

MODELOS DE CRECIMIENTO DE *Eucalyptus globulus* A PARTIR DE LAS PROPIEDADES DEL SUELO*

Penón, E.A.¹; Costa, M.C.¹; Baraño, J.J.³; Craig, E.B.³; Gaitán, J.J.¹; Cucciuffo, E.³; Gustavo Lopez²; Javier Rodriguez Traverso²

¹ Edafología, Universidad Nacional de Lujan. ² Bosques Cultivados, INTA Castelar Buenos Aires, Argentina.

³ Producción Vegetal IV (Dasonomía) Universidad Nacional de Lujan.

Universidad Nacional de Luján (UNLu), Departamento de Tecnología, Rutas Nacionales 5 y 7, CP 6700, Luján, Buenos Aires, Argentina. Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), CIRN, Las Cabañas y Los Reseros s/n, CP 1712, Castelar, Buenos Aires, Argentina

*Trabajo financiado por la SAGPyA PIA 16/97

INTRODUCCIÓN

El crecimiento forestal depende de una gran variedad de factores de diferente índole que en general se pueden agrupar en climáticos, edáficos y biológicos. La suma total de todos estos factores que afectan la capacidad productiva de un bosque se define como calidad de localización o sitio (Spurr y Barnes, 1982).

Dichos factores actúan a distintas escalas espaciales y temporales originando respuestas ecofisiológicas diversas.

Los factores ambientales (climáticos y edáficos) más útiles son aquellos que se encuentran en bajo abastecimiento con respecto a lo demandado por los árboles forestales, de tal manera que pequeños cambios en el abastecimiento del factor, dan como resultado cambios que pueden ser medidos en el crecimiento de los mismos.

Los factores climáticos se encuentran más asociados que los factores del suelo a las diferencias genéticas sobre un rango geográfico y de altitud de las especies. Los edáficos son aptos para tener un uso particular en los estudios locales de calidad de sitio (Spurr y Barnes 1982, Pritchett 1986). Según Spurr y Barnes (1982) y Donoso (1990) los factores edáficos limitantes para el crecimiento de los árboles son aquellos que influyen en la disponibilidad de humedad y de nutrientes para las raíces, lo que dependerá de las condiciones físicas del suelo. Así puede delimitarse un espacio de suelo explorable por las raíces que estará definido por parámetros y propiedades físicas del mismo.

La profundidad efectiva del suelo que se cuantifica mediante profundidad del horizonte A por encima de un horizonte compacto, o sobre una capa u horizonte menos permeable o la roca madre, es la característica de determinación más sencilla y tiene una gran relevancia en el desarrollo de las especies forestales (Dalla Tea, 1995).

La porosidad y la resistencia mecánica de los horizontes del suelo determinan en buena medida el espacio explorable de éste, (Greacen y Sands, 1980) pero son sin dudas de determinación más compleja.

La descripción de factores como pedregosidad, textura, porcentaje de materia orgánica, se refieren a la cantidad y calidad del espacio físico explorable y útil para las raíces, por lo que los estudios destinados a caracterizar los parámetros físicos del suelo y sus propiedades asociadas son de importancia capital (Carmean, 1975). Como otro factor de campo relevante se puede citar la pendiente, según grado, longitud, forma y exposición.

En particular, es un hecho reiteradamente observado que en plantaciones monoespecíficas existe una gran heterogeneidad espacial en la distribución de las tasas individuales de crecimiento e inclusive en la estructura arquitectónica de los árboles. Parte de esta heterogeneidad es explicable en términos de interacciones biológicas. Por ejemplo West y Wells (1992) demuestran la importancia del microsombreado en las diferencias de crecimiento de individuos de *Eucalyptus regnans*. Por otra parte, varios modelos de interacción competitiva entre árboles dan cuenta de la amplificación de pequeñas diferencias iniciales de tamaño (Gross, 1989; Ford y Sorrensen, 1992).

No obstante, no toda la heterogeneidad es explicable en términos de interacciones biológicas o variabilidad genética y debe atribuirse a diferencias topográficas y edáficas en una

escala muy alta (del orden de pocos metros cuadrados). Woods et al. (1991), encontraron errores en la estimación de biomasa arbórea que variaban con las especies y las condiciones de sitio, destacando a la heterogeneidad espacial como una fuente importante de error en dichas estimaciones.

Si bien existen métodos que permiten predecir con mayor o menor grado de confiabilidad el rendimiento promedio de una plantación dada, en general no tienen en cuenta la interacción suelo-planta en pequeña escala y por lo tanto no explican totalmente la variación de la población. Sólo considerando el bosque o plantación y el sitio juntos, como un ecosistema complejo interrelacionado, se puede comprender integralmente la dinámica de ambos y estimar la productividad forestal (Spurr y Barnes 1982).

Valsta (1991 y 1992) y también Hof y Pickens (1991) sostienen la importancia de utilizar métodos de optimización de manejo forestal que sean alternativos a los clásicos derivados de la programación lineal, que no tenían en cuenta las variaciones espaciales y temporales del ambiente.

Los factores ambientales, entre ellos los edáficos, condicionan la distribución geográfica de distintas especies de árboles en su hábitat natural.

En particular en cuanto a la distribución de especies de *Eucalyptus* en Australia, las posibles causas del patrón de dicha distribución, han sido examinadas con relación a la capacidad de nutrientes del suelo, (particularmente fósforo) y disponibilidad de agua en el mismo. Diferentes respuestas a disponibilidad de nutrientes y agua entre especies, diferencias en la resistencia a la sequía y relaciones hídricas tisulares, han sido observadas entre ecotipos en cada especie. Estas diferencias pueden ayudar a explicar adaptaciones de especies y ecotipos a sitios específicos (Bachelard 1985 y 1986, Gibson and Bachelard 1987, Yang et al. 1988, Rayner 1990 y 1991, Ellis 1992, Prober 1992).

Es importante destacar también el valor de los factores edáficos como los condicionantes de la respuesta productiva de plantaciones (Pritchett 1986, Gibson and Bachelard 1987, Kirschbaum et al 1992, Robertson 1992, Sepiliarsky y Dalla Tea, 1993, Aparicio y López, 1995, Otárola y Ugalde, 1998, Ligier et al, 2000, Harper et al, 2000)

El Análisis de Calidad de Sitio Forestal no ha recibido especial atención en Argentina. Algunas plantaciones han sido establecidas en sitios no forestales, con sus consecuentes pérdidas económicas. Una gran parte de las plantaciones no exitosas, instrumentadas por el Plan Nacional de Forestación que comenzó en 1978, fueron causadas por un conocimiento insuficiente de la identificación y mapeo del sitio.

En el presente, Argentina necesita incrementar sus áreas forestadas, desarrollándose en mejoramiento genético, stands y manejo de plantaciones, calidad de sitio, para poder mantener la eficiencia del sector forestal (Ares and Peinemann 1992).

Para las especies forestales, el factor de heterogeneidad edáfica puede cobrar gran importancia; tal es el caso de *Eucalyptus globulus* Labill, especie propia de ambientes cercanos al mar, originaria de Tasmania y sur de Victoria en Australia, caracterizada por su sensibilidad a las bajas temperaturas. Es esencialmente una especie de las áreas más frías del sur de Australia, que se encuentra en zonas litorales o en zonas elevadas con abundantes precipitaciones, temperatura estival moderada y sin vientos secos ni cálidos.

El área propicia para su cultivo en Argentina se encuentra en una faja costera marítima de la provincia de Buenos Aires, desde Mar del Plata hasta Necochea, abriéndose en triángulo hacia el interior hasta Balcarce (Golfari, 1985). Es una especie que demuestra muy buenos crecimientos cuando está ubicada en sitios ecológicos óptimos (Cozzo, 1976; Golfari, 1985), de allí la importancia de encontrar en una gran variabilidad de suelos con diferentes aptitudes, las limitantes edáficas en el crecimiento de los individuos y predecir con cierto grado de certeza la productividad de los mismos.

El presente trabajo tiene como **objetivo** utilizar la características edáficas para elaborar modelos predictivos de productividad para *Eucalyptus globulus* en el sudeste de Buenos Aires .

MATERIALES Y MÉTODOS

Los rodales en los que se realizó la investigación forman parte de una red de ensayos de evaluación de orígenes y procedencias en el marco del Convenio Internacional de Asistencia Técnica del año 1995 entre el INTA y SOPORCEL (Sociedad Portuguesa de Papel).

De esta red se seleccionaron tres parcelas experimentales y los criterios para esta selección fueron:

1. Descartar aquellas que pudieran tener variabilidad de crecimiento de los árboles por razones como, enmalezamiento, pastoreo vacuno, dificultades en la implantación.
2. Que comprendieran distintos ambientes representativos dentro del área de la red de ensayos
3. Que el material genético presente fuera el mismo en los tres casos.

Las parcelas elegidas fueron las ubicadas en Balcarce, Ea. La Vocación y Ea. San Francisco (las últimas en Necochea)

Sitio 1 BALCARCE. Ubicado en el partido homónimo, dentro de la EEA INTA Balcarce.

Sitio 2 LA VOCACIÓN. Ubicado a 34 km al NO de la ciudad de Necochea.

Sitio 3 SAN FRANCISCO. Ubicado a 30km al SO de la misma ciudad, a unos 4km del mar.

Tabla 1. Características de los sitios a evaluar

Sitio	Superficie (ha)	Año de implantación
1. Balcarce	3.76	1995
2. La Vocación	4.21	1996
3. San Francisco	3.78	1995

La gran cantidad de orígenes, procedencias y familias de *Eucalyptus globulus* dentro de las parcelas hizo necesario analizar la variabilidad inter e intra orígenes, procedencias y sus familias. Así se podrían individualizar aquéllos con mayor homogeneidad genética y atribuir así su respuesta ante las variaciones de sitio y microsítio, como debidas al efecto del ambiente. Los grupos analizados fueron:

- GRUPO 1 Orígenes Jeereland, Australia
- GRUPO 2 Orígenes Otways State, Australia
- GRUPO 3 Orígenes Otways National Park, Australia
- GRUPO 4 Procedencia Portugal

La primera determinación se hizo comparando la variabilidad entre el porte de los individuos de todos los grupos según cada parcela, dado que la altura total o porte de los árboles se utiliza en estudios de calidad de sitio como el mejor indicador de la misma. Así se constató que en todos los casos la menor variabilidad correspondió al Grupo 4: Procedencia Portugal, en la cual a la vez los individuos genéticamente son hermanos completos.

Aspectos climáticos El clima de la región se define como mesotermal húmedo, sin estación seca, con veranos algo calurosos. La temperatura media anual se aproxima a los 14 °C, con temperaturas estivales medias de 20°C e invernales medias de 8°C. Las heladas invierno primaverales son comunes pero de baja intensidad. Las precipitaciones están uniformemente repartidas y totalizan alrededor de 970mm anuales. Las heladas hasta -2°C tienen recurrencia anual; los registros de -6°C tendrían una probabilidad cada 50 años. Entre los 15 y 20km desde el mar hacia el continente estos riesgos se atenúan y en el caso de Balcarce serían los más rigurosos (Culot, 2000).

Golfari, 1985, hace referencia a la influencia de la corriente fría de las islas Malvinas que caracteriza esos veranos frescos con una media en verano entre 19,5°C y 20,5°C. exactamente iguales a los registrados al área natural del eucalipto globulus al sur del estado de Victoria.

Determinaciones dendrométricas

Los ejemplares, 90 en total se identificaron rodeando el tronco mediante una cinta plástica de color a 1,50m del suelo. En la misma consta el número de la familia y el número de repetición. A partir de esta individualización, los ejemplares acompañantes se registraron con

numeración correlativa de 1 a 8, comenzando por el ejemplar izquierdo y en sentido horario. Las transecciones se toman en la dirección del eje mayor de las parcelas.

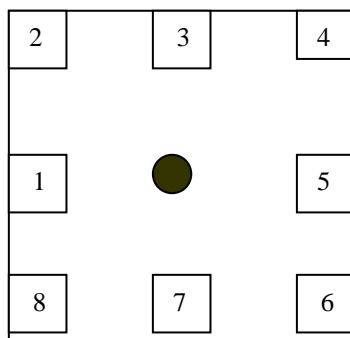


Figura 1 Plano de ubicación de las plantas.

De los ejemplares de las familias seleccionadas y los 8 acompañantes se midieron las siguientes características.

diámetro normal (DAP) con corteza mediante cinta dendrométrica con aproximación de 0,001m

altura total (h) con vara telescópica como así también la altura a partir de la cual se inicia la copa verde.

Como registros complementarios se evaluaron:

conformación sobre la base de 7 categorías;

En los ejemplares de las familias en estudio y los acompañantes, registrados como 2, 4, 6 y 8, se calculó el coeficiente de forma mediante relascopio de Bitterlich aplicando la altura cilíndrica de Pressler (van Houtte, 1964).

Determinaciones edáficas.

Tareas de campo:

Se realizaron calicatas y se tomaron muestras de los horizontes del suelo, que en algunos casos llegó a profundidades de 250cm. Las descripciones morfológicas fueron realizadas siguiendo las Normas de Reconocimiento de Suelos (Soil Survey Staff, 1993). El muestreo fue dentro a un metro de distancia de cada individuo (árbol).

Análisis de suelos (Jackson, 1975)

Contenido de materia orgánica (Walkley y Black). Contenido de Fósforo asimilable (Kurtz y Bray I). Nitrógeno total (Kjeldahl). pH: por potenciometría. Contenido de carbonato de calcio equivalente. (Jackson, 1975)

Análisis estadísticos

Se realizaron análisis de regresión múltiple utilizando las variables edáficas como independientes y las variables dasométricas como dependientes.

RESULTADOS

Características de los suelos

Sitio Balcarce

El relieve sobre el cual se han desarrollado los suelos es ondulado y quedan definidos ambientes de pendiente, pendiente media, pendiente baja y bajo.

La secuencia de horizontes de los perfiles representativos es la siguiente:

El horizonte superficial (A) es de textura franco limosa, estructura granular a bloques subangulares, color oscuro y abundante presencia de raíces; ligeramente plástico y adhesivo, friable en húmedo. Le sigue un horizonte transicional (BA) de textura franco arcillo limosa, estructura en bloques subangulares, plástico y adhesivo, consistencia moderada a firme.

Los horizontes anteriores descansan sobre un horizonte iluvial (Bt) de textura franco arcillo limosa a franco arcillosa, estructura prismática, consistencia firme.

Los horizontes transicionales inferiores (BC) son de textura franco arcillo limosa, bloques angulares, de consistencia firme a moderadamente firme; en estos horizontes otro rasgo importante es la presencia de carbonato de calcio en la masa y en concreciones. Por debajo de estos existe un horizonte cementado, petrocálcico.

Tabla . Balcarce. Características químicas y morfológicas de los micrositos.

Variable	Carbono orgánico (%)	Fósforo asimilable(ppm)		Espesor (cm)			
		K y B I	K y B II	E	T.S	I	Suma hasta Bt
Rango	2.06 – 3.89	2.83–16.45	10.83–25.67	10-40	0-30	15-46	19-59
Media	3.00	7.49	17.37	19.0	15.62	30.59	34.62

E: espesor horizontes superficiales; TS: espesor horizontes transicionales; I: espesor horizontes iluviales y suma de los horizontes hasta el Bt.

Sitio La Vocación

El paisaje característico del sitio está comprendido en la descripción de INTA (1997) de lomadas loésicas extendidas, es plano, suavemente inclinado en dirección NS. La disposición de las vías de escurrimiento es paralela al sentido de la pendiente. La red de drenaje es de baja densidad con cauces poco definidos de tipo temporarios con escasos meandros. En general está interrumpida por lagunas de escasa profundidad y tamaño reducido (40 a 50 hectáreas).

El material formador de los suelos es loésico de textura que varía de franco arenosa a franco arcillosa. El espesor de los sedimentos es variable descansando sobre una costra calcárea de extensión

En este sitio se describieron 6 perfiles modales cuya designación se corresponde con el número de individuo.

A partir de las descripciones morfológicas realizadas en el campo, se diferencian suelos con distinto desarrollo. Los suelos menos desarrollados presentan una secuencia de horizontes A-AC-C y A-Bw-C.

Para la primera secuencia A-AC-C el horizonte superficial (A) es oscuro, de textura franco limosa y estructura en bloques subangulares; medios, moderados a fuertes; ligeramente plástico y no adhesivo. Presenta actividad biológica y presencia de raíces éste horizonte superficial se continúa en un horizonte (AC), el cual presenta abundante actividad biológica (bioporos) e interdigitaciones de material de color más rojizo; presenta estructura en bloques moderados a débiles y algo de eluviación.

Los suelos de secuencia A-Bw-C, poseen un horizonte superficial A de características similares al anterior; se continúa con un horizonte con escasos signos de iluviación (Bw) de textura franco arcillo limosa a franco arcillosa; estructura en prismas simples, moderados; plástico y ligeramente adhesivo.

Los suelos más evolucionados poseen una secuencia A-AB/BA-Bt. El horizonte superficial A es de textura franco arcillo arenosa; estructura en bloques angulares a subangulares medios moderados a fuertes. Se halla por encima de un horizonte argílico con marcados rasgos de iluviación; de textura franco arcillo limosa; plástico y adhesivo; estructura en prismas medios y fuertes con escasa presencia de raíces.

En todos los perfiles el horizonte C generalmente es friable, presenta moteados abundantes y un enriquecimiento de Carbonato de Calcio en masa y concreciones, que en algunos casos cementa estos horizontes. Por debajo se encuentra un horizonte petrocálcico.

Tabla La Vocación. Rangos y medias de variables químicas y morfológicas

Variable	Carbono orgánico (%)	Fósforo asimilable (ppm)	Espesor (cm)				Profundidad hasta el petrocálcico
			E	TS	I	Suma hasta Bt	
Rango	1.36 – 2.35	2.84– 17.19	7-37	0-45	0-30	18-72	33-152
Media	1.98	8.10	20.3	8.83	16.48	29.34	97.9

Sitio San Francisco

El sitio se halla ubicado en una zona costera al Sur de la ciudad de Necochea. El paisaje sobre el cual han evolucionado los suelos es de médanos suaves y hacia la franja costera se encuentran dunas de arena de gran desarrollo en altura. El relieve en el lugar de plantación es plano, suavemente inclinado en dirección N S. La pendiente es de 0,25 % de grado y la disposición de las vías de escurrimiento paralela al sentido de la pendiente, con escasos meandros. La red de drenaje es de baja densidad con cauces apenas definidos de tipo temporario, en general asociando lagunas de escasa profundidad y de pequeño tamaño (40 a 50 ha).

Los suelos se han desarrollado sobre materiales loésicos gruesos; en las áreas planas dominan los suelos poligenéticos con una secuencia de horizontes superficiales de tipo A-AC, A-C, sobre horizontes enriquecidos con arcilla que en general son considerados argílicos, que determinan una discontinuidad litológica que se pone de manifiesto en un cambio textural de franco arenoso en la parte superior del perfil a texturas franco arcillo arenosas en los horizontes subsuperficiales.

Tabla San Francisco Rangos y medias de variables químicas y morfológicas

Variable	C orgánico (%)	Fósforo KBI (ppm)	Fósforo KBII (ppm)	pHA	pH 2Bt	Espesor A	Espesor AC	Espesor 2Bt	Prof. hasta petrocálcico
Rango	2.45-3.95	4.24 - 32.43	15.35-49.75	4.6-6.5	5.5-8.2	18-60	0-39	9-38	296-125
Media	3.13	12.34	25.76	5.38	6.78	29.6	20.17	19.8	175.4

Al hacer un análisis por sitios, San Francisco presenta suelos más profundos, con limitantes físicas y químicas pero a gran profundidad, con mayor contenido de fósforo asimilable y Carbono orgánico, coincidiendo con los árboles de mayor porte, mayor diámetro a la altura del pecho. Aún así presentaron las peores conformaciones de los árboles al quinto año de plantación.

El sitio La Vocación, presenta horizontes superficiales en general delgados, pH que a poca profundidad del perfil es alcalino. El pH superficial es ácido y contenido de carbono orgánico superficial es el menor de todos los sitios. En este sitio la variabilidad en porte y diámetro a la altura del pecho de los árboles de la población es alta, manifestando una gran heterogeneidad del rodal.

El sitio Balcarce presenta mayores espesores del horizonte B, tiene niveles intermedios de materia orgánica y valores de pH máximo más bajos que los otros sitios. Los árboles son de menor porte y mejor conformación respecto de los otros sitios.

Modelos de crecimiento para *Eucalyptus globulus*

Los siguientes son los resultados de modelos de crecimiento en altura, diámetros y volumen de *Eucalyptus globulus* (variables dependientes), definidos por los parámetros del suelo medidos en los sitios (variables independientes).

Las variables dependiente son: Altura en metros diámetro en cm a 1,30 m del suelo. Volumen individual (volumen en el micrositio). Volumen promedio del individuo elegido y los ocho que lo rodean (volumen medio).

SITIO	Variable dependiente	Modelos de regresión múltiple por sitio	Intercepto	R2
Balcarce	Altura al sexto año	pH máximo (-0,44) + Espesor BA (- 0,0944) + Espesor del Bt 0,069 + Petrocálcico 0,0157+ PH superficial 2,926	3,54	0,62
San Francisco	Altura al sexto año	Petrocálcico 0,020 + PH Bt1(- 0,930) + Espesor del BA 0,046 + pH superficial (-1,691) + Fósforo superficial (- 0,080)	27,328	0,53
San Francisco	Diámetro al segundo año	Espesor Bt1 0,034 + pH Bt1 0,678 + Carbono superficial 2,717 + pH máximo (-0,921) + Petrocálcico 0,009 + pH superficial 3,61 + Espesor hasta Bt1 0,045 + Profundidad al pH máximo (-0,013)	-20,978	0,83
La vocación	Diámetro al quinto año	Fósforo superficial (- 0,28) + pH Bt1 (-6,24) + Espesor del horizonte A (-0,19) + Espesor Bt1 (- 0,24) + Espesor BC 0,14 + PH superficial 5,51 + Petrocálcico (- 0,086)	34,65	0,91
La vocación	Volumen medio	pH superficial (-2,67) + Espesor Bt 0,19 + Petrocálcico 0,09	30,11	0,69
La vocación	Volumen del micrositio	Espesor del A (- 0,17) + PH superficial 18,37 + Espesor BC 0,62 + Espesor Bt - 0, 78 + Fósforo superficial (-1,2) + pH Bt1 (-15,5) + Petrocálcico (-0,37)	51,48	0,81

Las variables en rojo son significativas (p: 0,05)

DISCUSION

Variables de suelo que afectan el crecimiento de *Eucalyptus globulus*

pH del suelo

La reacción del suelo refleja la calidad del ambiente edáfico, tanto para las raíces como para los organismos del suelo. Con valores de pH menores a 4,5 disminuye la actividad biológica y por ende el crecimiento radical. Se producen engrosamientos y otras deformaciones en las raíces, casi siempre como producto de la acción tóxica del Aluminio intercambiable. Los procesos de nitrificación y fijación biológica de Nitrógeno se ven disminuidos o inhibidos (Sutton, 1991).

La reacción del suelo también tiene influencia en la disponibilidad de nutrientes. En condiciones de acidez el Aluminio intercambiable produce complejos poco solubles con los iones Fosfato, fenómeno reconocido por Mc Coll (1967 y 1969) como la principal variable que condiciona la biosecuencias de *Eucalyptus maculatta*, *Eucalyptus saligna*, en orden de menores a mayores requerimientos edáficos en ambientes australianos, donde la variación de saturación cálcica y de aluminio regula la disponibilidad de Fósforo para secuencias edáficas y topográficas definiendo estas propiedades del suelo el dominio de una u otra especie de *Eucalyptus*.

A valores altos de pH la disponibilidad de algunos nutrientes, incluyendo fosfatos, hierro, zinc y manganeso, es muy baja. Cuando los valores superan el nivel de 8,0 de pH generalmente el Sodio de intercambio produce inestabilidad de los agregados del suelo con la consiguiente disminución de la permeabilidad al agua y aire.

Espesor del horizonte A

Este horizonte es el más importante en cuanto a la posibilidad de las plantas para obtener nutrientes y agua. Generalmente la mayor densidad de raíces activas se verifica en este horizonte (Sands y Mulligan, 1990). Los mayores espesores se correlacionan generalmente con los mayores crecimientos de los árboles. El espesor del horizonte es una de las variables que le sigue

en importancia a las que expresan la reacción del suelo y tuvo gran influencia en la definición de los modelos del sitio La Vocación, seguramente debido a que existe en ese sitio una gran variabilidad de espesores del horizonte A, en concordancia con variaciones de su fertilidad.

Espesor del horizonte Bt

Cozzo (1976) señala como una de las principales limitaciones para el desarrollo forestal la existencia de horizontes arcillosos cercanos a la superficie debido a la escasa presencia de raíces finas, como ha sido constatado por Donoso *et al.* (1999) en *Eucalyptus globulus* y por Ares y Peinemann (1992) en varias especies de coníferas.

Esto se debe a que estos horizontes, duros y poco penetrables en seco, retienen mucha cantidad de agua a altas succiones, son pocos permeables y como en algunos micrositos de La Vocación y San Francisco presentan alcalinidad sódica.

El espesor del horizonte Bt fue una de las variables que más veces apareció en los modelos, con gran peso en el sitio La Vocación.

Espesor hasta el horizonte Bt

Cuando los horizontes superficiales son poco fértiles y de baja retención hídrica, la presencia de un horizonte arcilloso profundo beneficia el crecimiento de los árboles. En tal sentido Dalla Tea (1995) observó que la profundidad óptima hasta el horizonte arcilloso era de 55 cm, para suelos de Concordia, verificándose una disminución del crecimiento de *Eucalyptus grandis* cuando dicho horizonte se hallaba a mayor profundidad. En suelos de textura fina el menor espesor de los horizontes superficiales, hasta el límite con el arcilloso en general induce grandes limitaciones por anegamientos periódicos y por restricción al desarrollo de raíces finas debido al gran cambio de sistema poroso y aumento de resistencia a la penetración que se verifica en el Bt. Gaitán y Penón (inédito) encontraron una relación positiva entre el crecimiento de *Eucalyptus globulus* ssp. *maidenii* y la profundidad del suelo hasta el horizonte arcilloso en Argiudoles del noroeste de la Provincia de Buenos Aires. Esta variable tuvo importancia en los sitios Balcarce y San Francisco y para definir el modelo de altura.

Profundidad del suelo hasta el horizonte petrocálcico y hasta el horizonte de máximo pH.

Estas variables indican límites al desarrollo radical de distinto origen pero de efecto similar.

En los sistemas forestales el volumen de suelo disponible para las raíces es el factor principal que influye en el crecimiento de los árboles al afectar la disponibilidad de agua y nutrientes (Pritchett, 1986 y Gower *et al.*, 1995). La profundidad del suelo puede estar definida por horizontes con pH extremo, napas de agua permanentes, cambios en la resistencia mecánica del suelo, temperatura y por horizontes genéticamente compactos y cementados como los horizontes petrocálcico (tosca) o petroféricos. Dillon (2000) encontró una correlación positiva entre la profundidad del suelo hasta el petrocálcico y el diámetro de *E. globulus* a los tres años de edad.

En el análisis de todos los sitios las variables mencionadas tuvieron gran peso en definir los modelos de crecimiento.

Cuando se analizaron los sitios por separado, en La Vocación el crecimiento se definió en buena parte por la profundidad del suelo al horizonte petrocálcico y en el sitio San Francisco la profundidad a la que se midió el máximo pH del suelo tuvo mayor influencia en los modelos.

CONCLUSIONES

El espesor del suelo hasta el petrocálcico, el espesor de los horizontes A, Bt ; el pH de los horizontes, fueron las variables más preponderantes en la definición de los modelos.

Hubo distinto peso de cada una de las variables independientes según el sitio.

Las variables que definen la fertilidad química en forma directa en general no tuvieron gran influencia, posiblemente debido a que los suelos en su mayoría son de alto contenido de Materia Orgánica y Bases de Cambio

BIBLIOGRAFÍA

APARICIO, J.L. y J.A. LÓPEZ, 1995 Informe técnico N°7 Potencial de *Eucalyptus grandis* en los suelos del sudeste de la provincia de Corrientes y algunos factores edáficos relacionados con la producción de madera. Simposio IUFRO para el Cono Sur Sudamericano. Valdivia, Chile, p93-108.

ARES A. and PEINEMANN N.1992. Provisional site quality evaluation for coniferous plantations in Sierra de la Ventana, Argentina. *Forest Ecology and Management* 54: 89-94.

BACHELARD E.P.1985. Effects of Soil Moisture Stress on the Growth of Seedlings of Three Eucalypt Species. I-Seed Germination. *Aust. For. Res.* 15: 103-14.

BACHELARD E.P.1986. Effects of Soil Moisture Stress on the Growth of Seedlings of Three Eucalypt Species. II- Growth Effects. *Aust. For. Res.* 16: 51-61.

BARTHELEMY D., EDELIN C. and HALLE F.1991. Capítulo 1: Canopy Architecture. *Physiology of Trees* John Wiley & Sons Inc. Edited by A. S. Raghavendra.

BARTHELEMY D. et CARAGLIO, 1991. Modelisation et Simulation de l'architecture des Arbres. *Foret-Entreprise* N 73: 28-39.

CARMEAN, W.1975. Forest site quality evaluation in United States. *Advances in Agronomy* 2: 209-289.

COZZO, D. 1976. Tecnología de Forestación en Argentina y en América Latina. Ed. Hemisferio Sur.

COZZO D. 1995. Silvicultura de Plantaciones Maderables. Orientación Gráfica Editora. Buenos Aires.

DALLA TEA F. (1) 1995. Factores del suelo que afectan la productividad del *E. grandis*. Carpeta de producción forestal EEA INTA Concordia.

DALLA TEA F. (2) 1995. Nuevas alternativas de plantación de eucalipto en la zona de Concordia. Actas de *X Jornadas forestales de Entre Ríos*, Concordia Octubre 1995.

DE ANGELIS D. and GROSS L. 1992. Individual Based Models and Approaches in Ecology. Populations, Communities and Ecosystems. Ed. Chapman & Hall.

DILLON, G. 2000 Aplicación de un conjunto de técnicas silvícolas intensivas en la producción de *Eucalyptus globulus*. Primer Seminario Internacional del *Eucalyptus globulus* en la Argentina, Mar del Plata. p 32-49.

DONOSO C.1990. Capítulo 10: El Sitio. Ecología Forestal. El Bosque y su Medio Ambiente. Editorial Universitaria. Universidad Austral de Chile.

ELLIS R.C. and PENNINGTON P.I.1992. Factors affecting the growth of *Eucalyptus delegatensis* seedlings in inhibitory forest and grassland soils. *Plant and Soil* 145: 93-105.

FORD D.and SORRENSEN K.1992. Theory and Models of Interplant Competition as a Special Process. Individual - Based Models and Approaches in Ecology- Populations, Communities and Ecosystems. De Angelis and Gross L. Ed. Chapman & Hall.

GIBSON A. and BACHELARD E.P.1987. Provenance variation in Germination Response to water stress of Seeds of some Eucalypt Species. *Aust. For. Res.* 17: 49-58.

GOLFARI, L. 1985 Distribución regional y condiciones ecológicas de los eucaliptos cultivados en la Argentina. Problemas inherentes. CIEF Buenos Aires. 20pp

GREACEN E. L. and SANDS R. 1980. Compaction of forest soils. A review. *Aust. J. Soils Res.*, 18, 163-89.

HALLE F., OLDEMAN R. and TOMLINSON. 1978. Tropical Trees and Forest. Springer- Verlag. New York.

HARPER, R.J. , J.G.EDWARDS and J.F.McGRAW, 2000 Relating the growth of Tasmania Blue gums to site conditions in south-western Western Australia. *Climate Change*, volume 12:1.

HOF J. and PICKENS J.1991. Chance-Constrained and Chance-Maximizing Mathematical Programs in Renewable Resource Management. *Forest Science* vol. 38 N 1: 308-325.

JACKSON M. L. 1975 Análisis químico de suelos. Ed. Omega. México

JAMES F.C. and MC CULLOCH C.E.1990. Multivariate analysis in ecology and systematics- Panacea or Pandora Box? *Annu Rev Ecol Syst* 21: 129-167.

KIRSCHBAUM M., BELLINGHAM D. and CROMER R.1992. Growth Analysis of the Effect of Phosphorus Nutrition on Seedlings of *Eucalyptus grandis*. *Aust. J. Plant Physiol* 19: 55-66.

MANGIERI H.1979. Descripción Botánica, Forestal y Tecnología de las Especies exóticas cultivadas en la Argentina en Enciclopedia Argentina de Agricultura y Jardinería. Fascículo 16-1: "Arboles Forestales, Madera y Silvicultura de la Argentina. Ed. ACME.

McCOLL J. G. 1969. Soil plant relationships in a *Eucalyptus* forest on the south coast of N.S.W. *Ecology* 50 p 354-362.

NAKAMA, V. et al. 2000 Delimitación de áreas de aptitud climática para el cultivo de eucaliptos en la región pampeana. SAGPyA Forestal N°15. p 2-11.

OTÁROLA, E. y L.A. UGALDE, 1998. Productividad y cuantificación económica de los productos de raleo en Turrialba, Costa Rica. Research Publication. Actas.

PRITCHETT W.L.1986. Suelos Forestales. Propiedades, Conservación y Mejoramiento. Ed. Limusa Noriega.

PROBER S.M. 1992. Environmental influences on the distribution of the rare *Eucalyptus paliformis* and the common *Eucalyptus fraxinoides*. *Australian Journal of Ecology* 17: 51-65.

ROBERTSON PH. 1992. Factors Affecting Tree Growth on three Lowland Sites in Southern Illinois. *Am. Midl. Nat.* 128:218.

RODRÍGUEZ TRAVERSO, J. 2000 Conclusiones del cierre del Convenio de mejoramiento genético INTA-SOPORCEL. Resultado de las introducciones realizadas. producción de semilla mejorada. Primera parte. . Primer Seminario Internacional del *Eucalyptus globulus* en la Argentina, Mar del Plata. p 11-24 .

SAGyP-INTA .1989. Mapa de suelos de la provincia de Buenos Aires. Escala 1:500000, Dominio edáfico 13 pg 207-227.

SANDS P.J., CROMER R.N. and KIRSCHBAUM M.U. 1992. A Model of Nutrient Response in *Eucalyptus grandis* seedlings. *Aust.J. Plant. Physiol.* 19: 459-70.

SANDS R., MULLIGAN D. R. 1990. Water and nutrient dynamics and tree growth Forest Ecology and Management, 30: 91-111

SEPLIARSKY, F. y F. DALLA TEA, 1993. Crecimiento de *Eucalyptus grandis* en relación con factores edáficos. Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano. Comisión VI: Bosques de cultivo. AFOA. Paraná, Entre Ríos, Argentina.

SPURR, S.H. and B.V. BARNES, 1982. Capítulo Localización. Ecología Forestal. AGT Editor S.A.

SUTTON R F. , 1991. Soil properties and root development in forest trees: a review. Forestry Canada Ontario Region Great Lakes Forestry Centre. Information report 0-X-413.

VALSTA L. , 1992. A Scenario Approach to stochastic anticipatory Optimization in Stand Management. *Forest Science* vol.38 N 2 pp.430-447.

WEST P.W. and K.F.WELLS, 1992. Method of Application of a Model to Predict the light environment of individual tree crowns and its use in a eucalypt forest. *Ecological Modelling* 60: 199-231.

WOODS K., A. FEIVESON and D. BOTKIN, 1991. Statistical error analysis for biomass density and leaf area index estimation. *Can. J. For. Res.* 21: 974-989.

YANG D., E. BACHELARD and J. BANKS, 1988. Growth and Water Relations of Seedlings of two subspecies of *Eucalyptus globulus*. *Tree Physiology* 4: 129-138.