	12
MUY BUENO	16
	100

3.4.2.1. Selección de muestras

Luego de establecida la cantidad de árboles por Sitio, se realizó un sorteo en las distintas áreas geográficas donde se apearían los árboles.

En los Sitios considerados malos el número de árboles a voltear fue superior a la suma de los demás Sitios. Esto se debe a que la varianza en altura de estas Sitios es muy alta, lo que refleja un alto valor en el número mínimo de muestras a tomar.

Por esta razón y por razones de practicidad, en las parcelas correspondientes a las Sitios Malos se apearon entre 5 y 10 individuos; mientras que en las demás Sitios y para distribuir mejor los puntos de muestreo, el número máximo de árboles apeados por parcelas fue de tres y el mínimo de dos.

Se numeraron a partir del potrero 4 y siguiendo un orden correlativo, todos los sub-rodales correspondientes a cada Sitio. Luego se sortearon los rodales y la ubicación del primer árbol a apear dentro de cada parcela.

La aleatoriedad se incluyó primero en el sorteo de los sub-rodales y luego en la ubicación del punto de comienzo de muestreo dentro del rodal .

Una vez en el campo se procedió a seleccionar como punto de partida del muestreo en el rodal el árbol sano más cercano a las coordenadas sorteadas. Para los rodales donde se apeó un segundo árbol, éste se seleccionó en la tercera fila partiendo del primer árbol en dirección Sur manteniendo la misma ubicación en la fila que el primer árbol volteado. En el caso de una parcela en que se apearon tres árboles, el tercer árbol se marcó en la sexta fila partiendo del primer árbol en dirección Sur manteniendo la misma ubicación en la fila que el primer árbol volteado (FIGURA 11).

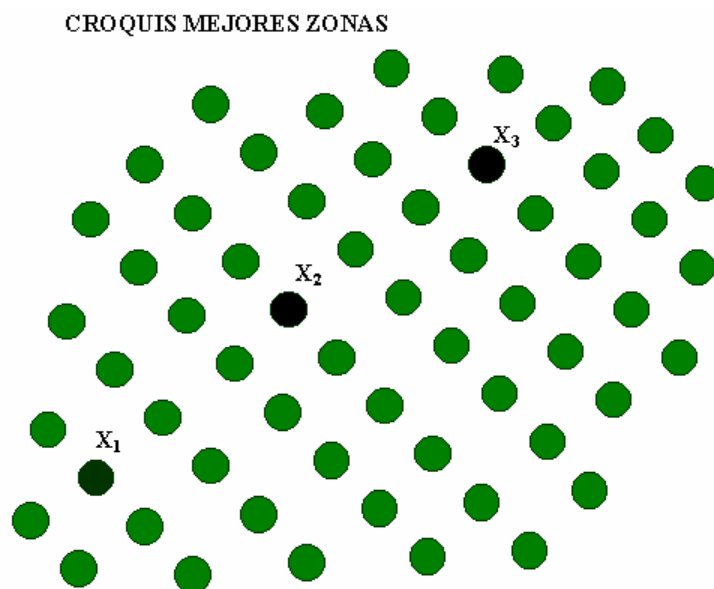


FIGURA 11. Distribución de árboles apeados en los Sitios: Muy Bueno, Bueno e Intermedio.

Para el Sitio malo la cantidad mínima de árboles apeados por rodal fue de cinco y la máxima de diez.

Luego de marcar el primer árbol sano se procedió a marcar el tercer árbol en pie de la misma fila. Al llegar a tres árboles por fila se pasó a la tercera fila, para continuar seleccionando de la misma manera, hasta finalizar la cantidad de árboles por rodal.

En ningún caso se volteó más de tres árboles por fila, porque se procuró obtener una buena distribución de los árboles apeados dentro del monte, para abarcar la mayor variación posible en lo referente a suelo y a las prácticas silviculturales.

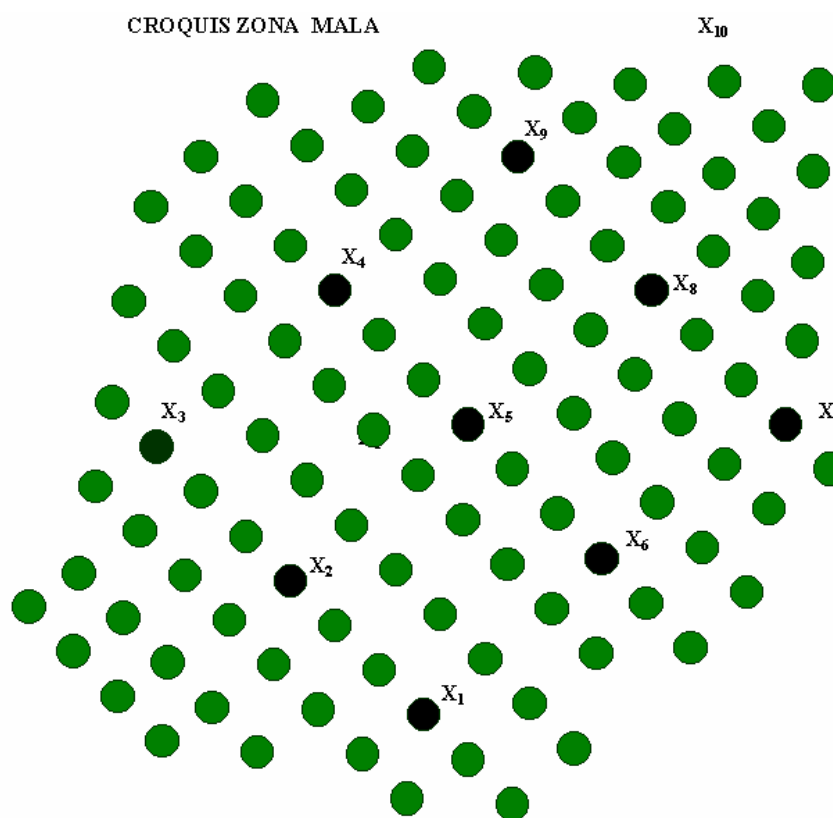


FIGURA 12. Distribución de árboles apeados en el Sitio Malo.

Algunos árboles del Sitio Malo se encontraban con el ápice principal seco hasta una altura menor que la altura comercial, por lo tanto esos árboles fueron considerados en algunas etapas del estudio estadístico, pero en otras no.

En el apeo se preestableció que para ser seleccionado, el árbol apeado tendría que tener como mínimo tres trozas comerciales y no deberían ser árboles extremos del rodal.

3.4.2.2. Apeo, desrame y trozado

Una vez seleccionados los árboles, se les midió la altura con vertex y se realizaron dos medidas del DAP con una forcípula digital. Luego se procedió al apeo con motosierra, tratando de dejar un tocón menor a 12 cm.

Se los desramó aproximadamente hasta la altura comercial, correspondiente a un diámetro de 5 cm sin corteza.

Se los midió con una cinta de 40 m, desde la base hasta el ápice. Luego se los marcó por metro para trozarlos.

3.4.2.3. Toma de datos

Una vez trozado el ejemplar seleccionado, se midió la altura del tocón, y se procedió a tomar cuatro medidas de diámetros de una de las bases de las trozas: dos medidas perpendiculares con corteza y dos también perpendiculares de los diámetros sin corteza. Siempre se midió la cara más fina de la troza, hasta llegar a la última troza comercial. Se utilizó para la medición una regla de plástico de 30 cm.

Contabilizando el número de trozas medidas se llegó a la altura comercial del individuo y de esa forma a toda la información para proceder al cálculo de los distintos factores de forma.

Para cada árbol se elaboró una planilla Excel, con sus datos correspondientes. Ver **ANEXO 4**, planilla de Factor de Forma.

Cada individuo apeado, fue marcado geográficamente, con 20 posiciones de GPS, para tener el detalle del lugar específico de apeo (**ANEXO 3**).

3.5. PROCESAMIENTO DE DATOS

3.5.1. Procesamiento del muestreo preliminar

De las 70 parcelas se procesaron los datos de altura de los diez árboles medidos por parcela y se promediaron para cada árbol de la parcela sus DAP correspondiente.

Contando los individuos se obtuvo, el número de árboles por parcela y luego con el factor de expansión se obtuvo la densidad por hectárea. También para cada parcela se contabilizó la cantidad de árboles suprimidos obteniendo con ello el porcentaje de suprimidos.

3.5.1.1. Diferenciación de Sitios forestales

Se clasificaron las parcelas dentro de cada potrero, de acuerdo a un rango de alturas en cuatro sitios subjetivos, tomando como indicador la altura promedio de diez árboles sanos y vigorosos de cada parcela.

Para esa clasificación se dividieron los Sitios por rango de alturas. Se asignaron números del 1 al 4 a los diferentes Sitios diferenciados.

CUADRO 10. Clases de altura de diferenciación de Sitios.

	CALIDAD	Alturas de diferenciación (m)
SITIO I	MUY BUENO	17 a 21
SITIO II	BUENO	15 a 17
SITIO III	INTERMEDIO	12 a 15
SITIO IV	MALO	7 a 12

A nivel geográfico, en el Arcview, con la ubicación de las 70 parcelas se realizó una división preliminar de las áreas correspondientes a los diferentes Sitios. Luego con la imagen satelital IKONOS del 17 de enero del 2005 (a color e infrarrojo) y con verificación en el campo, se obtuvo la última separación de Sitios.

Por último se calculó la superficie por Sitio.

3.5.1.2. Cálculo de parámetros estadísticos

Las variables analizadas en el muestreo preliminar fueron las siguientes:

- Alturas totales individuales tomadas con vertex
- Diámetro a la altura del pecho
- Densidad y porcentaje de sobrevivencia

Se analizaron la media, el desvío estándar, la varianza, el coeficiente de variación, en cada uno de los cuatro Sitios seleccionados, para las variables DAP y altura total, en forma general y detallada por Sitio.

3.5.2. Procesamiento del muestreo definitivo

3.5.2.1. Procesamiento de los Factores de Forma

Se procesaron los datos de los árboles apeados de tres maneras diferentes, obteniéndose así diversos valores del factor de forma (**ANEXO 4**).

Para el cálculo del volumen real de todos los árboles apeados se utilizó la fórmula acumulada de Smalian. Se considero un largo de troza igual a un metro, calculándose el volumen con o sin corteza de cada una de las trozas, hasta alcanzar la altura comercial.

La altura comercial considerada, para estos cálculos, es la altura comprendida desde el tocón hasta cuando el diámetro menor del fuste llega a los 5 cm sin corteza.

El volumen aparente se calculó considerando un cilindro de base equivalente a la sección del árbol a la altura del pecho (1,30 m desde el suelo) y la altura considerada del cilindro se define en cada situación particular.

Las fórmulas empleadas en la planilla fueron las siguientes.

Volumen real = fórmula acumulada de Smalian

Volumen aparente = $\pi / 4 \times \text{DAP}^2 \times H$

FF = $\frac{\text{Volumen real}}{\text{Volumen aparente}}$

Fórmula acumulada de Smalian

$$V_r = \frac{\pi}{8} \times L [D_o^2 \times D_n^2 \times 2 \sum D_i^2]$$

V_r = volumen real en m^3

L = largo de la troza en metros

D_o = diámetro de la base del árbol

D_n = diámetro menor del árbol

D_i = diámetros de la base de cada troza

Luego de calculados los volúmenes reales y aparente de cada caso se realizó el cociente para la obtención del factor de forma.

Procesamientos empleados:

- Factor de forma total.

Factor de forma total con corteza

Para este cálculo se utilizó el volumen aparente en m^3 (volumen de un cilindro) cuyo diámetro es igual al DAP con corteza y la altura del cilindro igual a la altura total del árbol medido en el suelo, sin sumar el tocón.

Se calculó el volumen real con corteza en metros cúbicos hasta la altura comercial. Luego hacia arriba de esa altura se asumió el volumen de un cono con un base igual al diámetro de la última troza con corteza y una altura total comprendida desde la base del cono hasta el ápice del árbol.

Factor de forma total sin corteza

Para el cálculo del volumen aparente en m^3 se procedió de la misma manera que para el factor de forma total con corteza.

Se calculó el volumen real sin corteza en metros cúbicos hasta la altura comercial. Luego hacia arriba de esa altura se asumió el volumen de un cono con un base igual al diámetro de la última troza sin corteza y una altura total comprendida desde la base del cono hasta el ápice del árbol.

- **Factor de forma de inventario.**

Factor de forma de inventario con corteza.

El volumen aparente en m^3 con corteza (volumen de un cilindro) es el mismo que el utilizado en el cálculo del factor de forma total.

El volumen real con corteza en m^3 fue calculado solamente hasta la altura comercial.

Factor de forma de inventario sin corteza.

El volumen aparente asume el mismo valor que el del factor de forma de inventario con corteza.

El volumen real sin corteza en m^3 fue calculado solamente hasta la altura comercial.

- **Factor de forma comercial.**

Factor de forma comercial con corteza.

Para este cálculo se utilizó el volumen aparente con corteza en m^3 (volumen de un cilindro) cuyo diámetro es igual al DAP con corteza y como altura del cilindro la altura comercial hasta los 5 cm de diámetro sin corteza más la altura del tocón.

El volumen real con corteza en m^3 fue calculado hasta la altura comercial.

Factor de forma comercial sin corteza.

Para este cálculo se utilizó el volumen aparente con corteza en m^3 (volumen de un cilindro) cuyo diámetro es igual al DAP con corteza y como altura del cilindro la altura comercial hasta los 5 cm sin corteza más la altura del tocón.

El volumen real sin corteza en m^3 fue calculado hasta la altura comercial.

También la intención del apeo de los árboles fue evaluar el porcentaje de corteza que posee en promedio la especie a esa edad, en ese lugar y además calcular el error del instrumento de medición utilizado para estimar la altura total. Por esa razón también se procesaron estos datos que no son el objetivo central de esta tesis, pero son de gran

aporte para la empresa y para todos aquellos que utilicen el vertex para estimar la altura comercial.

Volumen de corteza en porcentaje.

Este valor se obtuvo de la siguiente manera

$$\text{Porcentaje de corteza} = ((V_{rcc} - V_{rsc}) / V_{rsc}) * 100$$

V_{rsc} = volumen real sin corteza en m^3

V_{rcc} = volumen real con corteza en m^3

3.5.2.2. Estimación del error del vertex

Para estimar la precisión del instrumento de medición utilizado, se midieron los 100 árboles en pie antes de su apeo.

Luego se procesaron los datos y se separaron los valores por Sitio. Se analizaron los datos totales y separados por Sitios.

Se calculó el error promedio de instrumento en términos absolutos y relativos. También se realizó una correlación lineal entre la altura del árbol real, medida en el suelo y la altura con vertex (**ANEXOS 5 y 6**).

3.5.2.3. Cálculo de parámetros estadísticos

Se calculó el promedio, desvío estándar, la varianza, el coeficiente de variación, el número mínimo de muestras y el intervalo de confianza con un 95 % de confianza de todas las variables dasométricas (**ANEXO 7**).

Se realizaron análisis de varianza, del DAP, porcentaje de corteza, la altura total en el piso o altura real, todos los factores de forma con corteza y el volumen de inventario sin corteza y comercial sin corteza tomando como tratamiento cada Sitio.

Se efectuaron regresiones simples entre:

- Altura con vertex y altura real.
- Altura real y altura comercial
- Altura real y factores de forma
- DAP y altura real

- DAP y factores de forma

Se separaron los árboles apeados por clases diamétricas y de altura para realizar regresiones lineales con variables dasométricas.

- Altura real por clases y factores de forma
- Alturas real por clases y porcentaje de corteza
- Altura real por clases y altura con vertex por clases

Se realizaron correlaciones múltiples, tomando como variable dependiente la altura total en el suelo y variables independientes las variables de suelos medidas por Sganga (1996), que dieron mayores coeficientes de determinación.

También se efectuaron regresiones simples tomando como X a las clases de DAP o altura real y como Y las variables de suelo que presentaron algún tipo de asociación.

- Altura real por clases y contenido de potasio en el horizonte A
- Altura real por clases y contenido de calcio en el Bt
- Altura real por clases y contenido de sodio en el Bt.
- DAP por clases y contenido de potasio en el horizonte A.
- DAP por clases y contenido de calcio en el Bt.
- DAP por clases y contenido de sodio en el Bt.
- DAP por clases y cotas.
- DAP por clases y contenido de calcio en el horizonte A.
- DAP por clases y contenido de fósforo en el horizonte A.
- DAP por clases y contenido de fósforo en el Bt.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1 MUESTREO PRELIMINAR

4.1.1. Clasificación de Sitios

Como se destacó anteriormente se distinguieron cuatro Sitios diferentes.

En el CUADRO 11 se presentan los resultados del muestreo preliminar, con los valores de densidad y sobrevivencia de cada Sitio. Los Sitios fueron numerados de forma que el número menor indica el mejor Sitio y el mayor indica el peor Sitio.

CUADRO 11. Promedios de densidad y sobrevivencia por Sitio.

	Densidad (arb/ha)	% sobrevivencia
SITIO I	986	77
SITIO II	886	70
SITIO III	812	70
SITIO IV	411	33

Como se desprende del cuadro, a medida que mejora el Sitio, se observa una mayor densidad por hectárea, y un aumento del porcentaje de sobrevivencia.

Con respecto a la sanidad los Sitios mejores se encuentran menos infectados por hongos y con un menor número de árboles con rebrotes en el tronco o con ápices secos.

4.1.2. Delimitación de Sitios

Con la ubicación de las parcelas tomadas en el muestreo preliminar se realizó una diferenciación y delimitación de los cuatro Sitios en forma preliminar, como se puede ver en la FIGURA 13.

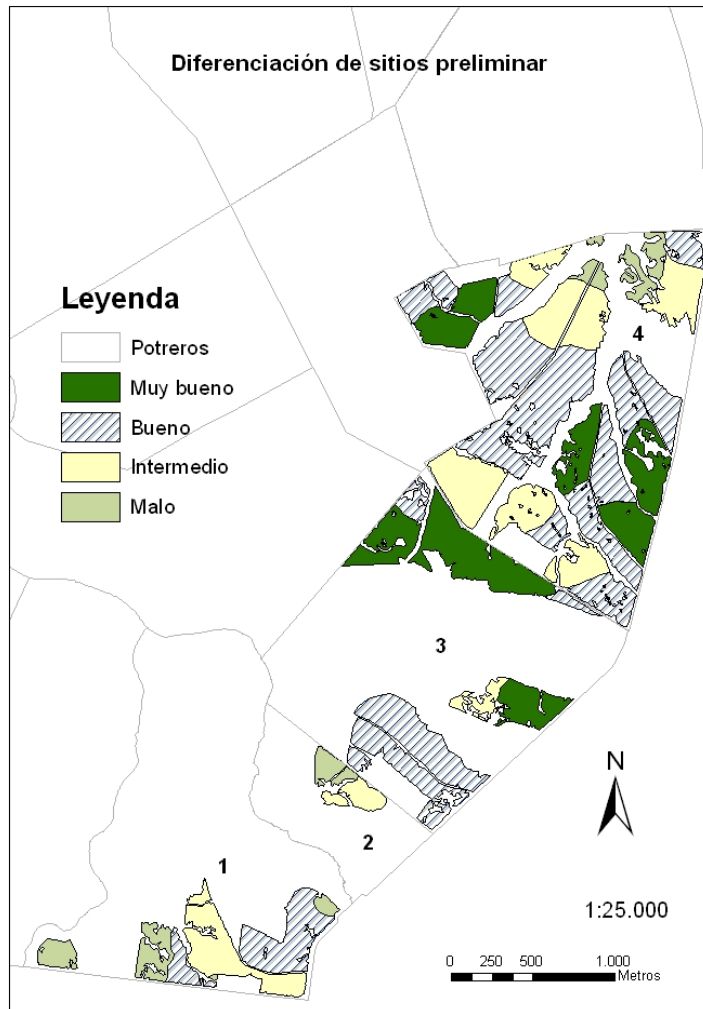


FIGURA 13. Diferenciación de Sitios preliminar.

Basados en el mapa de diferenciación de Sitios preliminar se realizó un ajuste del mismo con ayuda de la imagen satelital reciente, de enero del 2005, donde se observan con más claridad, los Sitios Malos e Intermedios.

Con referencia a los Sitios Buenos y Muy Buenos, el límite no es tan marcado en la imagen por lo que se realizó una diferenciación menos precisa.

Luego de realizada la interpretación de la imagen se efectuó una comprobación a campo y con eso se obtuvo el mapa de diferenciación definitiva de los Sitios (FIGURA 14).

A partir de este mapa se llegó a la superficie efectiva de cada Sitio en la plantación.

En este caso cada estrato corresponde a un Sitio y cada Sitio presenta condiciones homogéneas.

En la FIGURA 14 se detalla un cuadro con la superficie en hectáreas de cada Sitio.

Los Sitios Bueno y Muy Bueno suman 250,6 hectáreas lo que representa el 78,3% de la superficie total de la plantación analizada, mientras que el Sitio Intermedio representa el 13,4% y el Sitio Malo el 8,3%.

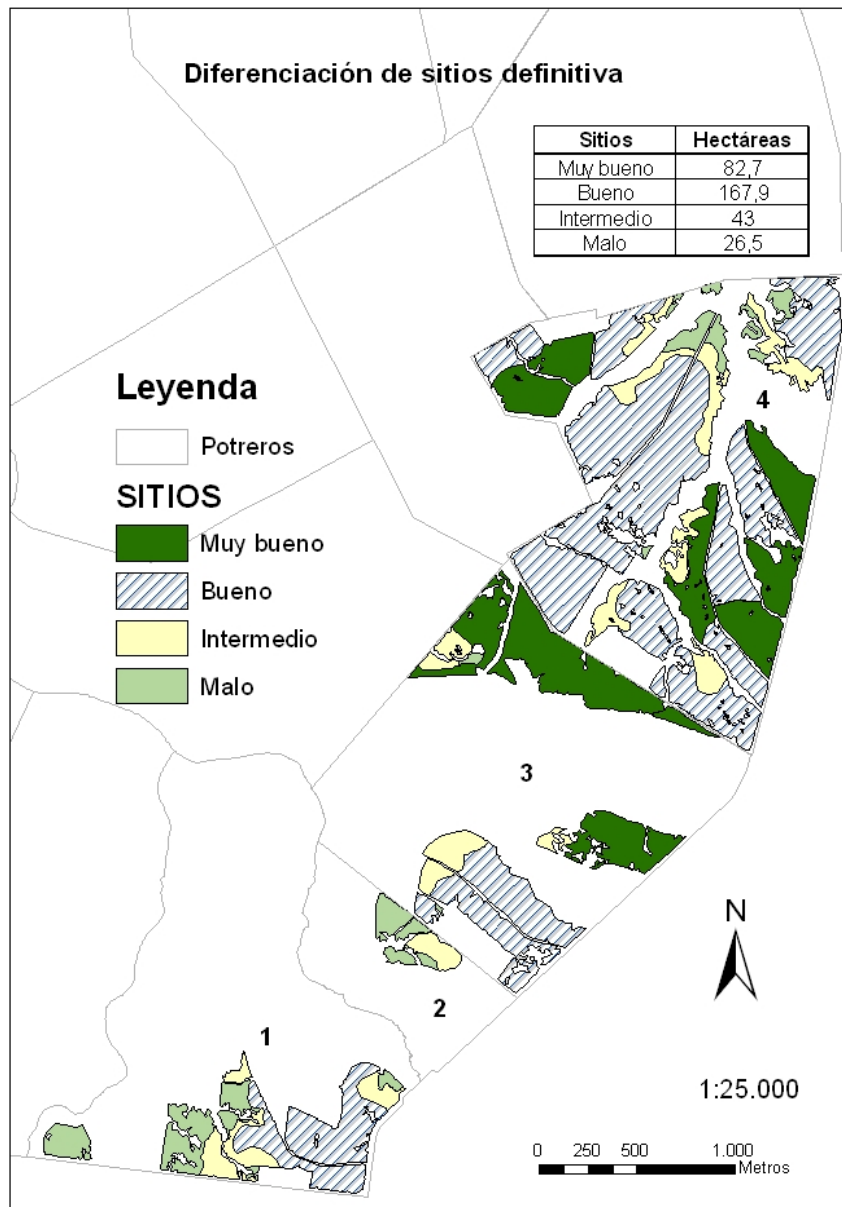


FIGURA 14. Diferenciación de Sitio definitiva, año 2005.

4.2. MUESTREO DEFINITIVO

4.2.1. Parámetros dasométricos

En los GRÁFICOS 3, 4 y 5 se presentan los histogramas de DAP, altura real y del Factor de Forma de Inventario con corteza, de la población analizada.

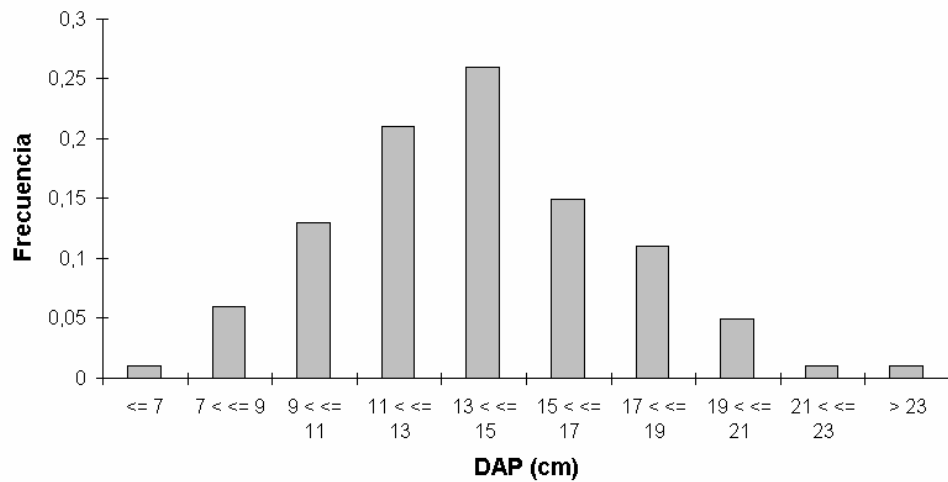


GRÁFICO 3. Histograma de DAP de los árboles apeados.

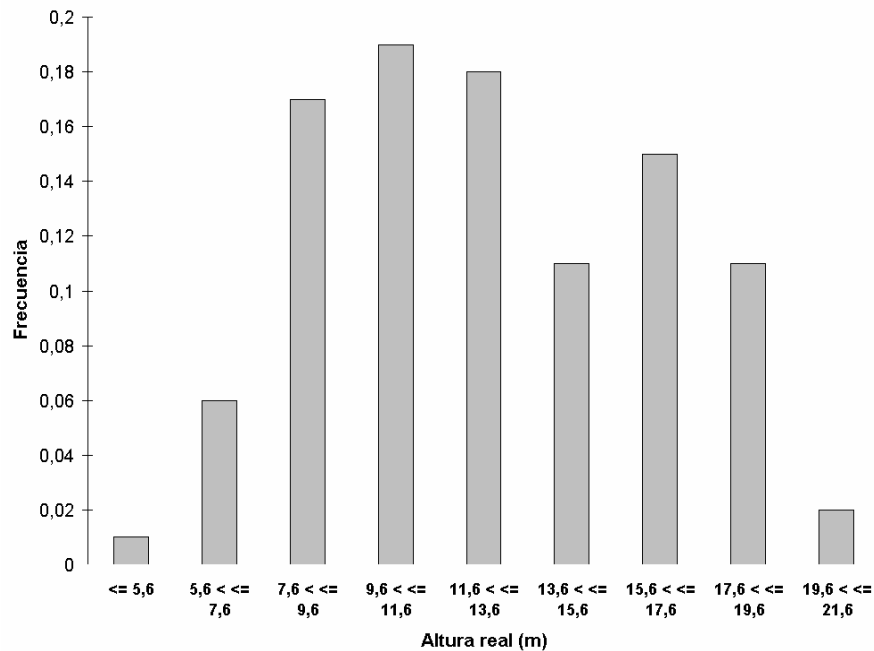


GRÁFICO 4. Histograma de altura real de los árboles apeados.

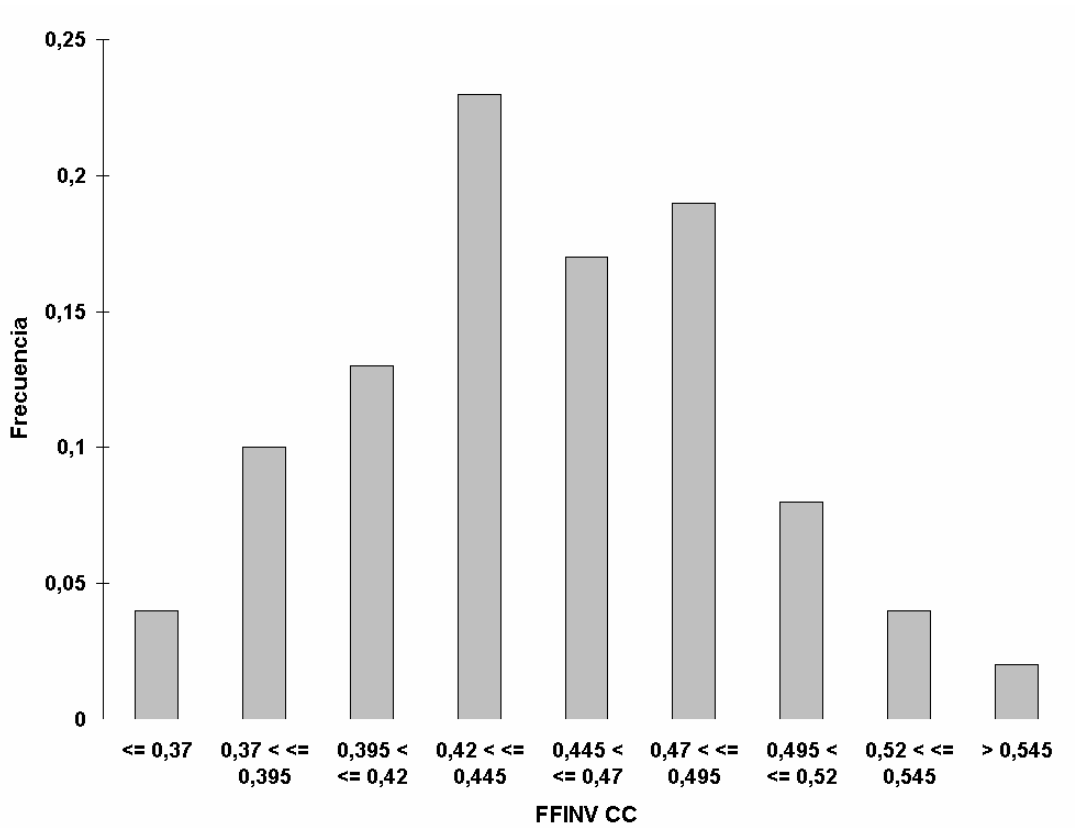


GRÁFICO 5. Histograma de Factor de Forma de Inventario con corteza de los árboles apeados.

Los tres histogramas descriptivos de la población analizada en el muestreo definitivo muestran una distribución normal o muy similar.

Se presenta a continuación un cuadro resumen con los datos promedios de los árboles apeados por Sitio.

CUADRO 12. Promedios de DAP, altura estimada, altura real y volumen individual sin corteza hasta los 5 cm de diámetro para los diferentes Sitios.

SITIO	DAP (cm)	H CON VERTEX (m)	H EN EL PISO (m)	Volumen por árbol (m ³ s /c)
I	16,9	17,9	16,9	0,1458
II	17,2	18,0	16,7	0,1509
III	14,6	16,9	15,9	0,1023
IV	12,3	11,4	10,3	0,0498

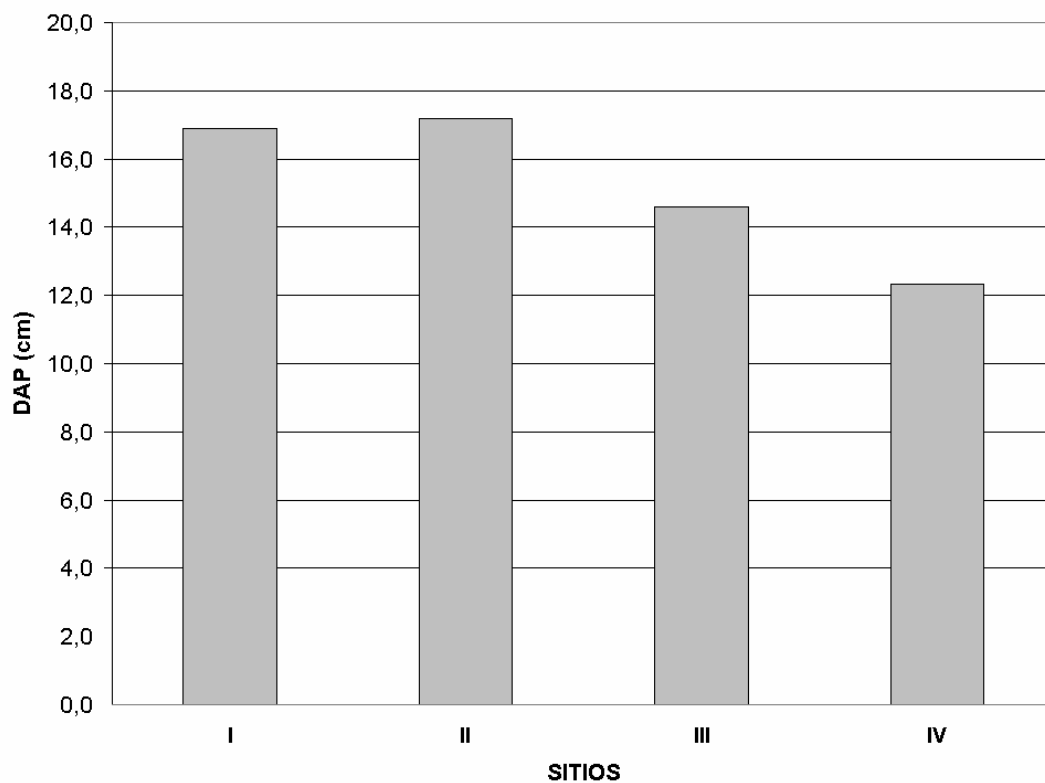


GRÁFICO 6. Promedios de DAP por Sitio.

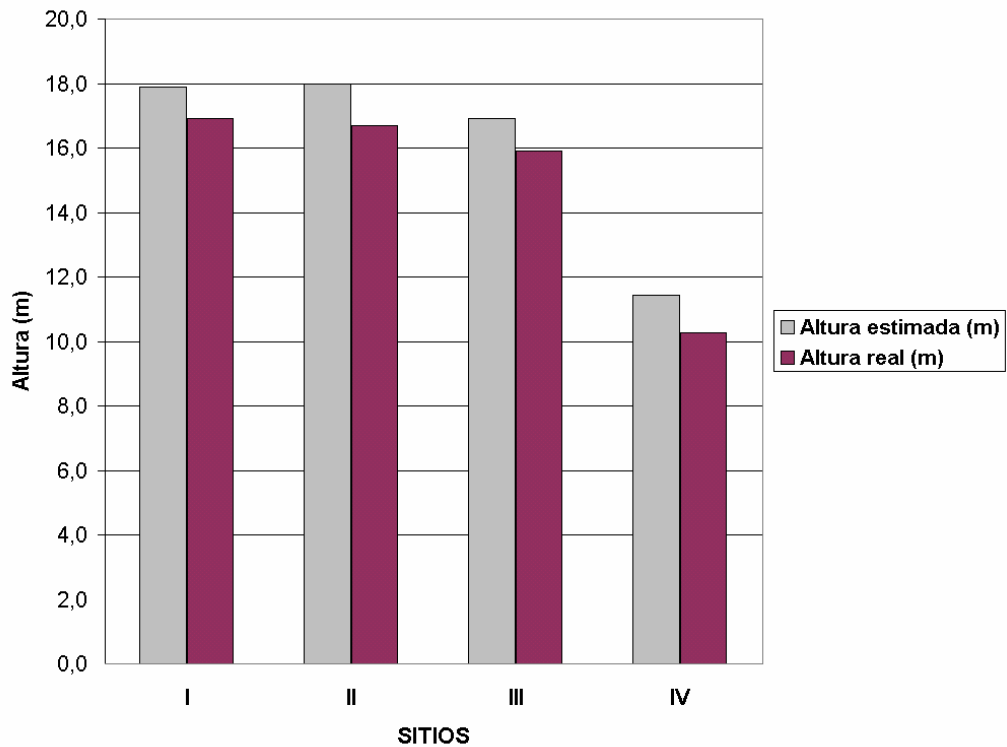


GRÁFICO 7. Promedios de altura estimada con vertex y altura real por Sitio.

En el CUADRO 11 y en los GRÁFICOS 6 y 7, se observa en forma clara que el Sitio Malo es el que presenta valores menores de DAP, altura real y volumen individual.

Aparentemente no existen diferencia entre los Sitios Muy Bueno y Bueno, con respecto a la altura real, DAP y volumen individual sin corteza hasta los 5 cm de diámetro.

En el CUADRO 7 se observa una diferencia entre la altura real y altura estimada con vertex en los cuatro Sitios; aunque siempre la altura estimada es mayor.

Del análisis de los histogramas presentados se puede inferir que la altura total es buen indicador de la calidad de Sitio para la especie *E.globulus* del área estudiada. Los mejores Sitios presentan mayor cantidad de árboles más altos que los peores Sitios.

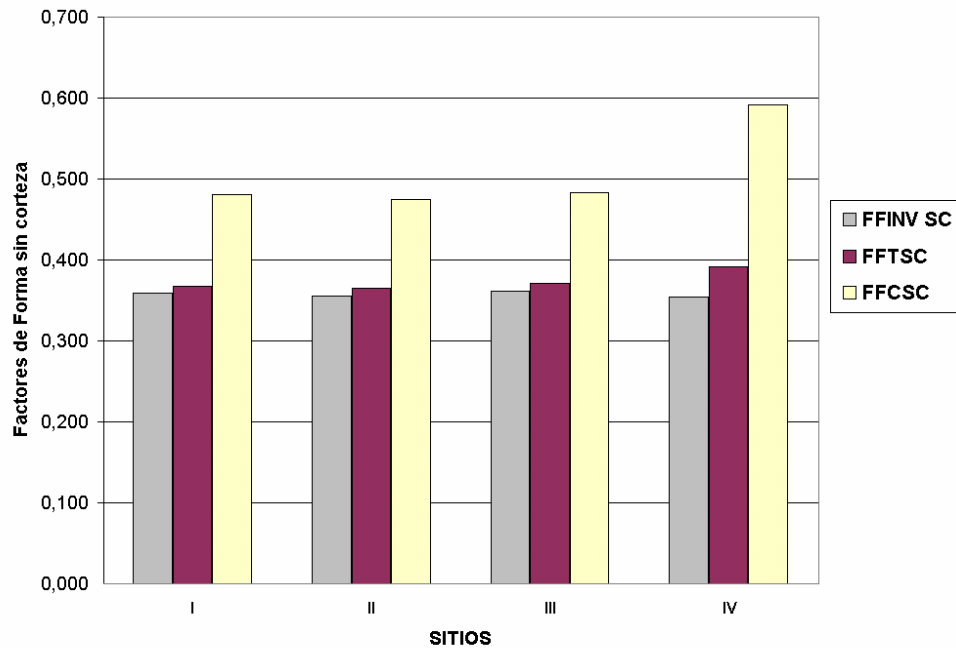


GRÁFICO 8. Promedios de los Factores de Forma sin corteza por Sitio.

En el GRÁFICO 8, se observa que el Factor de Forma Comercial sin corteza (FFCSC), es el que presenta mayor magnitud en los tres Sitios y aumenta a medida que el Sitio es más malo.

El Factor de Forma Total sin corteza (FFTSC), es siempre mayor que el Factor de Forma de Inventario sin corteza (FFINV SC). Eso se debe a que, cuando realizamos el cociente para el cálculo de esos Factores de Forma, el valor del numerador del FFINV SC es menor que el del FFTSC, mientras que el denominador es el mismo.

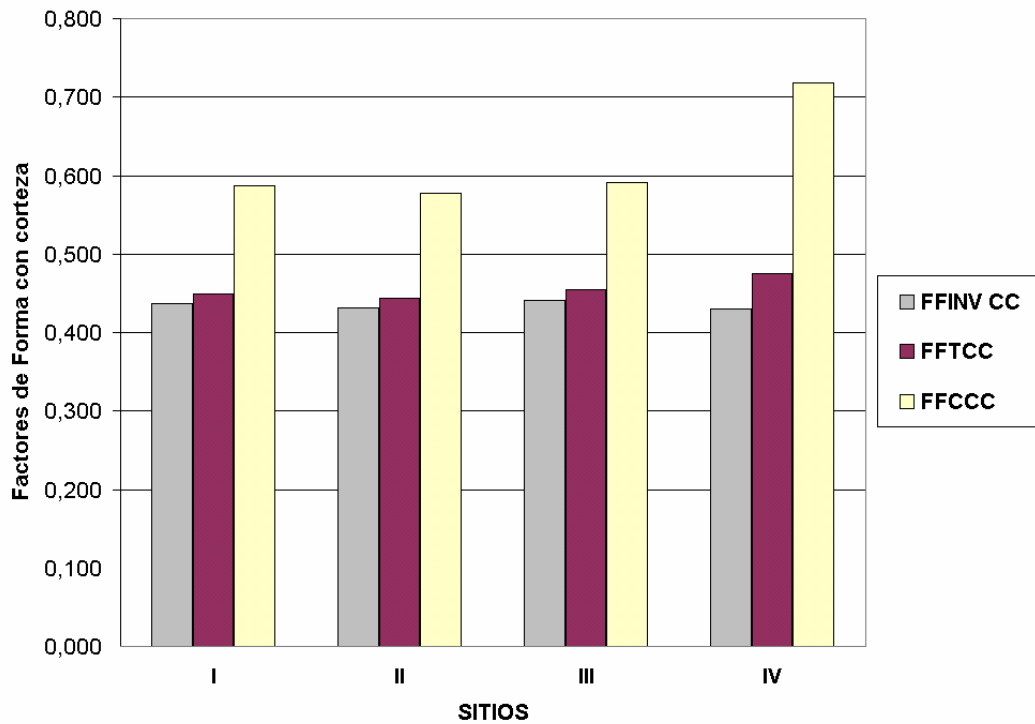


GRÁFICO 9. Promedios de los Factores de Forma con corteza por Sitio.

El GRÁFICO 9 es muy similar al GRÁFICO 8 con la diferencia que los Factores de Forma calculados son con corteza, por eso el valor de los mismos es mayor ya que el volumen real es calculado con corteza.

A continuación se presenta un análisis separado por Sitio de las variables dasométricas.

SITIO MALO

CUADRO 13. Parámetros estadísticos del Sitio Malo, muestreo definitivo.

	DAP (cm)	H CON VERTEX (m)	H EN EL PISO (m)
PROMEDIOS	12,3	11,1	10,3
DESVIÓ	2,5	2,3	2,1
C.V.	20,0	20,4	20,8
MÍNIMO	7,0	6,8	5,6
MÁXIMO	17,9	16,2	14,6



FIGURA 15. Aspecto de la plantación en el Sitio Malo.

Como se observa en la FIGURA 15, este es el Sitio que tiene menor densidad y porcentaje de sobrevivencia (ver CUADRO 11). Presenta además árboles más bajos y con menores DAP.

Con respecto al C.V. de la altura real es el Sitio que registra mayor valor de todos los analizados, con un 20,8 %, mientras que el DAP presenta un valor de 20%.

Es el Sitio que registra mayor rango con respecto a los árboles apeados que va de un mínimo de 5,6 a 14,6 metros.

SITIO INTERMEDIO

CUADRO 14. Parámetros estadísticos del Sitio Intermedio, muestreo definitivo.

	DAP (cm)	H CON VERTEX (m)	H EN EL PISO (m)
PROMEDIOS	14,6	16,9	15,9
DESVÍO	1,8	2,3	2,4
C.V.	12,6	13,7	15,4
MÍNIMO	11,9	13,4	11,7
MÁXIMO	17,9	20,7	19,8



FIGURA 16. Aspecto de la plantación en el Sitio Intermedio.

Este Sitio se encuentra siempre como transicional entre el Sitio Malo y el Bueno.

En el aspecto sanitario se observaron árboles con ápices secos y en algunos árboles apeados se observó la ocurrencia de “médula seca”, aunque los árboles en pie sanitariamente tenían buen estado.

En la foto de la FIGURA 16 se puede observar que existe también un alto porcentaje de árboles rebrotados, probablemente como respuesta a algún tipo de stress.

Este Sitio presentó menor valor en DAP que el Sitio Bueno y Muy Bueno, y en promedio una altura real, solamente un metro por debajo que la que se da en esos Sitios. Esto no se puede percibir a simple vista por lo que se hace difícil diferenciar el Sitio Intermedio por su altura, pero si se lo distingue por su densidad, por su aspecto sanitario y por su DAP.

SITIO BUENO

CUADRO 15. Parámetros estadísticos del Sitio Bueno, muestreo definitivo.

	DAP (cm)	H CON VERTEX (m)	H EN EL PISO (m)
PROMEDIOS	17,2	17,7	16,7
DESVÍO	3,8	2,4	1,9
C.V.	22,2	13,3	11,6
MÍNIMO	10,4	13,1	12,7
MÁXIMO	21,9	21,4	18,7

Este Sitio no difiere del Sitio Muy Bueno en altura, ya que en el muestreo dio un valor muy similar en altura real de los árboles apeados.

La diferencia puede estar en la densidad de árboles por hectárea y en el promedio de altura real de los ejemplares que ingresen en una parcela, por lo tanto es muy difícil diferenciar este Sitio por interpretación de imágenes. Es necesario realizar un muestreo aleatorio con parcelas a campo, para obtener datos más precisos.



FIGURA 17. Aspecto de la plantación en el Sitio Bueno.

SITIO MUY BUENO

Es el Sitio en el que los árboles presentan mayor desarrollo y menor incidencia de enfermedades.

CUADRO 16. Parámetros estadísticos del Sitio Muy Bueno, muestreo definitivo.

	DAP (cm)	H CON VERTEX (m)	H EN EL PISO (m)
PROMEDIOS	16,9	17,6	16,9
DESVÍO	2,9	2,3	2,3
C.V.	17,4	12,7	13,5
MÍNIMO	12,0	13,5	13,3
MÁXIMO	24,0	22,5	21,6

De los CUADROS 13 al 16, se desprende que la altura en el piso o real es siempre menor a la estimada o con vertex, lo que ya fue descrito anteriormente.

Con respecto a la altura promedio real se observa un aumento en su magnitud a medida que mejora el Sitio, lo mismo sucede con el DAP. No se observan diferencias entre el DAP y la altura real de los Sitios Bueno y Muy Bueno.

En cuanto al Coeficiente de Variación en altura real, se puede destacar que disminuye a medida que mejora el Sitio y para los datos aquí evaluados. Cabe destacar que el número de muestras en cada Sitio fue diferente.

El rango en que varía el C.V. para la altura real es de 11,6 en el Sitio Intermedio a 20,8 en el Sitio Malo, mientras que el DAP oscila entre 12,6 en el Sitio Intermedio a 22,2 en el Sitio Bueno.

4.2.2. Análisis estadísticos

El CUADRO 17 resume algunas de las variables dasométricas estudiadas. Las demás variables se adjuntan en el ANEXO 7.

CUADRO 17. Parámetros estadísticos generales de los árboles apeados.

	DAP (cm)	H. vertex (m)	H. real (m)	FFINV CC	FFCCC	FFTCC	% de Vol de corteza
Promedio	13,9	13,7	12,8	0,36	0,54	0,38	17,6
Desvío	3,3	3,8	3,8	0,0367	0,1029	0,0411	2,3
Varianza	11,20	14,71	14,27	0,0013	0,0106	0,0017	5,5
C.V	24	27,5	29,4	10,3	18,9	10,8	13,3
Nº mínimo de muestras	17	22	25	3	10	3	5
Error de muestreo	40,8	46,7	50,1	17,5	32,1	18,3	22,67
IC m3	0,6	0,6	0,6	0,01	0,02	0,01	0,4
Lím. Superior (90 % de conf.)	14,5	14,6	13,5	0,36	0,56	0,39	18,0
Lím. Inferior (90 % de conf.)	13,4	13,3	12,2	0,35	0,53	0,37	17,2

Como se observa en forma clara en el CUADRO 17, la variabilidad del Factor de Forma es menor que la variabilidad de la altura y DAP. Por esa razón el número mínimo de muestras es menor.

Con un 90 % de confianza el número mínimo de datos para estimar la altura real es de 25, mientras que para obtener el Factor de Forma de Inventario con corteza (FFINV CC) es solamente de 3.

El C.V. de la altura real es más alto que el del DAP y es a su vez tres veces mayor en magnitud que el C.V. del FFINV CC.

En el CUADRO 17 también se resume los Factores de Forma y el porcentaje de corteza en volumen de los 100 árboles apeados.

La población analizada, a pesar de ser muy variable en altura y diámetro, presenta un bajo C.V de 10 % para los Factores de Forma de Inventario y Total.

Las varianzas de los diferentes factores de forma son diferentes y se incrementan en este sentido:

$$F.F. Inventario \rightarrow F.F. Total \rightarrow F.F. Comercial$$

4.2.3. ANAVA

A continuación, se presentan en forma separada para cada variable dasométrica estudiada en el muestreo definitivo, los resultados de los ANAVA realizados.

Altura real

Coefficiente de correlación r : 0,8227

Coefficiente de determinación r^2 : 0,6769

Media general : 12,83 m

C.V (%) : 16,9

CUADRO 18. Análisis de varianza de la altura real de los árboles apeados.

DAP	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F de Fisher	Pr > F
Modelo	3	956,0681	318,6894	67,0305	0,0001
Residuo	96	456,4219	4,7544		
Total	99	1412,4900			

CUADRO 19. Prueba de Tukey para altura real con un 95 % de confianza.

SITIO	MEDIA	Tukey (5%)
1	16,93	A
2	16,70	A
3	15,85	A
4	10,26	B

Diámetro a la Altura del Pecho (DAP)

Coefficiente de correlación r : 0,6213

Coefficiente de determinación r^2 : 0,3860

Media general : 13,94 cm

C.V (%) : 19,1

CUADRO 20. Análisis de varianza del DAP de los árboles apeados.

DAP	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F de Fisher	Pr > F
Modelo	3	428,0939	142,6980	20,1132	0,0001
Residuo	96	681,0964	7,0948		
Total	99	1109,1903			

CUADRO 21. Prueba de Tukey para el DAP con un 95 % de confianza.

SITIO	MEDIA	Tukey (5%)
2	17,2	A
1	16,9	A
3	14,6	A
4	12,3	B

Factor de Forma Inventario con corteza (FFINV CC)

Coefficiente de correlación r : 0,1260

Coefficiente de determinación r^2 : 0,0159

Media general : 0,4321

C.V (%) : 10,8

CUADRO 22. Análisis de varianza del FFINV CC de los árboles apeados.

FFINV CC	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F de Fisher	Pr > F
Modelo	3	0,0034	0,0011	0,5160	0,6722
Residuo	96	0,2081	0,0022		
Total	99	0,2114			

Factor de Forma Comercial con corteza (FFCCC)

Coefficiente de correlación r : 0,5361

Coefficiente de determinación r^2 : 0,2875

Media general : 0,6622

C.V (%) : 19,4

CUADRO 23. Análisis de varianza del FFCCC de los árboles apeados.

FFCCC	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F de Fisher	Pr > F
Modelo	3	0,6441	0,2147	12,9094	0,0001
Residuo	96	1,5966	0,0166		
Total	99	2,2407			

CUADRO 24. Prueba de Tukey para el FFCCC con un 95 % de confianza.

SITIO	MEDIA	Tukey (5%)
4	0,7557	A
3	0,6219	B
2	0,5873	B
1	0,5774	B

Factor de Forma Total con corteza (FFTCC)

Coefficiente de correlación r : 0,3641

Coefficiente de determinación r^2 : 0,1326

Media general : 0,4641

C.V (%) : 11,6

CUADRO 25. Análisis de varianza del FFTCC de los árboles apeados.

FFTCC	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F de Fisher	Pr > F
Modelo	3	0,0427	0,0142	4,8905	0,0033
Residuo	96	0,2793	0,0029		
Total	99	0,3219			

CUADRO 26. Prueba de Tukey para el FFTCC con un 95 % de confianza.

SITIO	MEDIA	Tukey (5%)
4	0,4967	A
3	0,4696	AB
2	0,4517	B
1	0,4492	B

De los cuadros anteriores se desprende que el Sitio malo es el que presenta menor valor absoluto de la variable altura real y DAP, con respecto a los demás Sitios, mientras que para la variable FFCCC y FFTCC, presenta el mayor valor.

No existen diferencias significativas entre los Sitios 1, 2 y 3, con respecto a las variables detalladas en el párrafo anterior.

El FFINV CC no presenta diferencias estadísticas significativas entre los Sitios.

VOLUMEN DE INVENTARIO

Coefficiente de correlación r : 0,7077

Coefficiente de determinación r^2 : 0,5009

Media general : 0,0841 m³

C.V (%) : 53,1

CUADRO 27. Análisis de varianza del Volumen de Inventario de los árboles apeados.

	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F de Fisher	Pr > F
Modelo	3	0,1882	0,0627	32,1151	0,0001
Residuo	96	0,1875	0,0020		
Total	99	0,3756			

CUADRO 28. Prueba de Tukey para el Volumen de Inventario con un 95 % de confianza.

SITIO	MEDIA	Tuckey (5%)
2	0,151	A
1	0,146	A
3	0,102	A
4	0,050	B

VOLUMEN COMERCIAL

Coefficiente de correlación r : 0,7100

Coefficiente de determinación r^2 : 0,5040

Media general : 0,0825 m³

C.V (%) : 52,8

CUADRO 29. Análisis de varianza del Volumen Comercial de los árboles apeados.

	GL	Suma de cuadrados	Cuadrados Medios	F de Fisher	Pr > F
Modelo	3	0,1851	0,0617	32,5226	0,0001
Residuo	96	0,1822	0,0019		
Total	99	0,3673			

CUADRO 30. Prueba de Tukey para el Volumen Comercial con un 95 % de confianza.

SITIO	MEDIA	Tuckey (5%)
2	0,149	A
1	0,143	A
3	0,101	A
4	0,048	B

Cuando en esta tesis se analizan los volúmenes individuales de inventario y comercial, se observa que el Sitio 4 presenta valores significativamente menores con respecto a los otros tres Sitios, para las dos variables, lo que era de esperarse porque el DAP y la altura real también presentaban menor magnitud para el Sitio 4.

Algo curioso de observar es el coeficiente de variación del volumen que toma valores muy por encima de las demás variables. Las variables de DAP y altura real no superan el 20 %, pero el volumen individual sí supera, y en forma muy amplia, ese valor, encontrándose por encima del 50%.

Esto puede estar mostrando lo difícil que se hace evaluar la calidad del Sitio tomando en cuenta el volumen de los individuos.

4.2.4. Regresión simple

4.2.2.1. Regresión simple entre variables dasométricas

En el GRÁFICO 10 se observa que existe una relación directa alta entre la altura tomada con el vertex y la altura real.

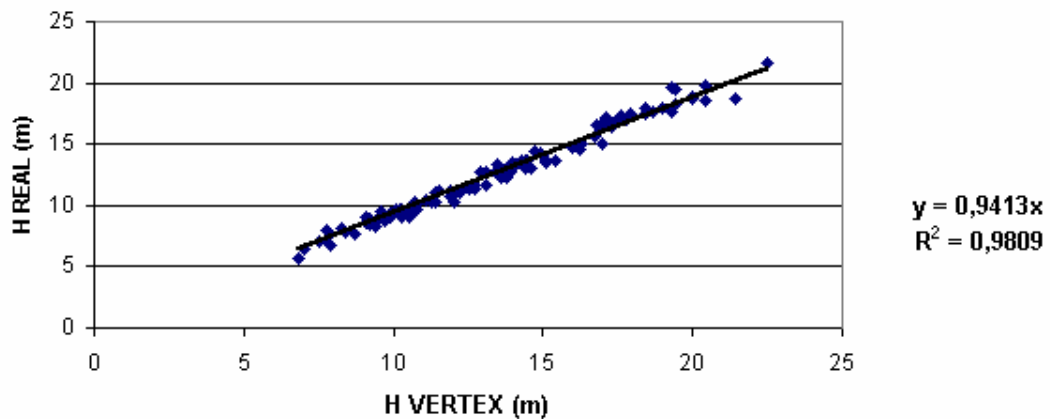


GRÁFICO 10. Relación lineal entre altura real y altura estimada con vertex.

La altura real obtenida fue siempre menor a la altura obtenida con vertex, lo que indica que con este instrumento se estaría sobre estimando en forma sistemática la altura total para la serie de datos tomados que están entre los 5 y 24 m de altura.

En el GRÁFICO 11 se relaciona el DAP con la altura real, de los datos obtenidos con los árboles sanos, sin ápices secos.

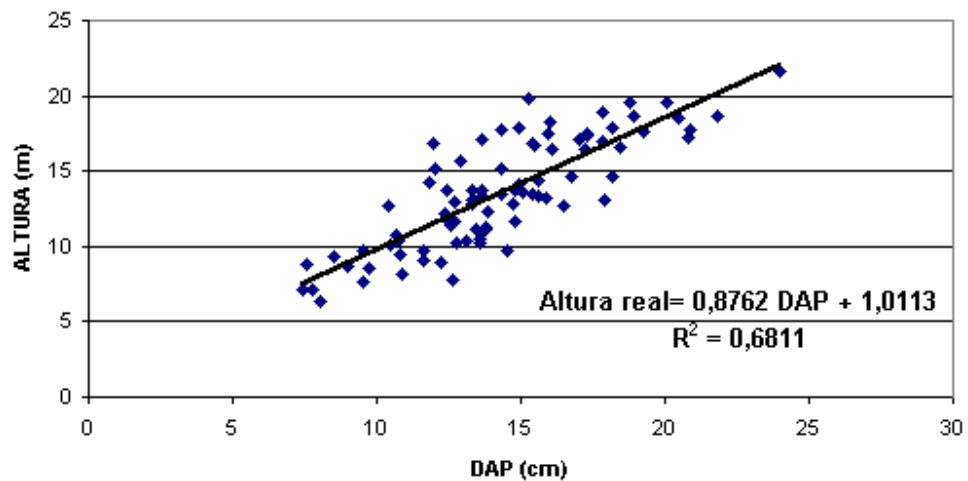


GRÁFICO 11. Relación hipsométrica.

Se puede ver que los valores de los diámetros en centímetros equivalen aproximadamente al mismo valor de altura real, pero en metros.

Como se observa existe una relación directamente proporcional entre el diámetro y la altura. El coeficiente de determinación es de 0,68 y la ecuación lineal es la que se presenta en el GRÁFICO 11. Esto concuerda con la bibliografía consultada, ya que en varios trabajos se han llegado a conclusiones similares.

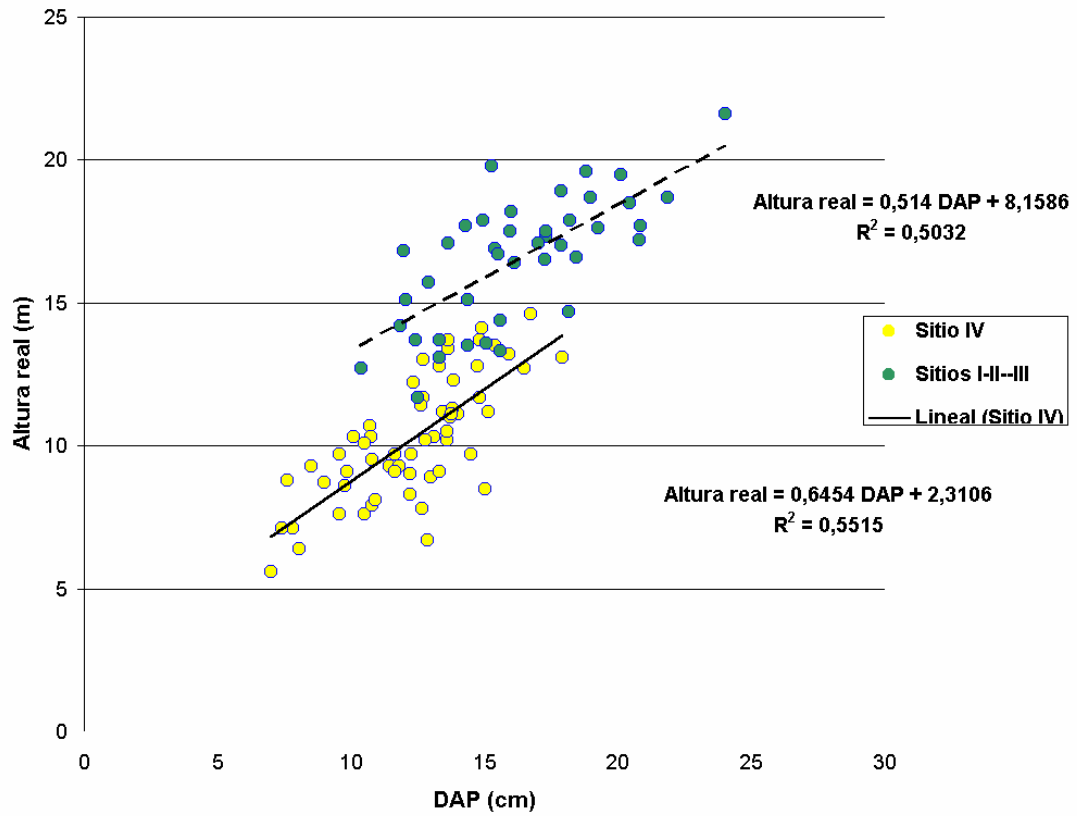


GRÁFICO 12. Relación hipsométrica del Sitio I y de los Sitios II, III y IV.

Se distinguen en el GRÁFICO 12 dos relaciones hipsométricas al agrupar los mejores Sitios por un lado y el Sitio Malo por el otro.

La pendiente de las rectas es muy similar al igual que sus R². Se puede ver que para un mismo valor de DAP se destacan alturas reales diferentes.

Esto estaría indicando que se deberían utilizar por lo menos dos relaciones hipsométricas para disminuir los errores en la predicción de las alturas reales.

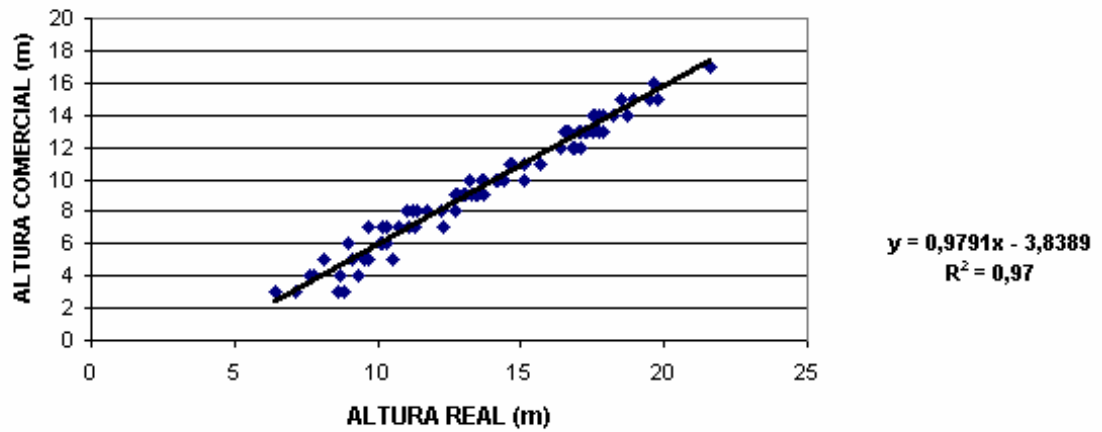


GRÁFICO 13. Regresión lineal entre altura real y altura comercial.

Existe una relación lineal entre estas dos variables con un alto coeficiente de determinación como se ve en el GRÁFICO 13.

En el mismo gráfico se percibe la alta correlación entre la altura comercial y la altura real. Este dato es de suma importancia para el inventario, ya que a partir de la altura total se puede predecir la altura comercial con relativa precisión.

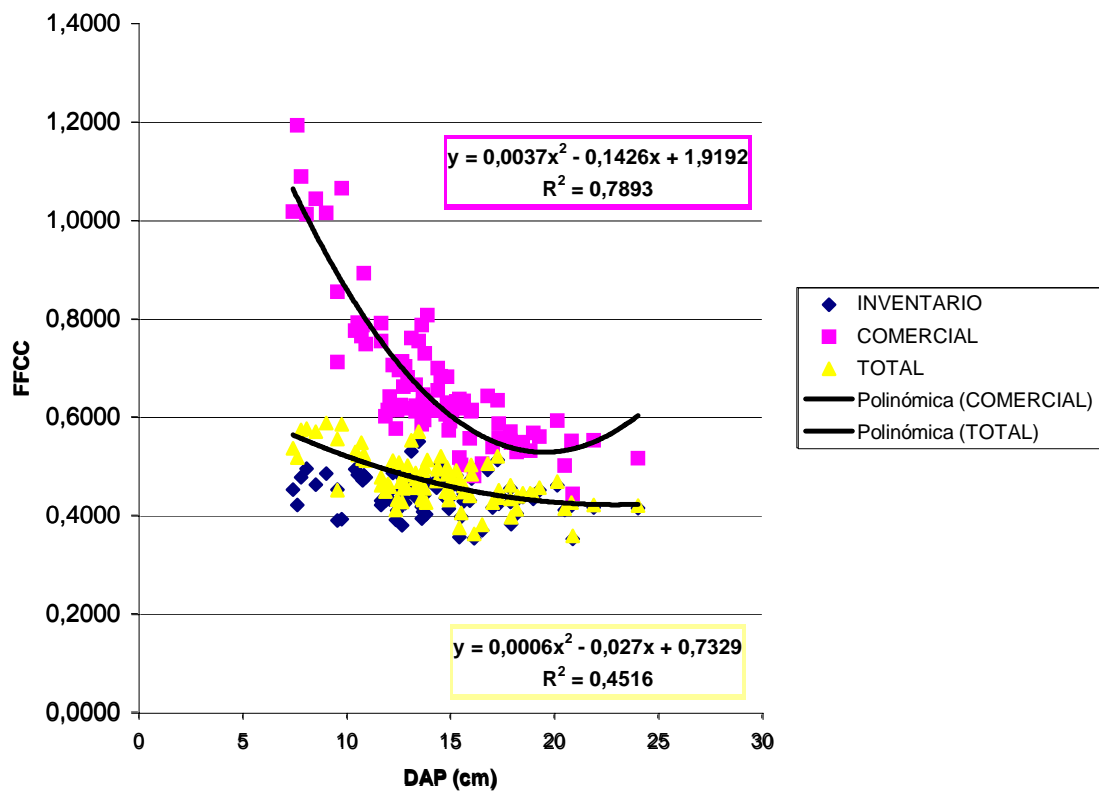


GRÁFICO 14. DAP vs Factores de Forma con corteza.

En el GRÁFICO 14 se muestran todos los valores de los diferentes Factores de Forma con corteza en relación con los DAP. Se ve que el Factor de Forma Comercial tiene una tendencia más marcada a disminuir a medida que aumenta el DAP, luego le sigue el Factor de Forma Total.

El Factor de Forma de inventario tiene menor variación en sus valores y es bastante independiente del diámetro.

Para el Factor de Forma Comercial la ecuación que mejor se ajustó fue la función polinómica de segundo grado. A medida que aumenta el diámetro y por ende también la altura ya que están asociados, disminuye el Factor de Forma Comercial.

Para el **F.F. Comercial** se observa una tendencia clara de disminución del mismo a medida que aumenta el DAP del árbol, con un alto coeficiente de determinación de 0,789; mientras que para el **F.F. Total** la tendencia no es tan clara y el R^2 es de 0,45.

La variabilidad del Factor de Forma de Inventario es la que presenta magnitudes menores, luego le sigue la del Factor de Forma Total y por último el más variable es el Factor de Forma Comercial.

Sorrentino (1996) y Prodan et al (1997) concuerdan en que existe una tendencia que, a medida que aumenta el diámetro de los individuos, el factor de forma decrece. Esto se puede observar en el gráfico anterior de una manera muy clara.

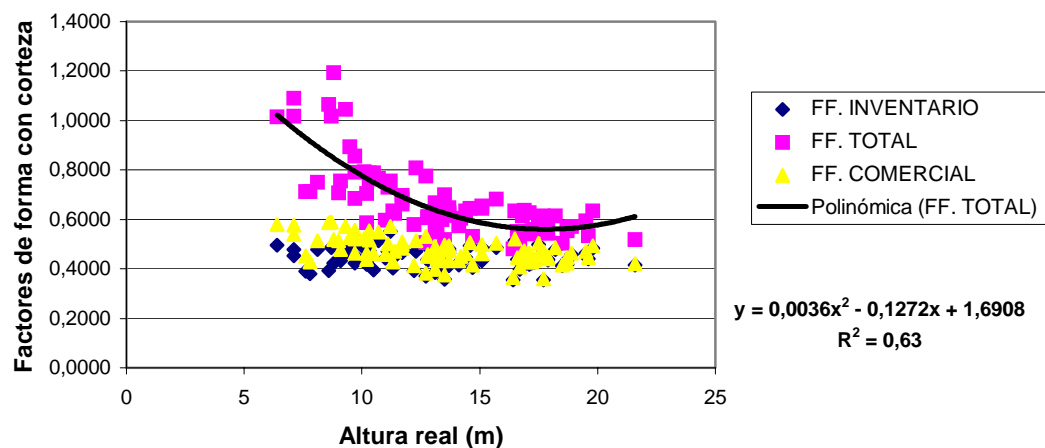


GRÁFICO 15. Altura real vs Factores de Forma con corteza.

Si se grafican los Factores de Forma con corteza y las alturas reales, se observa una tendencia similar a la gráfica del DAP con los mismos Factores de Forma, pero el R^2 del F.F. Comercial es mucho más bajo cuando se relaciona con la altura. Esto podría estar indicando que el Factor de Forma es más dependiente del DAP que de la altura del árbol.

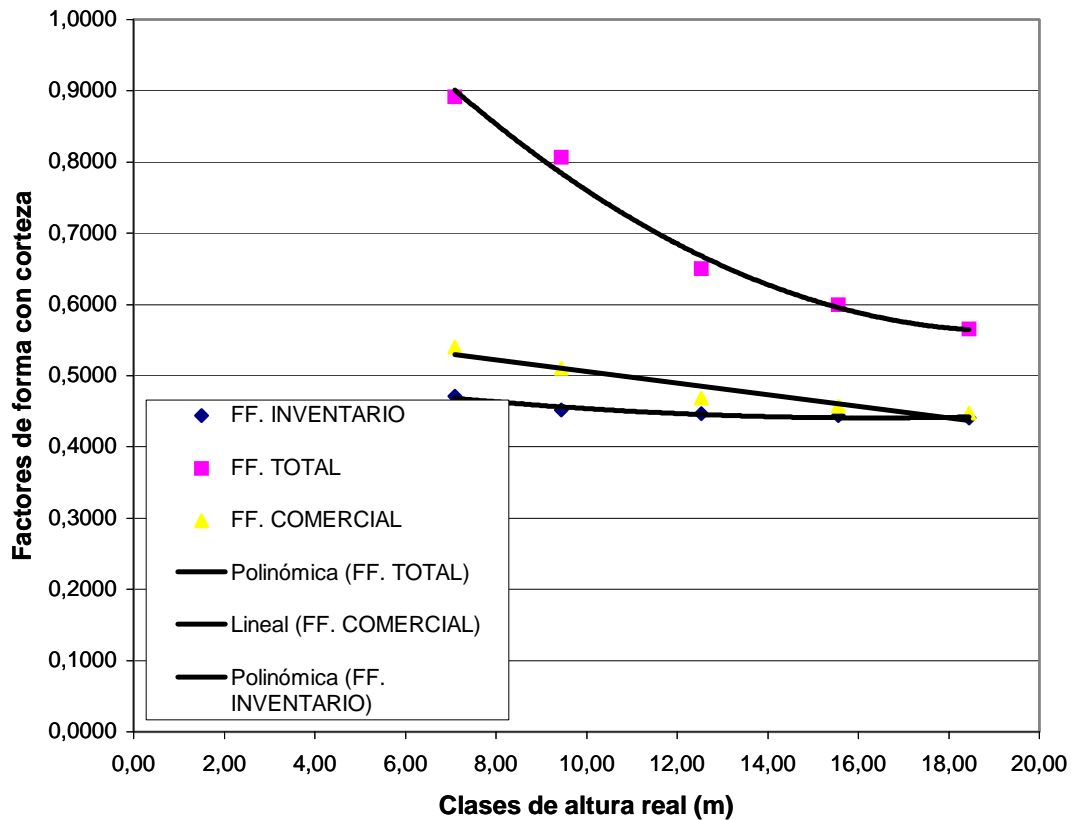


GRÁFICO 16. Clases de altura real vs Factores de Forma con corteza.

Cuando se agrupan los datos por clases diamétricas se concluye que: a medida que aumenta el diámetro de los árboles, disminuyen los tres factores de forma estudiados.

Se observa una tendencia clara en la disminución de F.F. Comercial con los datos totales y agrupados por clases diamétricas. No ocurre lo mismo con los otros dos Factores de Forma ya que la tendencia clara se aprecia al agrupar los datos, como se ve en el GRÁFICO 16.

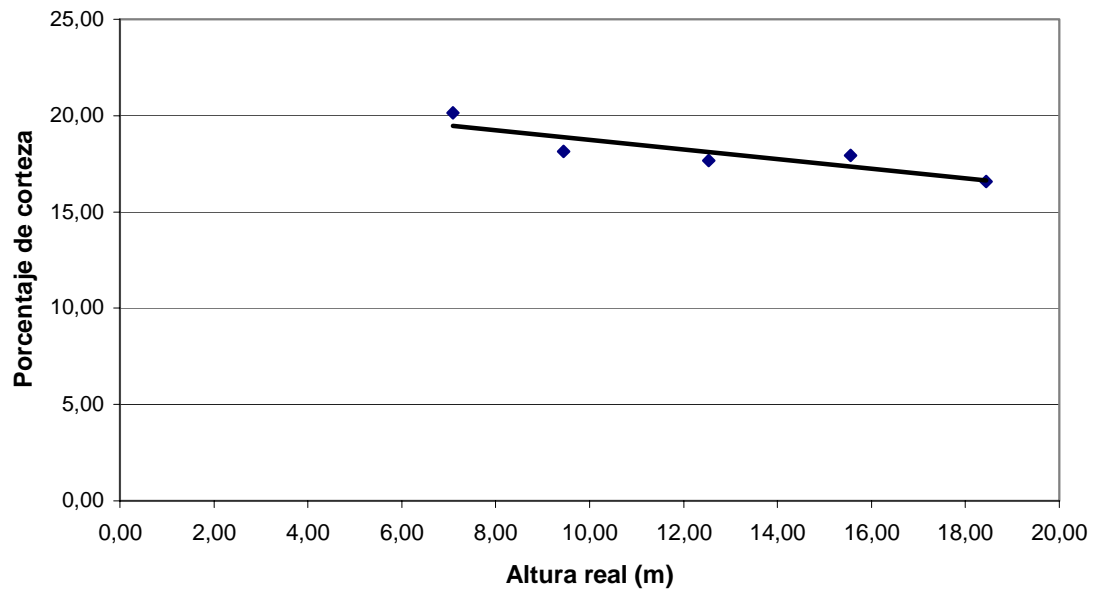


GRÁFICO 17. Clases de altura real vs porcentaje corteza.

Cuando se agrupan los datos por clases de altura real, se observa una tendencia: a medida que aumenta la altura real del árbol disminuye el porcentaje en volumen de corteza en forma lineal. Este dato es importante al momento de descontar la corteza del volumen total.

El porcentaje promedio de corteza en volumen fue de 17,5 %.

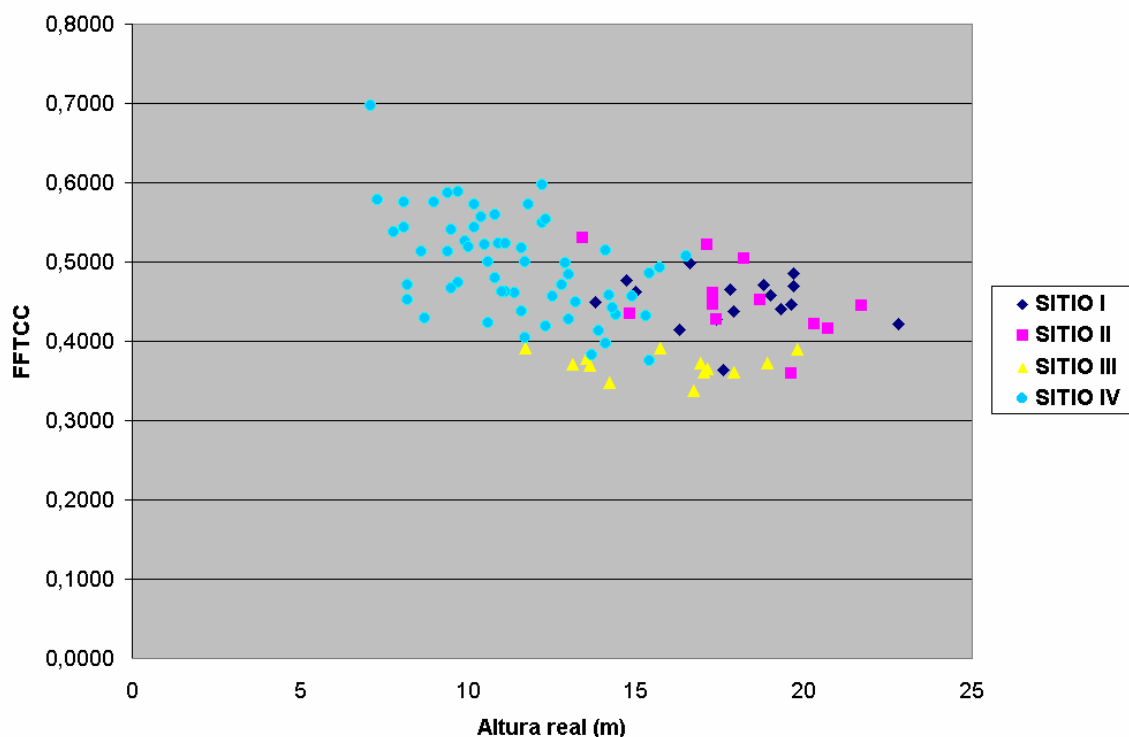


GRÁFICO 18. Alturas reales por Sitio vs Factor de Forma Total con corteza.

Del GRÁFICO 18 se desprende que, en los Sitios Muy Bueno, Bueno e Intermedio no hay una relación clara entre el aumento de la altura real y el comportamiento del Factor de Forma.

En el Sitio Malo, en cambio (donde las alturas totales son menores), se observa una tendencia a aumentar el Factor de Forma Total al disminuir la altura total. Este resultado debe ser tenido en cuenta al realizar cualquier inventario, ya que al considerar el comportamiento del Factor de Forma en relación a la altura como similar en Sitios Malos y en los de mayor calidad como similares puede inducir a errores importantes de estimación de volumen.

En el Sitio Malo de la plantación estudiada ocurrieron mucho más pérdidas que en los otros Sitios (CUADRO 11). Por esta razón, los árboles remanentes disponen de mayor espaciamiento para desarrollarse en diámetro y esto hace que el Factor de Forma sea en general mayor para árboles de cierta altura en el Sitio Malo que para árboles de la misma altura en los otros Sitios.

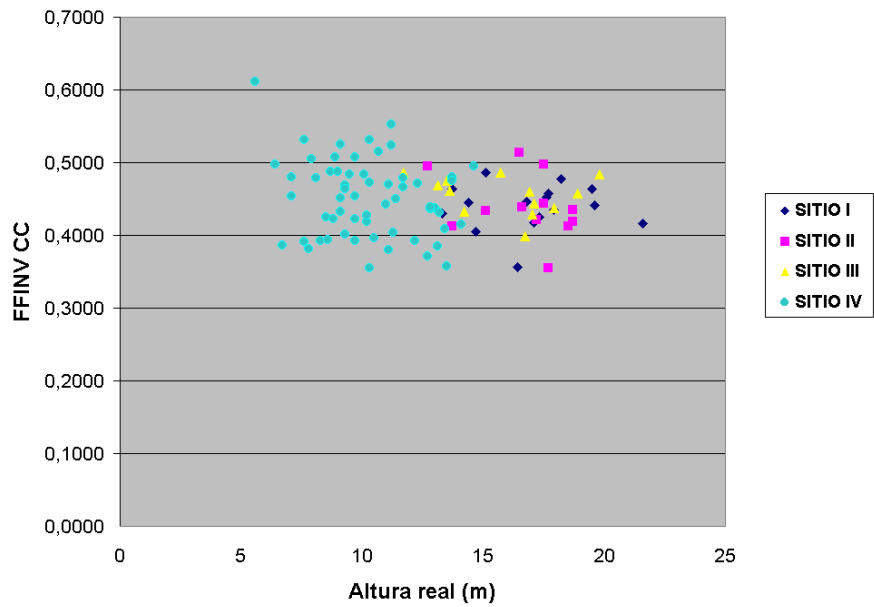


GRÁFICO 19. Alturas reales por Sitio vs Factor de Forma de Inventario con corteza.

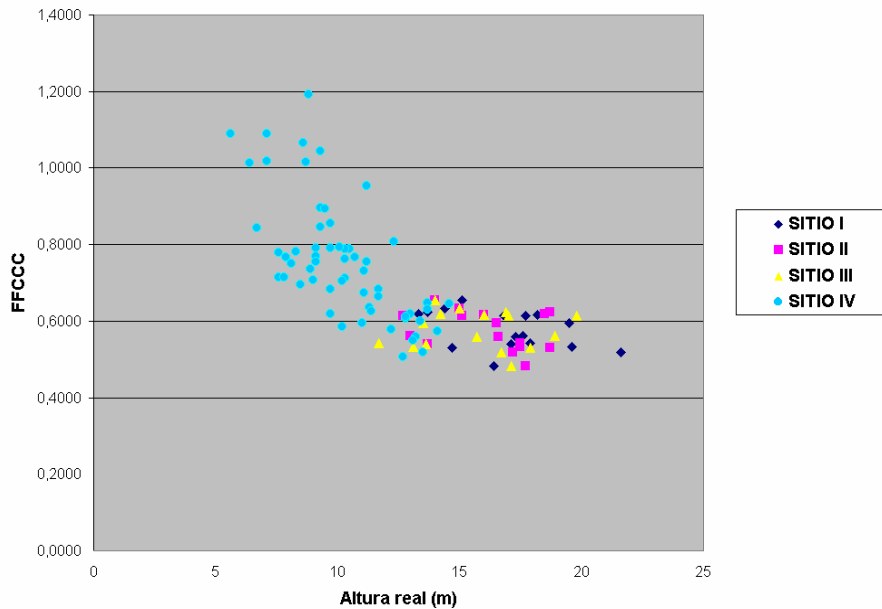


GRÁFICO 20. Alturas reales por Sitio vs Factor de Forma Comercial con corteza.

En los GRÁFICOS 19 y 20 se observa una tendencia similar a la que fue descrita en el GRÁFICO 18, aunque es mucho menos marcada para el FFINV CC.

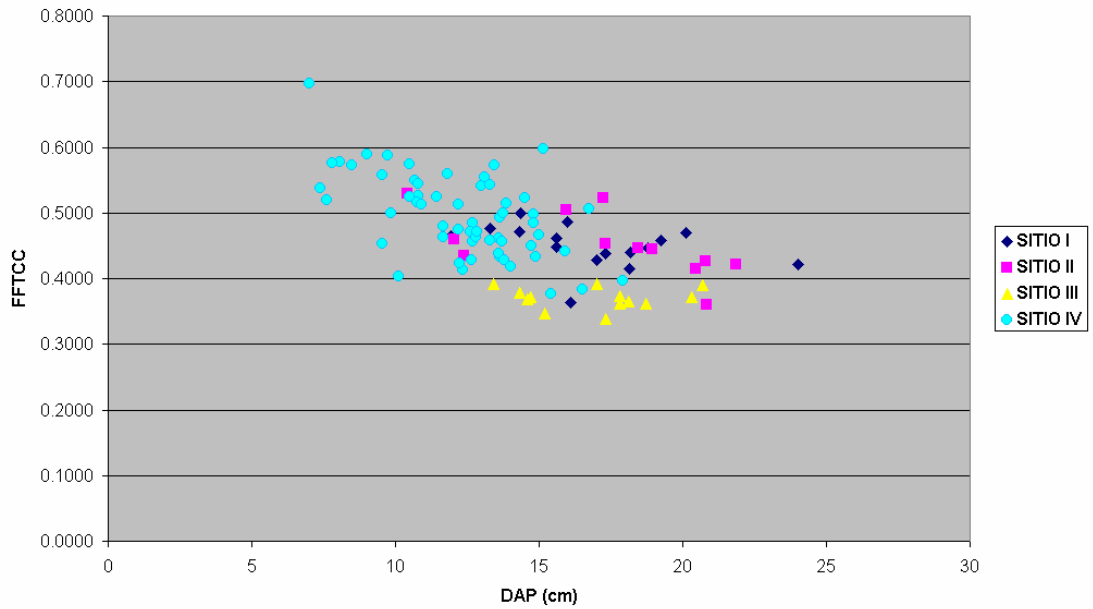


GRÁFICO 21. DAP por Sitio vs Factor de Forma Total con corteza.

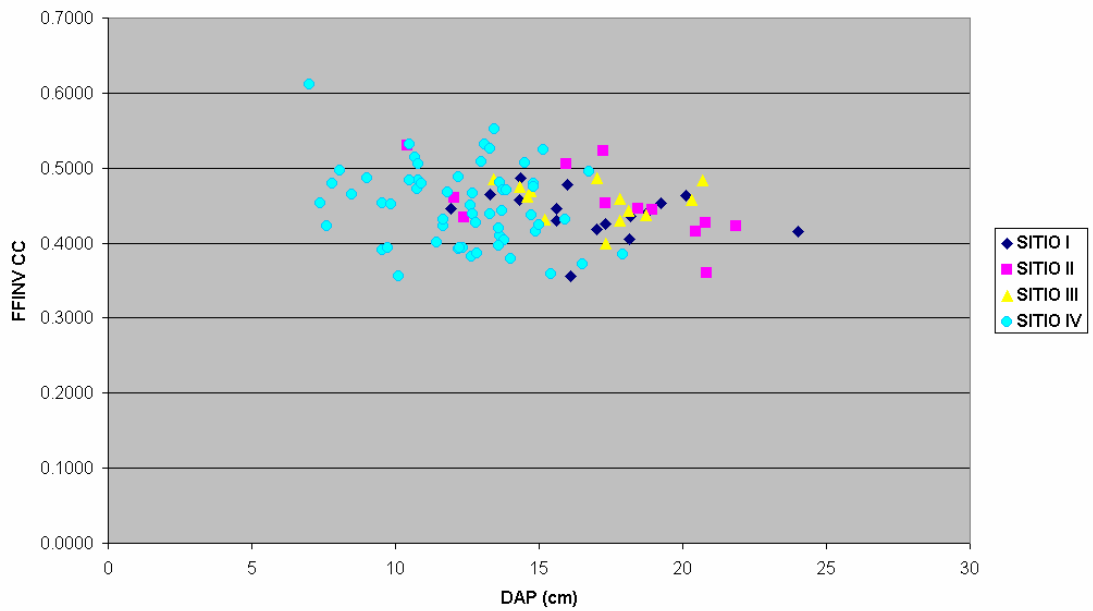


GRÁFICO 22. DAP por Sitio vs Factor de Forma de Inventario con corteza

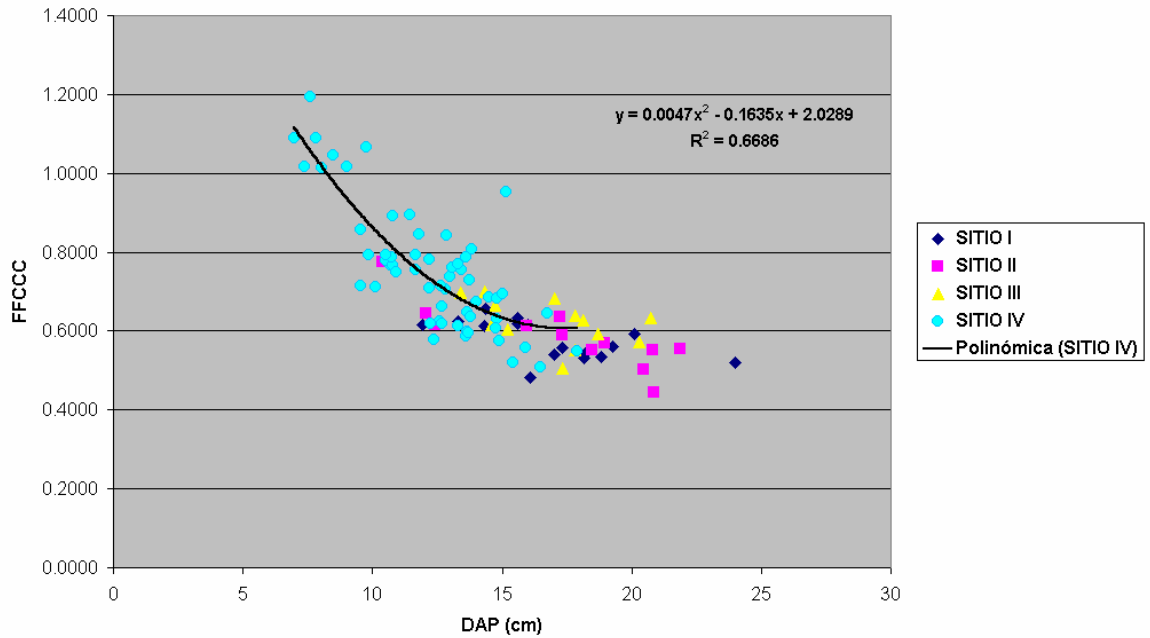


GRÁFICO 23. DAP por Sitio vs Factor de Forma Comercial con corteza.

En los GRÁFICOS 21 y 22, no se observa ninguna tendencia con respecto a los Sitios y el Factor de Forma.

En el GRÁFICO 23 se nota una tendencia. A medida que mejora el Sitio y por lo tanto aumentan los DAP, el FFCCC disminuye. En el Sitio Malo esta tendencia es más marcada y se puede ajustar una función de segundo grado que se aprecia en el gráfico con un R^2 de 0.67.

4.2.2.2. Relación entre altura real y variables de suelo

A continuación se presentan varios gráficos relacionando variables del árbol como los son la altura real y el DAP y variables del suelo.

Se presentan solamente aquellas variables que tienen algún tipo de tendencia al ser agrupadas.

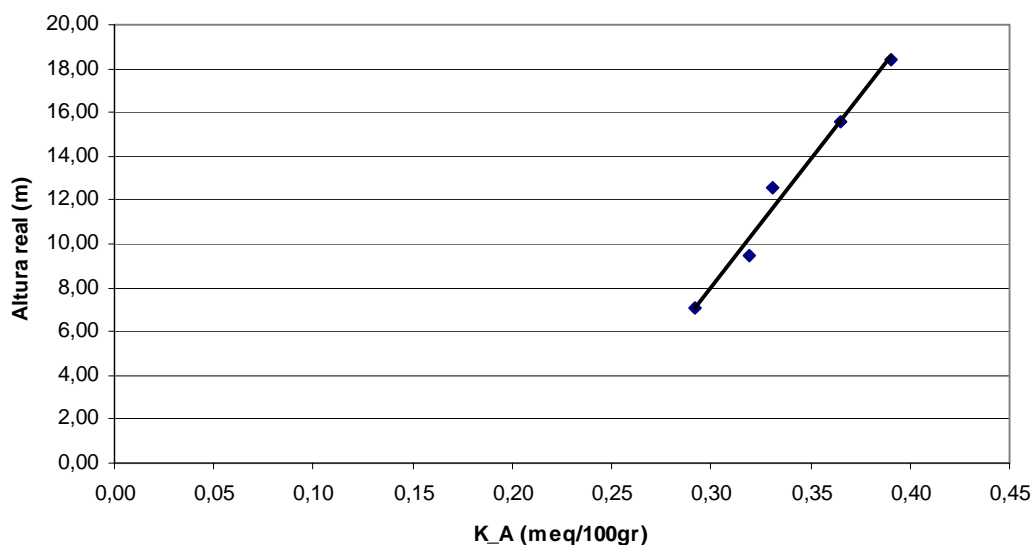


GRÁFICO 24. Clases de altura real vs contenido de K en el horizonte A.

Si observamos el GRÁFICO 24 podríamos concluir que a medida que aumenta la concentración de potasio en el horizonte A, aumenta la altura real. Es posible que el potasio esté asociado a otras propiedades del suelo y que sean esas propiedades asociadas las que incidan en el crecimiento en altura.

Al interpretar una variable de suelo aislada de las demás se puede cometer errores, pero como lo indica el gráfico parecería que el K disponible en el horizonte A, estaría en su nivel crítico para estos suelos.

Esto puede ser cierto debido a la composición geológica de esta zona y a que en algunos potreros se realizó una extracción intensiva de nutrientes años anteriores a la plantación. Estos potreros son, el potrero 1 y el 2.

A nivel nacional según la bibliografía (Durán, 1991) son puntuales las zonas del país donde existen deficiencias de potasio en el suelo. En este caso para verificar la hipótesis, se debería evaluar si, realizando fertilizaciones con potasio, se consigue aumentar la altura de los árboles (es importante resaltar que el fertilizante utilizado no contenía potasio).

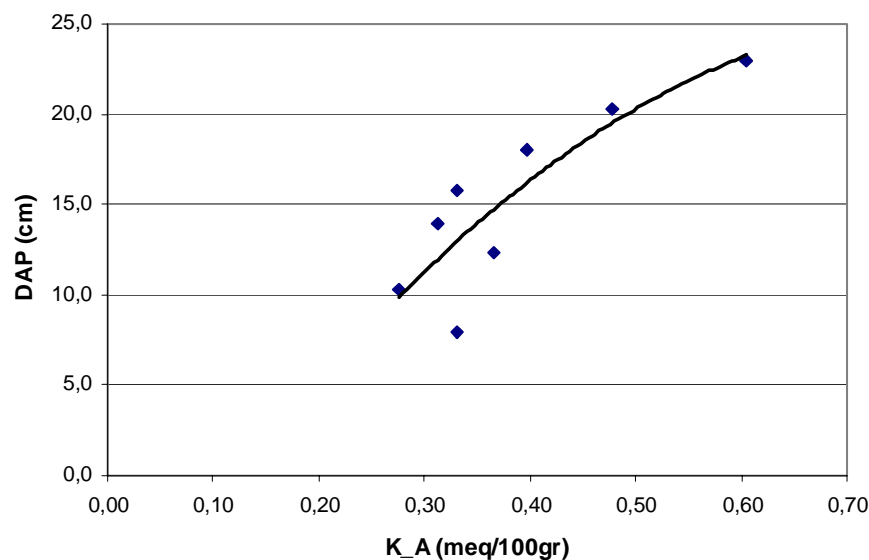


GRÁFICO 25. Clases de DAP vs contenido de K en el A.

Al graficar los niveles de K en el horizonte A y las clases de DAP, se observa una tendencia creciente luego que el potasio supera los 0,35 meq/100gr. Al igual que la altura, ésto podría comprobarse realizando algún experimento específico evaluando si, agregando diferentes dosis de potasio, se obtiene un incremento significativo en altura o DAP.

Barros (1992), en uno de sus estudios, referente a la repuesta de diferentes fertilizantes encontró, para algunos suelos de Brasil, respuesta positiva al agregado de potasio, principalmente en los suelos donde este nutriente era deficiente.

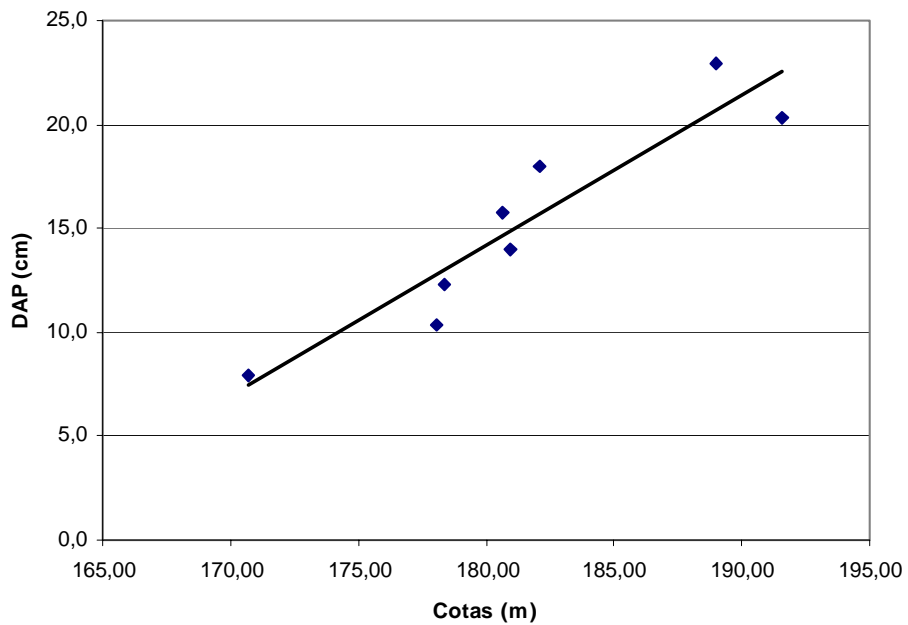


GRÁFICO 26. Clases de DAP vs Cotas.

A medida que aumenta la altura con respecto al nivel del mar o sea a medida que las plantaciones se encuentran en zonas más altas, se observa un mayor desarrollo en diámetros y alturas.

Esto se debe a que en las zonas más altas el riesgo de heladas es menor. También es menor en esas zonas el anegamiento superficial.

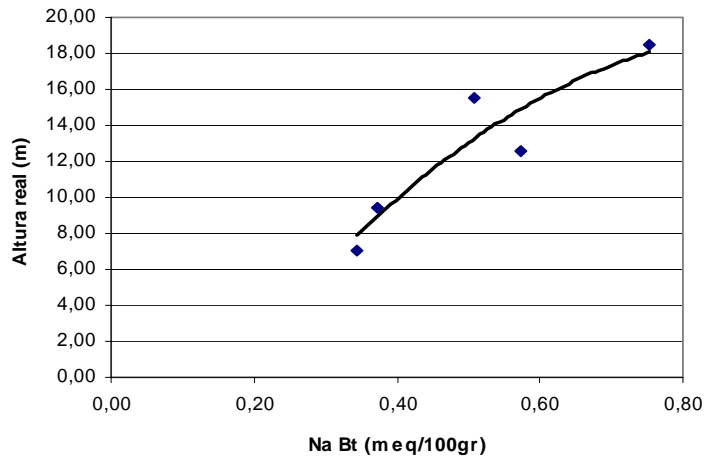


GRÁFICO 27. Clases de altura real vs contenido de Na en el horizonte Bt.

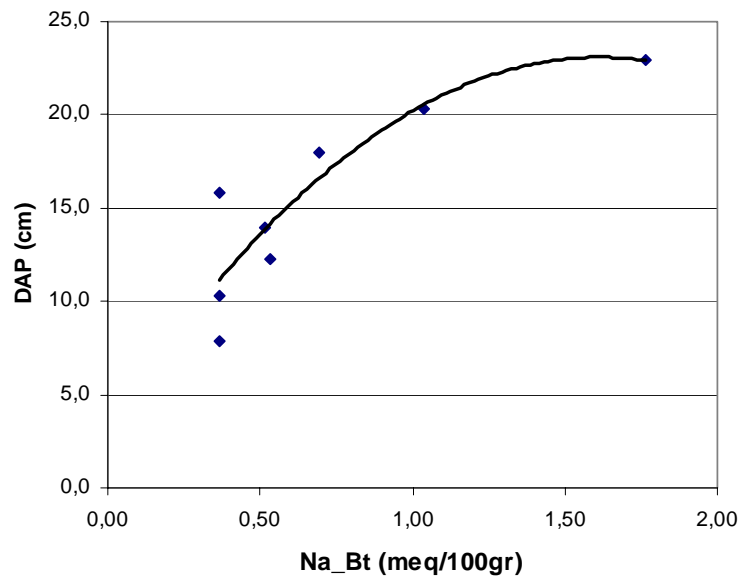


GRÁFICO 28. Clases de DAP vs contenido de Na en el horizonte Bt.

En el trabajo realizado por el INIA y Facultad de Agronomía se observó que el Na del suelo tiene un efecto depresivo sobre la altura total de los *E. globulus*.

En este estudio, los datos obtenidos indican una tendencia contraria, lo que debe ser verificado en estudios más específicos.

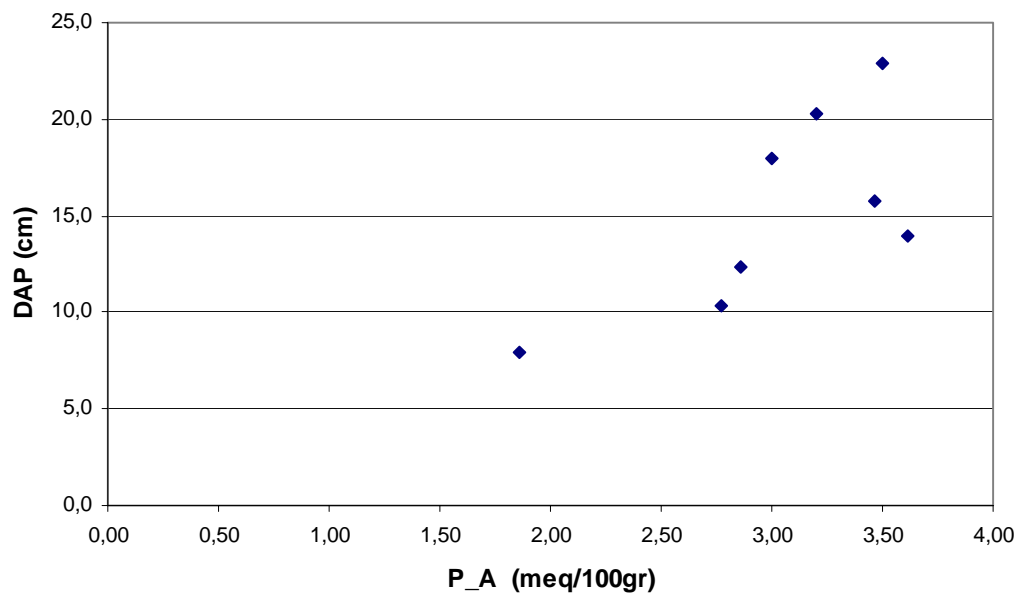


GRÁFICO 29. Clases de DAP vs contenido de P en el horizonte A.

Estudios recientes y no publicados por la Facultad de Agronomía (ENCE, 2005) han encontrado respuesta positiva al agregado de fósforo, en varias especies de eucaliptos.

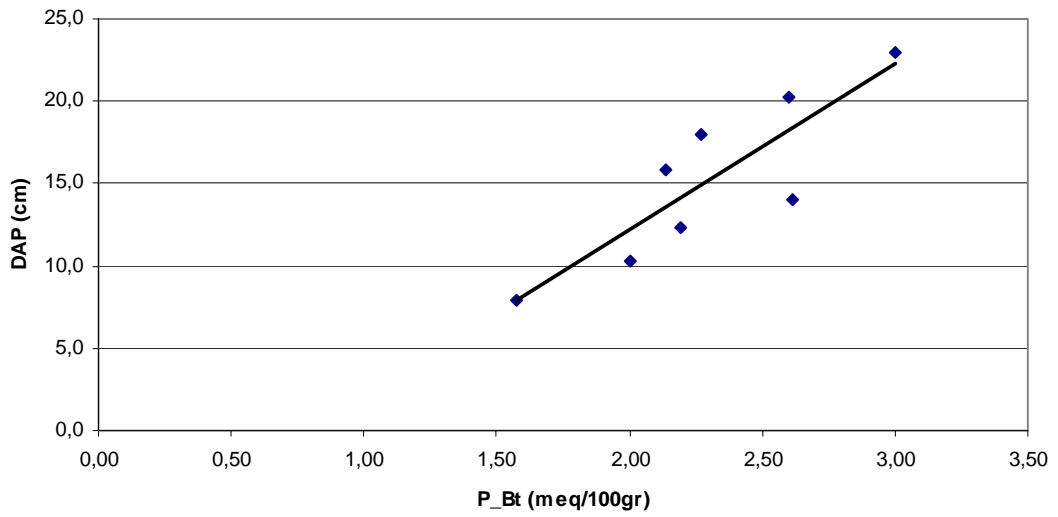


GRÁFICO 30. Clases de DAP vs contenido de P en el horizonte Bt.

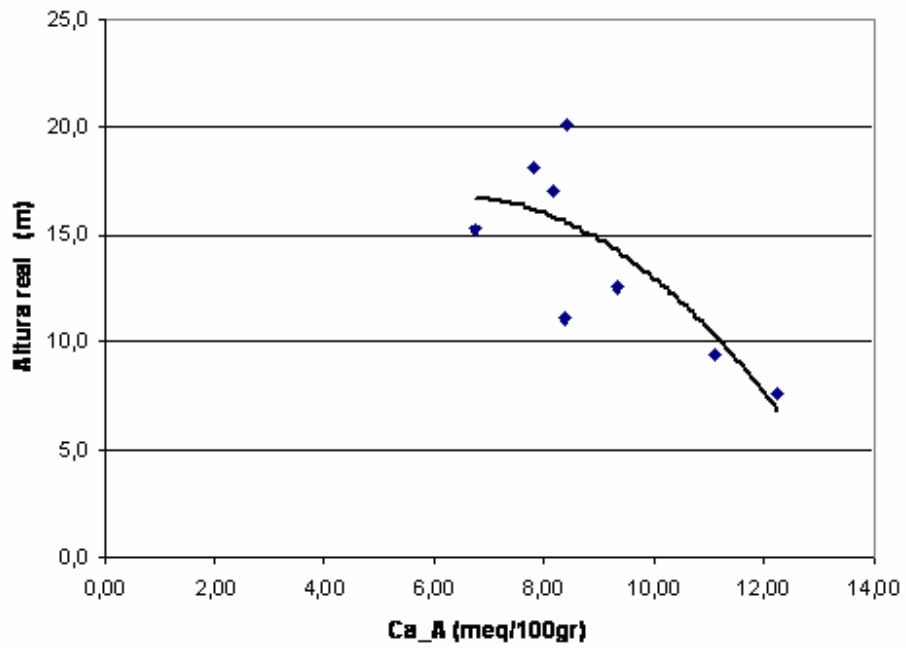


GRÁFICO 31. Clases de altura real vs contenido de Ca en el horizonte Bt.

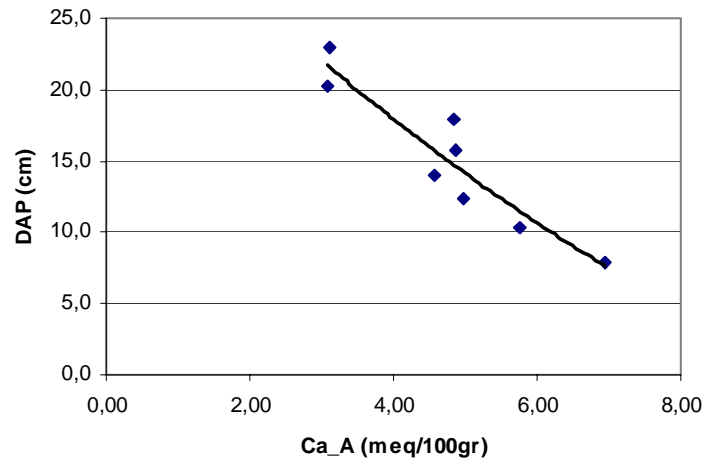


GRÁFICO 32. Clases de DAP vs contenido de Ca en el horizonte A.

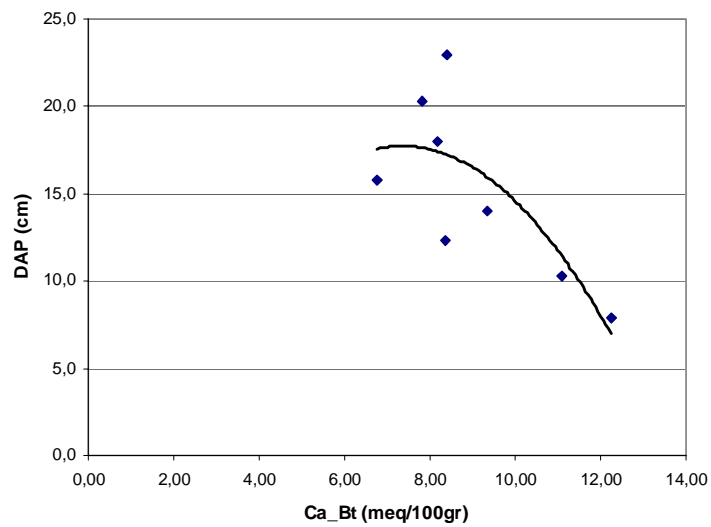


GRÁFICO 33. Clases de DAP vs contenido de Ca en el horizonte Bt.

Los GRÁFICOS 31, 32 y 33, muestran una tendencia. A medida que disminuye el contenido de Ca en el suelo, los árboles presentan mejor desarrollo en DAP y altura real.

4.2.3. Regresión múltiple

4.2.3.1 Regresión múltiple entre altura total real y variables de suelo

El modelo obtenido por regresión múltiple, fue el siguiente:

$$Y = - 52,37 + 2,69 * K_A + 0,16 * Cota + 10,18 * Ph_A_KCl - 0,22 * \% M.O_A - 2,18 * Ca_Bt$$

Donde:

Y = Altura total real en m

K_A = Contenido de Potasio en el horizonte A en meq/100gr

pH_A_KCl = pH en KCl del horizonte A

%M.O_A = Porcentaje de materia orgánica del horizonte A

Ca_Bt = Contenido de Ca en el Bt en meq/100gr

Coefficiente de correlación r: 0,6779

Coefficiente de determinación r²: 0,4595

CUADRO 31. Resultados generales del análisis de varianza del modelo ajustado por stepwise.

	Grados de libertad	Suma de cuadrados	Cuadrados medios	F de Fisher	Pr > F
Modelo	5	649,0620	129,8124	15,9837	0,0001
Residuo	94	763,4280	8,1216		
Total	99	1412,4900			

CUADRO 32. Cuadrados medios, F de Fisher y nivel de confianza para las variables de suelo más significativas por correlación múltiple.

Fuentes de variación	Grados de libertad	Cuadrados medios	F de Fisher	Pr. >F
K_A	1	171,0240	21,0580	0,0001
Cota	1	107,4924	13,2354	0,0004
pH_A_KCl	1	140,9498	17,3550	0,0001
% M.O_A	1	142,7974	17,5825	0,0001
Ca_Bt	1	86,7985	10,6874	0,0015

Las variables que presentaron alta correlación positiva con la altura real fueron: el contenido de potasio del horizonte A, la cota, el Ph con KCl del horizonte A.

Las variables que presentaron una correlación negativa fueron: el porcentaje de materia orgánica del horizonte A y el contenido de Ca del horizonte Bt (**ANEXO 8**).

4.2.4. Discusión sobre los problemas de adaptación Sitio-especie de las procedencias de *E. globulus* empleadas en el área de estudio.

El Uruguay se encuentra en una zona marginal, para la explotación de la especie estudiada (Shield, 2005).

Las temperaturas promedios anuales son muy altas con respecto al óptimo de la especie que se sitúa entre los 13,5 y 15,0 °C. En el establecimiento de Arteaga esa temperatura es de 16,4 °C.

Otro factor importante son las temperaturas extremas de verano e invierno.

La inadaptación a las zonas bajas se da por una mayor probabilidad de ocurrencia de heladas y a su vez heladas más severas.

Además de los factores climáticos detallados en el caso particular del área analizada, el suelo también tendría sus limitantes, principalmente debido al gran desarrollo del horizonte Bt en la mayor parte del área de estudio.

Este horizonte argilúvico interrumpe el desarrollo radicular en profundidad obligando al árbol a desarrollar sus raíces casi exclusivamente en el horizonte A que, en algunos casos, no supera los 30 cm de espesor.

De esa manera el árbol posee menor anclaje y menor captación de nutrientes inmóviles por la escasez de exploración radicular en el subsuelo.

Este tipo de suelo presenta anegamiento en gran parte del invierno, haciéndose éste más notorio en las partes medias y bajas del terreno. Este anegamiento casi permanente en el período de invierno provoca una inhibición en la respiración radicular y por lo tanto menor actividad en esa parte de la planta.

En el área de estudio además se presentan suelos con antecedentes agrícolas. Estos suelos conforman también los Sitios Malos, por su baja fertilidad.

El pH en KCl, parece también tener una correlación positiva con el desarrollo dentro del rango de pH detectado en los Sitios estudiados.

Otro factor muy importante es el origen de la semilla. En Chillán, esta semilla soporta condiciones climáticas y de suelo, completamente diferentes a las que se dan en Cerro Colorado.

El régimen hídrico es completamente diferente -el 68 % del total de precipitaciones en Chillán se da en invierno- al igual que las temperaturas promedio anuales, que en Chillán son de 13,6.

Los suelos que se encuentran en la región de procedencia son suelos profundos y bien drenados, completamente diferentes a los de este establecimiento.

Debido a todos estos factores esta especie presenta condiciones marginales de adaptación con tasas de incremento medio anual, muy por debajo a lo esperadas y muy diferentes en magnitud a las de la región de procedencia.

Además de presentar un incremento menor por árbol, presenta gran porcentaje de árboles suprimidos y rebrotados, manifestando estos síntomas un problema de inadaptación al Sitio.

El estudio de procedencias realizado por el INIA demuestra, que las condiciones para que la especie se adapte, desarrolle y sea menos susceptible a plagas y enfermedades, depende básicamente de las condiciones agroclimáticas de la región de procedencia.

No existen *E. globulus ssp. globulus* originarios de latitudes similares a las muestras. El área de distribución natural de la especie se encuentra por lo menos tres grados más al Sur.

Algunas empresas como ENCE e instituciones como el INIA están desarrollando programas de mejoramiento para *E. globulus ssp. globulus*, procurando una mejor adaptación Sitio-especie (INIA, series técnicas 103, 143 y 149).

Los avances logrados hasta el momento permiten alentar esperanzas de mejoras significativas en el desarrollo de la especie en el país, aunque no es razonable esperar obtener en los próximos años, rendimientos de 25 a 30 m³/ha/año, como los que fueron pronosticados por algunos técnicos en la década anterior.

5. CONCLUSIONES

- El genotipo de la semilla empleada para esta plantación no presenta una buena adaptación a las condiciones de Sitio locales.
- Los suelos de la zona de estudio presentan un Bt muy desarrollado, que favorece el anegamiento superficial en los meses de invierno, interrumpiendo probablemente el desarrollo radicular en el subsuelo y por ende restringiendo la absorción de una mayor cantidad de nutrientes, y afectando la fisiología de los árboles.
- Las temperaturas promedios anuales del área de estudio son muy altas con respecto al óptimo de la especie que se sitúa entre los 13,5 y 15,0 °C. En el establecimiento de Arteaga esa temperatura es de 16,4 °C.
- En el área de estudio, se encontró una relación positiva alta entre el crecimiento en altura, el potasio del suelo y el pH del horizonte A , así como con la Cota de plantación, factores que estarían determinando la calidad de Sitio para la procedencia de semilla utilizada
- Mayores concentraciones K en el horizonte A, Na y P en el horizonte A y Bt, contribuyen a un mejor desarrollo de las plantas en altura y diámetro en los Sitios estudiados.
- La variabilidad del factor de forma es menor que la variabilidad de altura y DAP, por lo tanto el tamaño mínimo de muestras para realizar un muestreo representativo del Factor de Forma será menor que el DAP y que el de la altura total, en el área de estudio y para el material genético estudiado.
- El Factor de Forma promedio de Inventario sin corteza para la especie *E.globulus ssp. globulus* en este estudio es el que presenta menor variabilidad de todos los factores de formas medidos y tiene una magnitud promedio de 0.37.
- Los Factores de Forma estudiados disminuyen a medida que aumenta la altura y el DAP. Lo mismo parecería ocurrir con el porcentaje de corteza.
- Las mediciones realizadas con el vertex II sobreestimaron sistemáticamente las mediciones de altura total de los árboles apeados, en promedio 0, 84 metros.
- Solamente se encontraron diferencias estadísticas significativas, entre el Sitio Malo y los otros tres Sitios analizados.
- Para realizar un Inventario volumétrico más preciso se debería separar el Sitio Malo de los demás Sitios analizados.

6. RESUMEN

Esta tesis intenta identificar que variables del suelo y del clima local, podrían estar condicionando el desarrollo de *Eucalyptus globulus ssp. globulus* en la zona de Cerro Colorado, departamento de Florida.

El objetivo general de este trabajo es determinar los factores de Sitio que afectan el crecimiento del *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, en el área de estudio.

Los objetivos específicos son: diferenciar los Sitios forestales en el área de estudio; obtener valores precisos de la variabilidad de los parámetros dasométricos; correlacionar variables de suelos y dasométricas y finalmente estimar el error del vertex (instrumento de medición de altura).

El análisis fue realizado en una plantación coetánea de 8 años de edad de *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, instalada en el predio propiedad de la Caja de Jubilaciones y Pensiones de Profesionales Universitarios, situado en “Parada Arteaga”, cercano al centro poblado de Cerro Colorado, en el kilómetro 158,700 de la ruta 7.

Se realizó un muestreo preliminar con parcelas circulares de 200m², en las que se midió la altura total con vertex de diez árboles dominantes y codominantes y todos los DAP de los ejemplares que se encontraban dentro de la misma.

A partir de los datos de altura total promedio de las parcelas se identificaron y delimitaron geográficamente cuatro Sitios denominados: Malo, Intermedio, Bueno y Muy Bueno.

Luego se realizó el muestreo definitivo se apearon 100 árboles distribuidos en los cuatro Sitios delimitados en el muestreo anterior. Los parámetros muestreados fueron: la altura real y altura estimada con vertex II; Factores de Forma de Inventario, Total y Comercial; volumen de inventario, comercial y total; y el porcentaje de corteza de cada árbol.

A efectos de establecer relaciones sitio-especie, se correlacionaron variables dasométricas con variables químicas y físicas de suelo, obtenidas en un estudio de suelos anterior.

Se efectuó además una correlación múltiple entre la altura real y algunas variables cuantitativas de suelo llegando a la siguiente ecuación:

$$\text{Altura real (m)} = - 52,37 + 2,69 * K_A + 0,16 * Cota + 10,18 * Ph_A_KCI$$

Las conclusiones de esta tesis son:

- 1) El desarrollo de los árboles es muy pobre y esto puede deberse a que:
 - a) Los suelos de la zona de estudio presentan un Bt muy desarrollado, que favorece el anegamiento superficial en los meses de invierno, interrumpiendo probablemente el desarrollo radicular en el subsuelo y por ende restringiendo la absorción de una mayor cantidad de nutrientes, y afectando la fisiología de los árboles.
 - b) Las temperaturas promedios anuales del área de estudio son muy altas con respecto al óptimo de la especie que se sitúa entre los 13,5 y 15,0 C°. En el establecimiento de Arteaga la temperatura media anual es de 16,4 °C.
- 2) En el área de estudio, se encontró una relación positiva alta entre el crecimiento en altura, el potasio del suelo y el pH del horizonte A , así como con la Cota de plantación, factores que estarían determinando la calidad de Sitio para la procedencia de semilla utilizada Mayores concentraciones K en el horizonte A, Na y P en el horizonte A y Bt, contribuyen a un mejor desarrollo de las plantas en altura y diámetro en los Sitios estudiados.
- 3) La variabilidad del Factor de Forma es menor que la variabilidad de altura y DAP, por lo tanto el tamaño mínimo de muestras para realizar un muestreo representativo del Factor de Forma será menor que el DAP y el de la altura total, en el área de estudio y para el material genético estudiado.
- 4) El Factor de Forma promedio de Inventario sin corteza para la especie *E.globulus ssp. globulus* en este estudio es el que presenta menor variabilidad de todos los factores de formas medidos y tiene una magnitud promedio de 0.37.
- 5) Los Factores de Forma estudiados disminuyen a medida que aumenta la altura y el DAP. Lo mismo parece ocurrir con el porcentaje de corteza.
- 6) Las mediciones realizadas con el vertex II sobreestimaron sistemáticamente las mediciones de altura total de los árboles apeados, en promedio 0, 84 metros.
- 7) El Sitio Malo presentó valores significativamente menores en altura real, estimada, DAP, Factor de Forma Total y Comercial, que los otros tres Sitios.
- 8) Para realizar un Inventario volumétrico más preciso se deberá separar el Sitio Malo de los demás Sitios analizados.

7. SUMMARY

This thesis tries to justify the variables of soil and the local climate, which could be conditioning the development of the *Eucalyptus globulus ssp. globulus* in the zone of Cerro Colorado, Florida province.

The general objective of this piece of work is determine the factors of the Site that affect the growth of *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, in the area of study.

The specific objectives are the following: differentiate the forestry site in the area of study; obtain accurate values of the variability of the dasometrics parameters; correlate variables of soils and dasométricas and finally estimate the vertex II error (instrument to measure height).

The analysis was realized in a plantation coetaneous of *Eucalyptus globulus ssp. globulus*, that is propriety of the “Caja de Jubilaciones y Pensiones de Profesionales Universitarios”, situated in “Parada Arteaga”, near the village called Cerro Colorado, in 158,700 kilometre, route 7.

A preliminary sampling was utilized with circular plots of 200m², in which were measured with the vertex the total height of 10 dominant trees and co-dominant and all the DBH of the sample that were found within the plots.

Since this data of the average total height of each plot. was unified 4 sites were defined geographically and called: BAD, INTERMEDIATE, GOOD AND VERY GOOD.

In the definite sample 100 trees were got off, which were distributed in 4 sites delimited by the prior sample. The result obtained was: the real height, the estimated height with the vertex II, factors of the inventory form total and commercial, inventory volume commercial and total and the percentage of the bark of each tree.

It was also carried out a multiple correlation between real height and some quantifiable variables of soil reaching the following equation:

$$\text{Real height (m)} = - 52,37 + 2,69 * K_A + 0,16 * Cota + 10,18 * Ph_A_KCI$$

The conclusions of this thesis are:

- 1) The development of these trees is poor and this could be due to:
 - a. The soils of the zone of study present a very developed Bt horizon, that favour the superficial flooding in the months of winter, interrupting probably the development radicular in the sub-soil and so restricting the absorption of a bigger quantity of the nutrients, and affecting the physiology of the trees.
 - b. The annual average temperatures are very height in respect to the optimum of the species which are situated between 13,5 and 15,00 °C. In Artega farm this temperature is of 16,4 °C.
- 2) In the area of study, it was found a positive high relation between the growth in height, the potassium of the soil and the Ph of the A horizon, as well as the level of plantation, factors that are determining the quality of the Site for the origin of the seed utilized. More concentrations of K in the A horizon, Na and P in the A and Bt horizons, contribute to a better development of the plants in height and diameter in the Sites studied.
- 3) The variability of factor - form is minor than the variability of height and DBH, so the minimal size of the samples to realize a representative sampling of the factor - form will be smaller than the DBH and the total height in the area of study and for the genetic material studied.
- 4) The factor of average form of the inventory without bark for the species *E globules* ssp., *globules* in this study is the one that present minor variability and has a magnitude of 0.37.
- 5) The factors - form studied diminish as increase the height and the DBH. The same seem to happen with the percentages of the bark.
- 6) The measurements realized with the vertex overestimated systematically the measurements of the total height of the trees apeados, on an average of 0,84 metres.
- 7) The BAD site presented values more inferior in the real height, estimated Dap, factor of total and commercial form than the other three sites
- 8) In order to make a more accurate volumetric inventory the Bad site should be separated from the other analysed sites.

8. BIBLIOGRAFÍA

1. ATTWILL P.M.; ADAMS M.E., 1996. Nutrition of Eucalypts P.M. Attiwill, M. A. Adams (Eds). CSIRO Publishing, Collingwood, Australia 440 p.
2. BALMELLI, G; MORRONI, V; ALTIER, N; GARCÍA R. 2004. Potencial del mejoramiento genético para el manejo de enfermedades en *Eucalyptus globulus*. INIA. Serie Técnica 143. 44p.
3. BALMELLI, G; RESQUIN, F. 1999. Evaluación de orígenes de *Eucalyptus globulus* al séptimo año. INIA. Serie Técnica 103. 16p.
4. _____. 2005. Evaluación productiva de orígenes de *Eucalyptus globulus* en Sitios litoral y norte. INIA. Serie Técnica 149. 16p.
5. _____. 2005. *Eucalyptus globulus* importancia de la elección de la fuente de semilla.. INIA. Revista N° 3. pp. 26-29.
6. BARROS, N.F.; NOVAIS, R.F; NEVES, J.C.; LEAL, P.G.L., 1992. Fertilising eucalypt plantations in the brazilian savannah soils. South African Forestry Journal, v. 160: 7-12.
7. BATTAGLIA, M.; BEADLE, C.; LOUGHHEAD, S. Photosynthetic temperature responses of *Eucalyptus globulus* and *Eucalyptus nitens*. Victoria, Canadá, 1996. Tree Physiology, pp.81–89.
8. BARIDÓN J., LANFRANCO J., MARLATS R., VÁZQUEZ, M.. Evaluation of the quality forest site for *Eucalyptus camaldulensis* through edaphic indexes in Argiudolls and Argiacuolls, Argentina. Agricultura. Técnica. v.61 n.2 Santiago. 2001.
9. BONILLA, J. Muestreo aleatorio y muestreo sistemático en relevamientos dasométricos. In Primer Congreso Forestal Argentino, Buenos Aires, Facultad de Agronomía y Veterinaria, 1971, pp. 582-584.
10. _____. Tamaño de parcela; su magnitud más adecuada para relevamientos dasométricos. In Primer Congreso Forestal Argentino, Buenos Aires, Facultad de Agronomía y Veterinaria, 1971, pp. 584-586.
11. BOSSI, J.; NAVARRO, R. 1991. Geología del Uruguay. Montevideo. Universidad de la República. 2v.
12. BRUSSA, C.C. 1994. Eucalyptus. Ed. Hemisferio Sur, Montevideo. 328p.

13. CALDERON S. 1992. Respuesta del *Eucalyptus globulus* ssp *globulus* a la preparación de Sitios, control de malezas y enmiendas nutricionales. Ciencia e Investigación Forestal 6 (1): 6-22.
14. COX, F; PETERS, R; PRODAN, M; REAL, P. Mensura Forestal. Proyecto IICA/GTZ sobre Agricultura, Recursos Naturales y Desarrollo Sostenible. Costa Rica, 1997. 561p.
15. Curso FAO/Finlandia de entrenamiento en Inventario Forestal, 1975, Venezuela, Actas del curso FAO/Finlandia de entrenamiento en Inventario Forestal, 1976, Roma, FAO, pp. 90-123.
16. CZARNOWSKI, P. 1964. Variables del clima. Galicia, España. 128p.
17. DURAN, A. Los suelos del Uruguay. 2da edición. Montevideo, Uruguay. 1991. 398p.
18. FABRES, A. 2003. Aspectos nutricionales de *Eucalyptus globulus* em Portugal. 1º Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus*, Montevideo, Uruguay. 10p.
19. FREITAS, B. Descripción de las especies del género *Eucalyptus* plantadas en Villasboas y evaluación de su comportamiento. Tesis Ing. Agr., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía 1985, 373p.
20. Manual del vertex II. 2000. Consultado el 12 de feb. 2005. Disponible en <http://www.haglofsweden.com/products/Mantaxcomputer/index.asp>
21. KRALL, J. Fundamentos para nuevas introducciones de *Eucalyptus* en el Uruguay. Boletín de Facultad de Agronomía N° 113. Montevideo, Uruguay. 1970. 22p.
22. LUPO, S.; ALONSO, R.; TISCORNIA, s.; MARTÍNEZ, S.; SIMETO, S; PÉREZ, G;. RIVAS, F. 2003. Algunos problemas fitosanitarios de *Eucalyptus globulus* en Uruguay. Primer Simposio Iberoamericano de *Eucalyptus globulus* (1º., 2003, Montevideo).
23. Manual del Arc-view. 2003. Consultado el 12 mayo 2005. Disponible en <http://www.esri.com/software/arcgis/about/overview.html>.
24. MENA, C. Sistema de información geográfica y teledetección espacial aplicadas a la ordenación del territorio y medio ambiente. Talca, Chile, 1999.

25. MÉNDEZ, A. Evaluación del estado nutricional en plantaciones de *Eucalyptus globulus*, Labill, ssp. *globulus*. Tesis Ing. Agr., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía 2003, 87p.
26. NOTARO, J.; PALLOZZI, S. Determinación del crecimiento medio anual en diámetro y altura de *Eucalyptus grandis* (Hill) Maiden en función de variables de suelo. Tesis Ing. Agr., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1983, 218p.
27. NYSSONEN, A. Diseño de Inventario. FAO. Inventario Forestal. Curso FAO/Finlandia. Roma, 1976, 449p.
28. PITA CARPENTER, P. La producción forestal de las masas de *Eucalyptus globulus* en el norte de España. In Congreso Forestal Mundial, 6°, Madrid, 1966. Actas Madrid, 1966, pp. 2467-2474 (v.II).
29. PRADO, J.A.D.; TORO, J.A.V.; 1996. Silviculture of eucalypt plantations in Chile. In: Nutrition of Eucalypts. Eds. P.M. Attiwill and M.A. Adams. CSIRO, Melbourne, Australia. 357-370.
30. POU, R. Aspectos del cultivo de *Eucalyptus globulus* en Uruguay. 1999. Consultado el 01 de nov. 2004. Disponible en <http://www.ence.es/main.html>.
31. RUBIO, S.; VIERA, M. Inventario para manejo de plantaciones energéticas de RAUSA (Depto. de Maldonado). Tesis Ing. Agr., Montevideo, Uruguay, Facultad de Agronomía, 1989. 77p.
32. SCHLATTER, J; ESCOBAR, R. 1993. Eucalypt plantation forestry in Chile. Australian Forestry. 56 (2) 179-192.
33. SCHUMACHER, M.V. 1998. Estudo da biomassa e dos nutrientes de un povoamento de *Eucalyptus globulus* (Labillardiere) subespecie *bicostata*. Revista Arvore 22(2) 281-286.
34. SEMINARIO FORESTAL: Mejoramiento genético, silvicultura y sanidad *Eucalyptus globulus* en la región sureste. 2002. Montevideo 2003. (INIA 2002). (Serie de Actividades de Difusión 289) 82p.
35. SGANGA, J. Evaluación de Suelos realizado para la Caja de Pensiones y Jubilaciones de Profesionales Universitarios. Montevideo, Uruguay, 1996. 22p.
36. SGANGA, J. La Forestación en la conservación de suelos. Ministerio de Agricultura y Pesca. Montevideo, Uruguay, 1979. 32p.

37. SORRENTINO, A. Manual para diseño y ejecución de inventarios forestales. Montevideo, Uruguay, 1996. 350p.
38. STELL, R; TORRIE, J. Bioestadística principios y procedimientos, 2da edición, Méjico, 1989, 622p.
39. SHIELD, E. 2004. Tomando contacto con la realidad. Revista de Sociedad de Productores Forestales N° 22, pp. 4-7.
40. _____. 2005. Sustituyendo al *Eucalyptus globulus ssp. globulus* como especie pulpera en Uruguay. Revista de Sociedad de Productores Forestales N° 25, pp. 4-9.
41. URUGUAY. MINISTERIO DE AGRICULTURA Y PESCA-CONSEJO NACIONAL DE INVESTIGACIONES CIENTÍFICAS 1979. Grupos de Suelos, Índices de productividad. Ministerio de Agricultura y Pesca. 157p.
42. UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA (Uruguay). Facultad de Agronomía, 1994. Manual Teórico – Práctico de Dasometría. Montevideo. 2v.
43. _____. Facultad de Agronomía, 1993. Potasio. Montevideo. 36p.