

Acumulación y distribución de materia seca en *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantado en macetas con tres tipos de suelo y fertilizado con fósforo

CORINA GRACIANO ¹✉, JUAN F GOYA ^{1,2} & DANIEL O CALDIZ ^{1,*}

¹ INFIVE, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, La Plata, Argentina

² LISEA, Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP, La Plata, Argentina

RESUMEN. Se fertilizaron con superfosfato triple plantines de *Eucalyptus globulus* plantados en macetas que contenían tres tipos de suelo con características físicas y químicas diferentes: un suelo franco, un suelo arcilloso y un suelo arenoso. Las dosis aplicadas fueron de 0, 6, 12 y 24 g de fertilizante por planta, correspondientes a 0, 2.76, 5.52 y 11.04 g de P₂O₅, respectivamente. Luego de 34, 76 y 126 días, se midió el área foliar y la acumulación de materia seca en hojas, tallo y ramas. Se analizó el aporte de cada compartimento a la materia seca total y se calculó el área foliar específica y el coeficiente de asimilación neta para cada tratamiento. Se observó una interacción entre la dosis de fósforo aplicada y el tipo de suelo 126 días luego de la aplicación. En el suelo arenoso la fertilización redujo la acumulación de materia seca total, en el suelo franco no se observó efecto y en el suelo arcilloso se incrementó la materia seca a mayor dosis aplicada. El área foliar específica no se modificó en ninguno de los tratamientos. Para los tres suelos, al aumentar la dosis de fósforo aplicada la contribución del peso seco de las ramas al peso seco aéreo total aumentó, mientras que la del tallo disminuyó. El coeficiente de asimilación neta varió según la dosis aplicada y el tipo de suelo, aumentando con respecto al testigo en los suelos franco y arcilloso y disminuyendo en el arenoso, siendo en este último suelo inferior a los valores registrados en los otros dos suelos de mayor fertilidad natural. Se concluye que la respuesta de *Eucalyptus globulus* a la fertilización con fósforo es fuertemente dependiente del tipo de suelo. Por lo tanto, para recomendar la aplicación de fertilizantes es indispensable realizar ensayos sobre cada tipo de suelo.

[Palabras clave: interacción suelo-nutriente, crecimiento, partición de biomasa]

ABSTRACT. Dry matter accumulation and partitioning in *Eucalyptus globulus* (Labill.) in pots with three different soils supplied with phosphorus: *Eucalyptus globulus* seedlings were transplanted in pots filled with three types of soils with different physical and chemical properties: a sandy soil, a clay soil and a loamy soil. These soil types are frequently used to plant eucalyptus with high productivity. All treatments were daily watered and phosphorus was applied at the time of planting as 0, 6, 12 and 24 g of super phosphate per plant, corresponding to 0, 2.76, 5.52 y 11.04 g of P₂O₅, respectively. Total leaf area and dry matter of leaves, branches and stem of each tree were measured at the beginning of the experiment and after 34, 76 and 126 days. To evaluate the contribution of each organ to total aboveground dry mass we calculated leaves:total, branches:total and stem:total ratios, as well as specific leaf area and net assimilation rate. Soil/phosphorous doses interaction was observed after 126 days, but not in previous sampling dates. In sandy soil, the fertilization treatments reduced total aboveground dry matter accumulation probably due to nitrogen deficiency. In loamy soil (with enough nitrogen and phosphorus

* Dirección actual: Mc Cain Argentina S.A. Ruta 226- Km 61,5 B 7620 EMA, Balcarce, Buenos Aires, Argentina

✉ INFIVE, Fac. de Ciencias Agrarias y Forestales, UNLP. CC 327, (1900) La Plata, Argentina.
invpapa@ceres.agro.unlp.edu.ar

Recibido: 18 de junio de 2003; Fin de arbitraje: 11 de agosto de 2003; Revisión recibida: 30 de septiembre de 2003; Aceptado: 22 de octubre de 2003

content) fertilization produced no effect, while in clay soil (with smaller phosphorus amount than loamy soil) phosphorous fertilization increased dry matter accumulation. Leaf area followed the same pattern than total aboveground dry mass, but specific leaf area was not modified in any treatment. Stem and branch dry matter increased with fertilization in loamy and clay soils, but when we analyzed the contribution of each organ, we found that branch:total ratio increased and stem:total ratio decreased with the phosphorus supply in all the soils. Net assimilation rate increased in loamy and clay soils and decreased in sandy soil, reaching lower values in the latter than in the other two fertile soils. We concluded that fertilization of *Eucalyptus globulus* seedlings with phosphorus affects total dry matter accumulation and its distribution depending on soil properties. Therefore, it is necessary to test the response of each type of soil to fertilization.

[Keywords: soil-nutrient interaction, growth, biomass partitioning]

INTRODUCCIÓN

El fósforo es uno de los principales nutrientes que imponen restricciones a la productividad en las plantaciones de especies del género *Eucalyptus* en muchas partes del mundo (McLaughlin 1996). En Argentina, las plantaciones de especies de este género se han incrementado notablemente (Maradei 1997), desarrollándose sobre diferentes tipos de suelos, los cuales pueden restringir el crecimiento debido a limitantes de diferente naturaleza. El sudeste de la provincia de Buenos Aires es una de las pocas áreas en el mundo donde se puede producir *Eucalyptus globulus* en forma eficiente (Maradei 1997), las que se limitan a Portugal, España, Argentina, Uruguay, Chile, Colombia y Australia (Borralho 2000).

Existe información general sobre la respuesta positiva de *Eucalyptus* spp. al agregado de nutrientes en los primeros 18 meses luego de la plantación. Un factor fundamental a tener en cuenta es que la respuesta a la fertilización de *Eucalyptus* spp. depende no solo de la combinación de nutrientes aplicados sino también de las características del suelo (Fisher & Binkley 2000). La interacción natural entre las diversas características del suelo resulta en un balance determinado que se reflejará en un potencial o en limitaciones del suelo para el crecimiento (Carmo et al. 1990). Judd et al. (1996) encontraron, en experiencias llevadas a cabo en Australia, que luego de la fertilización con nitrógeno y fósforo *Eucalyptus globulus* incrementó más su crecimiento, en términos absolutos y relativos, en los sitios más fértiles que en aquellos con restricciones físicas o de disponibilidad de agua. En lugares don-

de el agua no era limitante, Herbert (1990) encontró que el incremento en el rendimiento de *Eucalyptus grandis*, como resultado de la fertilización, fue relativamente mayor en los sitios de menor productividad. Este autor también indicó que la mayor respuesta al crecimiento se registró con las aplicaciones de nitrógeno y fósforo según cual fuera el elemento limitante en cada sitio, siendo el nitrógeno adecuado en suelos arenosos con poca materia orgánica y el fósforo en suelos con altos niveles de nitrógeno mineralizable. Además, los sitios con moderadas cantidades de materia orgánica requirieron la aplicación de ambos nutrientes. Esto sugiere que existe una fuerte relación entre el tipo de suelo, los nutrientes aplicados y la productividad.

A pesar de la existencia de abundante literatura sobre la respuesta a la fertilización por parte de *Eucalyptus* spp., se han llevado a cabo pocas investigaciones para determinar los mecanismos responsables de los cambios en la productividad, en relación con los nutrientes (Kirschbaum et al. 1992). La tasa de adición de nutrientes a plantines de *Eucalyptus grandis* influye en la tasa de crecimiento a través de tres mecanismos principales: el efecto de la concentración de nutrientes en la partición de la biomasa, en el área foliar específica y en la asimilación (Sands et al. 1992). Cromer & Jarvis (1990) encontraron que con adición de nitrógeno se incrementaba la tasa de crecimiento de la masa del tallo en ensayos llevados a cabo con plantines creciendo en aeroponía. Estos mismos autores observaron que la tasa de crecimiento de la biomasa foliar, y por lo tanto el área disponible para interceptar energía radiante, es fuertemente dependiente de la disponibilidad de nutrientes.

El objetivo de este trabajo fue evaluar los efectos de la aplicación de dosis suplementarias de fósforo sobre la acumulación y distribución de la materia seca en plantines de *Eucalyptus globulus* en tres tipos de suelo con características diferentes en cuanto a su fertilidad. La hipótesis es que existe una respuesta diferencial a las dosis de fósforo según el tipo de suelo sobre el que se lleva a cabo la plantación.

MÉTODOS

El ensayo se realizó en la localidad de Batán, Mar del Plata (38°S; 58°O), Argentina. La temperatura promedio anual es de 13.8°C y la precipitación promedio anual es de 808 mm, con un régimen isohigro (datos del Servicio Meteorológico Nacional). Se utilizaron plantines de *Eucalyptus globulus* de aproximadamente 60 días producidos en vivero comercial mediante las técnicas clásicas para producir material con fines de plantación comercial, que comprenden, a grandes rasgos, 40 días en invernáculo con fertilización diaria en el agua de riego con macro y micronutrientes y 20 días de rusticación a la intemperie solamente con riego. El material fue plantado en macetas de 2.5 L de capacidad, de 7 cm de diámetro y 18 cm de altura, colocándose una planta por envase. Estos contenedores fueron rellenos con tres tipos de suelo provenientes de sitios que estaban siendo preparados para plantar *Eucalyptus globulus*, utilizándose 40 macetas por tipo de suelo, totalizando 120 macetas. Estos suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires poseen propiedades físicas y químicas y de fertilidad bien diferenciadas. Comprende un suelo franco, de muy buena aptitud agrícola (Argiudol típico), un suelo franco arcilloso (denominado arcilloso en este trabajo) utilizado principalmente para ganadería (Argiacuol típico) y un suelo arenoso desarrollado en dunas fijas, principalmente con comunidades de gramíneas, con una orientación paralela a la costa y a una distancia variable del mar (Udipsament típico) (SAGyP 1989). El suelo franco es muy apto para la agricultura, con un índice de productividad de 71, que corresponde a tierras con aptitud agrícola de alta productividad y que es descripto como apto para *Eucalyptus globulus* por Culot (2000), ya que

cuenta con textura y estructura superficial favorables, adecuada retención de humedad y fertilidad natural (SAGyP 1989). El suelo arcilloso posee un índice de productividad de 54 y corresponde a tierras con aptitud agrícola ganadera, aunque debido a su deficiente drenaje es un suelo marginal para la agricultura; no obstante, es muy utilizado para implantar pasturas. Es considerado poco apto para *Eucalyptus globulus* por Culot (2000). El suelo arenoso posee un índice de productividad de 17 y corresponde a suelos con aptitud ganadera. Este suelo excesivamente drenado no es apto para la agricultura y es considerado poco apto para *Eucalyptus globulus* por Culot (2000). El material edáfico se obtuvo de los 20 cm superficiales del suelo. Si bien las raíces de los árboles exploran mayor profundidad, más del 70% de las raíces finas encargadas de la absorción de nutrientes se desarrollan en los primeros centímetros (Luy et al., datos no publ.). Para conocer las propiedades de los suelos utilizados se tomaron tres muestras compuestas de cada suelo y se determinó pH en pasta, resistencia en pasta, conductividad eléctrica, carbono orgánico por el método de Walkley-Black, materia orgánica, nitrógeno total por el método de Kjeldal, fósforo por el método Bray-Kurtz I y sodio, potasio, calcio y magnesio, los cuales se extrajeron con acetato de amonio y ácido acético, obteniéndose sus concentraciones por absorción atómica. Se determinó la textura y la proporción de arena, limo y arcilla. Se calculó el promedio de las tres repeticiones para cada suelo.

En cada tipo de suelo se aplicaron, al momento de plantar, tres dosis de fósforo como superfosfato triple de calcio (0-46-0), dejándose testigos de cada suelo sin fertilizar. Las dosis aplicadas fueron 0, 6, 12 y 24 g de superfosfato triple de calcio por maceta, equivalentes a 0, 2.76, 5.52 y 11.04 g de P_2O_5 , respectivamente. Estas dosis fueron elegidas sobre la base de la bibliografía existente (Neves et al. 1990; Kirschbaum et al. 1992) y de experiencias de productores locales. El fertilizante se enterró en dos puntos, a 5 cm del tallo de la planta. Las plantas fueron fertilizadas a principio de enero y recibieron riego dos veces al día, por lo que no estuvieron sometidas a estrés hídrico en ningún momento. Las plantas estuvieron a la intemperie durante todo el ensayo. Los muestreos se realizaron en el

momento de la fertilización y a los 34, 76 y 126 días luego de la fertilización, cosechándose 20 plantas al inicio del ensayo, 9 plantas por tratamiento en las dos primeras fechas y 20 en la última. El número de plantas muestreadas en cada fecha varió por cuestiones operativas. En cada muestreo se determinó el área foliar total de todas las plantas mediante un integrador de área foliar Licor (Licor, Nebraska, EEUU). La materia seca se determinó separando y pesando los compartimentos hojas, tallo y ramas de todas las plantas, secando el material en estufa a 70°C hasta peso constante. El área foliar específica se calculó dividiendo el área foliar de cada planta por el peso seco del compartimento hojas.

Se realizaron las comparaciones entre las relaciones peso del tallo:peso aéreo total, peso de las ramas:peso aéreo total y peso de las hojas:peso aéreo total. Se calculó, además, el coeficiente de asimilación neta entre el muestreo al momento de la fertilización y a los 126 días. Se utilizó la fórmula de Causton & Venus (1981):

$$CAN_{ae} = \frac{(W_2 - W_1)(\ln L_2 - \ln L_1)}{(L_2 - L_1) T}$$

donde CAN_{ae} es el coeficiente de asimilación neta (en $g\ cm^{-2}sem^{-1}$), W_2 es el peso seco aéreo total a los 126 días (en g), W_1 es el peso seco aéreo total al inicio del ensayo (en g), L_2 es el área foliar a los 126 días (en cm^2), L_1 es el área foliar al inicio del ensayo (en cm^2) y T es el tiempo entre las dos mediciones (en semanas). A cada planta del muestreo final se le asignó una del muestreo inicial por secuencia de pesos, tal como lo describen Causton & Venus (1981).

El cálculo del cociente de área foliar se realizó dividiendo el área foliar (en cm^2) por el peso seco aéreo total (en g) de cada planta, quedando expresado este indicador en cm^2/g .

La tasa relativa de crecimiento se calculó con la fórmula sugerida por Causton & Venus (1981):

$$TRC = \frac{\ln W_2 - \ln W_1}{T}$$

donde TRC es la tasa relativa de crecimiento (en sem^{-1}).

Los datos se analizaron mediante Análisis de la Varianza de dos Vías, tomando como factores al tipo de suelo y a las dosis de fósforo aplicadas, analizando también la interacción de estos factores. Los promedios se compararon mediante la Prueba de Tukey ($P < 0.05$). La homogeneidad de varianza se determinó mediante la Prueba de Levene (Sokal & Rohlf 1979). Las variables peso seco total, peso seco de las hojas, peso seco del tallo, área foliar y coeficiente de asimilación neta fueron transformadas aplicando logaritmo natural para corregir la heterogeneidad de varianza. En los casos en que no se observaron diferencias significativas, pero sí una tendencia en los datos, se realizaron regresiones del parámetro vs la dosis aplicada para verificar la existencia de la tendencia; tal fue el caso del peso seco aéreo total en los suelos arenoso y arcilloso.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los tres suelos presentan características físicas y químicas que los diferencian (Tabla 1). El suelo franco posee un alto porcentaje de materia orgánica y adecuada dotación de nitrógeno y de fósforo, como así también de bases de intercambio. El suelo arcilloso presenta buena dotación de materia orgánica y cationes de intercambio, menor dotación de fósforo y buena dotación de nitrógeno, aunque levemente menor a la del suelo franco. El suelo arenoso posee escasa materia orgánica, muy bajo contenido de nitrógeno, alto contenido de fósforo y bajo contenido de potasio.

Se observó una respuesta diferencial de *Eucalyptus globulus* a la fertilización con fósforo según el tipo de suelo (Figura 1). En los muestreos a los 34 y 76 días la acumulación de materia seca total y por compartimento no presentó diferencias significativas entre los tratamientos. A los 126 días se observó interacción significativa entre la dosis aplicada y el tipo de suelo para la materia seca aérea total ($F_{6,418} = 4.02$, $P < 0.0006$) y para el área foliar ($F_{6,418} = 12.00$, $P < 0.0001$). En el suelo arenoso se observó una tendencia ($R^2 = 0.035$, $P = 0.026$) del tratamiento con 6 g a producir mayor acumulación de materia seca total que los tratamientos de 12 g y 0 g, siendo el de 24 g el de menor acumulación. En el suelo

Tabla 1. Características de los tres suelos utilizados. Los valores presentados son promedios de tres repeticiones por tipo de suelo.

Table 1. Soil properties of the three soils used. Data are means for three replications.

	Arenoso	Franco	Arcilloso
pH (pasta)	8.25	5.60	7.39
Resistencia en pasta (ohm/cm)	1616	538	488
Carbono orgánico (%)	0.26	3.97	2.82
Materia orgánica (%)	0.44	6.84	4.85
Nitrógeno orgánico (%)	0.030	0.303	0.256
Fósforo (ppm)	5.1	5.2	2.3
Sodio (meq %)	0.3	0.4	1.3
Potasio (meq %)	0.2	1.6	1.6
Calcio (meq %)	8.1	5.2	18.2
Magnesio (meq %)	1.1	1.3	4.2
Arena (%)	95.33	34.67	30.00
Limo (%)	2.00	40.00	37.33
Arcilla (%)	2.67	25.33	32.67
C/N	8.54	13.10	10.38
C/P	514.96	7968.60	14845.17
N/P	60.21	604.26	1304.75

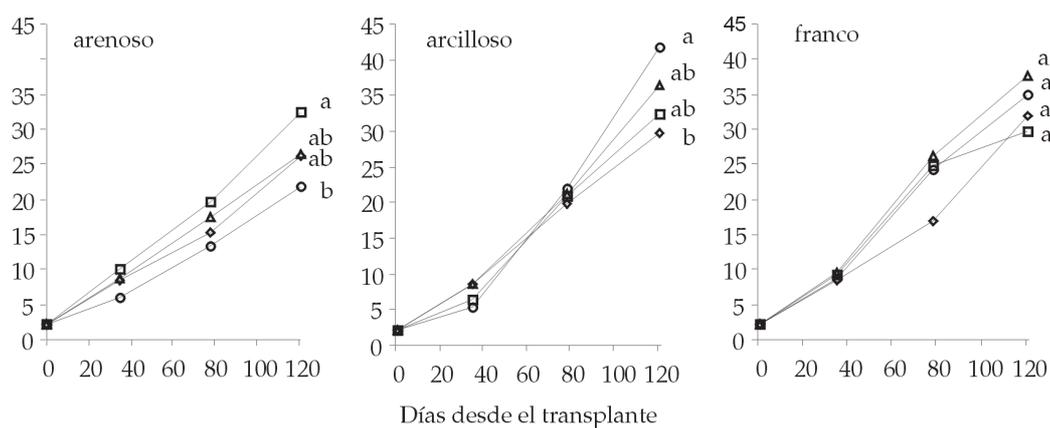


Figura 1. Materia seca total acumulada de *Eucalyptus globulus* para las aplicaciones de 0 g (rombos), 6 g (cuadrados), 12 g (triángulos) y 24 g (círculos) de superfosfato triple de calcio, en tres tipos de suelo. En la última fecha, letras diferentes indican diferencias significativas ($P < 0.05$). En las fechas restantes no hubo diferencias significativas entre los tratamientos en ninguno de los suelos.

Figure 1. Total dry matter accumulated of *Eucalyptus globulus* for 0 g (rhombi), 6 g (squares), 12 g (triangles) y 24 g (circles) of calcium superphosphate, over three soil types. In the last sampling date, different letters indicate significant differences ($P < 0.05$). In other sampling dates there were no significant differences between treatments in any soil.

franco no se observaron diferencias entre los tratamientos y en el suelo arcilloso los valores tendieron ($R^2 = 0.056$, $P = 0.006$) a aumentar a partir del tratamiento de 0 g, que presentó el menor valor de peso seco, mientras que el de 24 g presentó una mayor acumulación de materia seca. Los resultados observados para el suelo arenoso podrían atribuirse al muy bajo contenido de nitrógeno total y al alto contenido de fósforo (Tabla 1). Por lo tanto, solo el tratamiento de 6 g tuvo un efecto positivo sobre el peso seco, en tanto que los otros dos tratamientos con fósforo tuvieron un efecto depresivo sobre la acumulación de materia seca. Los efectos negativos de la aplicación de fósforo sobre este suelo se manifestaron abruptamente del tratamiento con 6 g al de 12 g por la elevada disponibilidad de este nutriente en la solución del suelo. El bajo contenido de materia orgánica y arcillas otorga a este suelo muy baja capacidad de adsorción de fósforo, que queda fácilmente lixiviable del suelo (Novais et al. 1990), aunque en las condiciones en las que se realizó este ensayo la lixiviación fue mínima y el fósforo quedó en solución disponible para las plantas. Barros et al. (1990) encontraron una respuesta similar en una plantación de *Eucalyptus grandis* en Brasil fertilizada con fósforo, y atribuyeron el efecto negativo a la limitación por otro nutriente. Para un crecimiento óptimo se requiere un adecuado balance de nitrógeno y fósforo, dado que cuando uno de ellos resulta limitante el otro es utilizado en forma proporcional a la concentración del elemento limitante (Sands et al. 1992). En este sentido, Herbert (1990) recomendó aplicar relaciones N:P en los fertilizantes que varían entre 3:1 y 5:2 dependiendo del tipo de suelo, aunque también observó que en suelos con bajo contenido de nitrógeno mineralizable (como el suelo arenoso de nuestro ensayo) la aplicación de fósforo ejercía un efecto depresivo, recomendando sólo la aplicación de nitrógeno en este tipo de suelo (a razón de 20 g por planta). Los resultados observados para el suelo franco podrían indicar que el contenido de nitrógeno y fósforo (Tabla 1) no son limitantes para el crecimiento sobre este suelo; por lo tanto, la adición de fósforo no redundó en mayor acumulación de materia seca. Las diferencias encontradas entre los tratamientos en suelo arcilloso indicarían que, en este caso, el fós-

foro resultó limitante y la respuesta positiva a su aplicación se debió al adecuado contenido de nitrógeno total y al bajo contenido de fósforo (Tabla 1). Por lo tanto, en este caso la materia seca aumentó a medida que se incrementó la dosis de fósforo. Herbert (1990) concluyó que cuando la cantidad de nitrógeno mineralizable en el suelo es alta se requiere la aplicación de fósforo (a razón de 15 g por árbol). El tratamiento de 24 g en suelo arcilloso presentó el mayor valor promedio de materia seca acumulada para todos los tratamientos y para los tres tipos de suelo estudiados, coincidiendo con lo descrito por este autor. De acuerdo a los resultados obtenidos, se puede mencionar que existiría un gradiente de respuesta a la fertilización relacionada con el tipo de suelo, que va del suelo arenoso con bajo contenido de nitrógeno (N/P = 60.2), el suelo franco con una relación N/P 604.3, hasta el suelo arcilloso con una N/P de 1304.8 (Tabla 1).

En los muestreos a los 34 y 76 días los distintos niveles de fósforo aplicados no produjeron modificaciones en la distribución de materia seca (datos no mostrados). En las plantas de suelo franco y franco arcilloso se observó a los 126 días un incremento del peso seco de las ramas en los tratamientos fertilizados con respecto al testigo ($F_{6,417} = 2.69$, $P < 0.0143$) y un aumento de la materia seca acumulada en el tallo a medida que aumentó la dosis de fósforo aplicada ($F_{6,417} = 4.72$, $P < 0.0001$) (Tabla 2). Las relaciones tallo:total y ramas:total se vieron afectadas por la dosis aplicada y por el tipo de suelo, aunque no se observó interacción dosis-suelo en ninguna de estas dos variables, analizándose entonces los factores principales. La relación tallo:total disminuyó al aumentar la dosis aplicada ($F_{3,417} = 6.66$, $P < 0.0002$) considerando los tres suelos, mientras que la relación ramas:total mostró el comportamiento inverso ($F_{3,417} = 7.81$, $P < 0.0001$). En el suelo arenoso se observó la menor relación ramas:total ($F_{2,417} = 22.17$, $P < 0.0001$) y la mayor relación tallo:total ($F_{2,417} = 8.60$, $P < 0.0002$), mientras que en el suelo arcilloso se observó la máxima proporción de ramas y la mínima de tallo. Si bien el peso seco de las hojas y el área foliar total mostraron el mismo patrón que el peso seco total, se observó que la relación hojas:total no fue afectada por la dosis de fósforo aplicada,

Tabla 2. Área foliar promedio por planta de *Eucalyptus globulus* y materia seca aérea total y en los compartimentos tallo, hojas y ramas, y las relaciones de la materia seca de estos compartimentos con la materia seca aérea total a los 126 días del ensayo para las dosis de fósforo aplicadas, en tres tipos de suelo. Los valores son promedios \pm DE.

Table 2. Mean plant leaf area of *Eucalyptus globulus*, and stem, leaf, branch and total aboveground dry matter, and ratios between these organs and the total aboveground dry matter, 126 days after fertilization, for doses of phosphorous applied over three soil types. Values are means \pm SD.

	Área foliar (cm ²)	Total(g)	Tallo(g)	tallo:total	Hojas(g)	hojas:total	Ramas(g)	ramas:total
Arenoso								
0 g	1163 \pm 339	26.2 \pm 9.1	12.3 \pm 3.6	0.48 \pm 0.06	10.8 \pm 4.5	0.41 \pm 0.08	3.0 \pm 3.2	0.11 \pm 0.08
6 g	1595 \pm 572	32.5 \pm 12.1	14.6 \pm 5.8	0.45 \pm 0.08	13.6 \pm 5.8	0.42 \pm 0.06	4.2 \pm 2.0	0.13 \pm 0.06
12 g	1808 \pm 566	26.5 \pm 7.7	11.5 \pm 3.5	0.44 \pm 0.07	11.8 \pm 3.9	0.44 \pm 0.05	3.2 \pm 1.6	0.12 \pm 0.05
24 g	994 \pm 350	21.9 \pm 9.3	9.2 \pm 4.8	0.42 \pm 0.10	9.8 \pm 4.6	0.44 \pm 0.07	2.9 \pm 1.5	0.14 \pm 0.07
Franco								
0 g	1991 \pm 541	31.8 \pm 9.3	14.8 \pm 5.3	0.46 \pm 0.08	12.6 \pm 3.7	0.41 \pm 0.08	4.3 \pm 3.1	0.13 \pm 0.07
6 g	1862 \pm 841	29.8 \pm 12.7	13.3 \pm 6.6	0.44 \pm 0.09	11.5 \pm 5.6	0.39 \pm 0.07	4.9 \pm 2.4	0.18 \pm 0.08
12 g	2111 \pm 766	37.6 \pm 1 3.2	16.5 \pm 6.1	0.44 \pm 0.07	14.9 \pm 5.9	0.39 \pm 0.06	6.2 \pm 2.8	0.17 \pm 0.06
24 g	1554 \pm 630	34.8 \pm 1 7.8	15.1 \pm 7.9	0.43 \pm 0.08	13.8 \pm 7.6	0.39 \pm 0.06	6.0 \pm 3.1	0.18 \pm 0.07
Arcilloso								
0 g	1774 \pm 1500	29.8 \pm 24.0	12.0 \pm 7.4	0.43 \pm 0.08	12.7 \pm 11.5	0.42 \pm 0.06	5.1 \pm 5.7	0.15 \pm 0.06
6 g	1834 \pm 728	32.4 \pm 13.1	13.4 \pm 5.5	0.42 \pm 0.08	13.5 \pm 5.9	0.41 \pm 0.06	5.5 \pm 3.2	0.17 \pm 0.06
12 g	2035 \pm 773	37.6 \pm 15.1	15.5 \pm 7.0	0.41 \pm 0.10	15.0 \pm 7.0	0.40 \pm 0.08	7.1 \pm 3.5	0.19 \pm 0.06
24 g	2792 \pm 1283	41.8 \pm 19.4	15.8 \pm 8.4	0.37 \pm 0.09	18.0 \pm 8.7	0.43 \pm 0.07	8.0 \pm 4.2	0.20 \pm 0.07

aunque sí por el tipo de suelo ($F_{2,417} = 10.53$, $P < 0.0001$), siendo menor en el suelo franco que en los otros dos suelos. Esto probablemente es debido a que en este suelo no hay restricciones para el crecimiento como en el arenoso (en el cual la proporción de hojas es elevada porque las plantas son muy pequeñas y no acumularon materia seca en otros órganos) y en el arcilloso (en el cual la fertilización estimuló la producción de hojas y el crecimiento de las plantas por ser el fósforo limitante). Las dosis aplicadas no modificaron el área foliar específica en ninguno de los suelos ($F_{6,228} = 1.02$, $P < 0.4130$; Figura 2), lo cual

puede indicar que no se manifestó una diferencia significativa en la estructura de las hojas. Dado que se ha reportado una relación entre el contenido de nutrientes foliares y el área foliar específica en *Eucalyptus grandis* en Australia (Cromer & Jarvis 1990), es probable que las diferencias en el contenido de nutrientes en nuestro experimento sean pequeñas. Lacey et al. (1966), trabajando con plantines de *Eucalyptus grandis* en hidroponía suplementados con fósforo, encontraron que al aumentar la dosis aplicada se incrementaba la materia seca acumulada en tallo y hojas, al igual que las relaciones tallo:total y hojas:total,

aunque el tallo se incrementaba más que las hojas. Sin embargo, en ensayos en aeroponía con esta misma especie, Kirschbaum et al. (1992) observaron que la proporción de tallo no se modificaba al aumentar la dosis de fósforo aplicada, mientras que la proporción de hojas aumentaba y la de raíces disminuía. Xu et al. (2002), trabajando con un clon de *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* en un suelo con dotación de nutrientes similar al suelo franco de este trabajo, encontraron que, luego de 75 meses, la materia seca acumulada en el tallo y la relación tallo:total se incrementaban al aumentar la dosis de fósforo aplicada, al igual que la materia seca acumulada en hojas y ramas, aunque las relaciones hojas:total y ramas:total disminuían al aumentar la dosis aplicada. Sin embargo, Cromer et al. (1993) observaron en *Eucalyptus grandis* fertilizado con nitrógeno y fósforo que la materia seca acumulada en hojas y ramas se incrementaba con respecto al control inmediatamente luego de iniciar el tratamiento, mientras que el incremento en el tallo se comenzaba a notar más tardíamente. En el mismo sentido, Birk & Turner (1992), quienes trabajaron con la misma especie en plantación en su lugar de origen, encontraron que la fertilización con nitrógeno y fósforo combinados aumentaba la biomasa de hojas, ramas y tallo y sus contribuciones a la materia seca total, aunque al separar el tallo en corteza, albura y duramen observaron que la proporción de corteza y de albura disminuía al aumentar la dosis de fertilizante, mientras que la proporción de duramen se incrementaba. En este trabajo, debido al tamaño de las plantas, no existe duramen, por lo que la reducción de la variable tallo:total al aumentar la dosis de fósforo aplicada coincide con lo encontrado por Birk & Turner (1992) y no con lo expresado por Xu et al. (2002). Por lo tanto, la distribución de materia seca varía en diferente sentido según el suelo sobre el que se aplique la fertilización con fósforo.

El coeficiente de asimilación neta fue afectado por la dosis y por el tipo de suelo, observándose interacción significativa entre los dos factores ($F_{6,417} = 16.32, P < 0.001$; Figura 3). Para todas las dosis, los valores en el suelo arenoso fueron menores que en los otros dos suelos, los cuales no difirieron entre sí. En el suelo arcilloso, el coeficiente de asimilación neta fue

máximo en el tratamiento de 12 g, disminuyendo en el de 24 g. Esto puede deberse a que el tamaño de las plantas y la ramificación aumentó el autosombreado, disminuyendo la actividad fotosintética de las hojas de los estratos inferiores. En el suelo franco el coeficiente de asimilación neta máximo se observó en el tratamiento de 12 g y se mantuvo en el de 24 g, porque las plantas alcanzaron menor

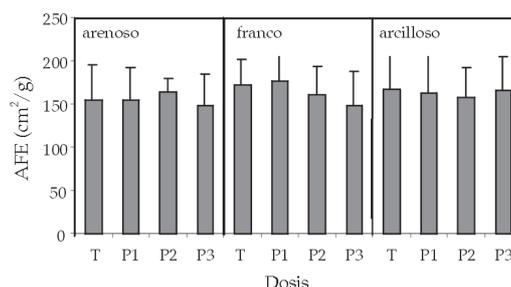


Figura 2. Area foliar específica promedio (+ DE) de *Eucalyptus globulus* para las dosis de fósforo aplicadas, en tres tipos de suelo. T: 0 g de superfosfato triple de calcio, P1: 6 g, P2: 12 g, P3: 24 g.

Figure 2. Mean specific leaf area (+ SD) of *Eucalyptus globulus* for doses of phosphorous applied over three soil types. T: 0 g of calcium superphosphate, P1: 6 g, P2: 12 g, P3: 24 g.

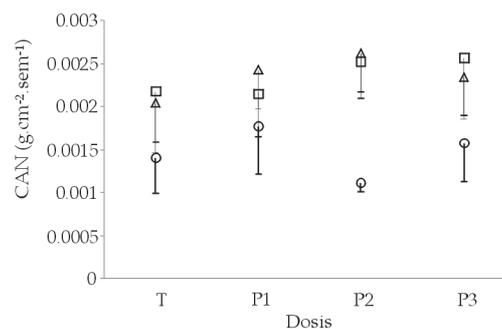


Figura 3. Coeficiente de asimilación neta promedio (+ DE) de *Eucalyptus globulus* entre el inicio del ensayo y a los 126 días para las dosis de fósforo aplicadas, en suelo arenoso (círculos), franco (cuadrados) y arcilloso (triángulos). Los códigos de las dosis son los mismos que en la Figura 2.

Figure 3. Mean net assimilation rate (+ SD) of *Eucalyptus globulus* between the beginning of the experiment and 126 days after, for doses of phosphorous applied over sandy (circles), loamy (squares) and clay (triangles) soils. Dose codes are the same as in Figure 2.

tamaño que en el suelo arcilloso y, por lo tanto, el sombreado fue menor. Los coeficientes de asimilación neta máximos en el suelo franco y en el suelo arcilloso fueron iguales, probablemente debido a que ambos suelos presentan condiciones de buena disponibilidad inicial de nutrientes. En el suelo arenoso el máximo se observó en el tratamiento de 6 g, en correspondencia con las plantas más grandes sobre este suelo. En el tratamiento de 12 g disminuyó abruptamente a valores menores que el testigo, debido a que si bien el peso seco total disminuyó con respecto al de 6 g, el área foliar fue mayor, por lo que la eficiencia del área fotosintética fue muy baja. Evidentemente, esta dosis no afectó la producción de hojas aunque sí la acumulación de materia seca en tallo y ramas. En el tratamiento de 24 g el coeficiente aumentó nuevamente a valores cercanos al máximo para este suelo, debido a que el área foliar se redujo fuertemente. Se deduce que los efectos depresivos comienzan afectando la acumulación de materia seca en el tallo, y con dosis mayores se afecta la producción de hojas. Los valores del coeficiente de asimilación neta observados para este suelo fueron menores que los observados para los otros dos. Como las plantas de este suelo tuvieron una elevada proporción de hojas con respecto a los órganos heterótrofos (indicado por el cociente de área foliar) y no hubo modificación en el área foliar específica, se deduce que la disminución en el coeficiente de asimilación neta se debió a una disminución en la fijación de carbono y no a un aumento en la respiración. El suelo arenoso presenta limitación de nutrientes que no le permite a las plantas alcanzar una alta eficiencia en la fijación de carbono por unidad de área foliar. Kirschbaum et al. (1992) midieron la tasa de asimilación por unidad de área foliar en plantines de *Eucalyptus grandis* en aeroponía y observaron que este valor se duplicaba al aumentar la disponibilidad de fósforo. Las plantas de suelo arenoso tuvieron un cociente de área foliar mayor al de los otros dos suelos ($F_{6,417} = 24.87$, $p < 0.0001$; Figura 4), alcanzando el valor máximo la dosis de 12 g, que fue justamente la que mostró un menor coeficiente de asimilación neta. En los suelos arcilloso y franco, las diferencias en el cociente de área foliar entre dosis fueron pequeñas. Los valores observados indican que

las plantas de suelo arenoso poseen una gran proporción de hojas, aunque con baja eficiencia en la acumulación de materia seca por unidad de área foliar, tal como lo indica el coeficiente de asimilación neta. Aunque este coeficiente fue mayor en las plantas de los suelos arcilloso y mestizo, la proporción de hojas fue menor. El coeficiente de asimilación neta y el cociente de área foliar se combinan en la tasa relativa de crecimiento (Figura 5). En el suelo arcilloso esta tasa se incrementó con la dosis aplicada con respecto al testigo; en el suelo franco no se modificó y en el suelo arenoso aumentó en el tratamiento de 6 g, no se modificó en el de 12 g y disminuyó en el de 24 g ($F_{6,417} = 23.87$, $P < 0.0001$). El valor máximo de la tasa relativa de crecimiento fue el correspondiente al tratamiento de 24 g en suelo arcilloso, mientras que el mínimo fue el de la misma dosis en suelo arenoso. La tasa mostró un patrón idéntico al peso seco aéreo total; esto se debe a que este estimador del crecimiento considera el peso final y el inicial y, en este ensayo, el peso inicial fue idéntico para todos los tratamientos.

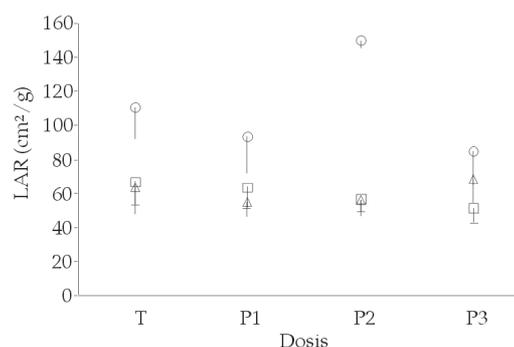


Figura 4. Cociente de área foliar promedio (+ DE) de *Eucalyptus globulus* a los 126 días del ensayo para las dosis de fósforo aplicadas, en suelo arenoso (círculos), franco (cuadrados) y arcilloso (triángulos). Los códigos de las dosis son los mismos que en la Figura 2.

Figure 4. Mean leaf area rate (+ SD) of *Eucalyptus globulus* 126 days after fertilization for doses of phosphorous applied over sandy (circles), loamy (squares) and clay (triangles) soils. Dose codes are the same as in Figure 2.

CONCLUSIONES

La respuesta diferencial a la aplicación de fósforo en los suelos del sudeste de la provincia de Buenos Aires determina que no se pueda adoptar una única estrategia de fertilización para la región, debido a que la aplicación de iguales dosis de fósforo produce resultados diferentes según el tipo de suelo. Existe una marcada interacción entre las dosis de fertilizante y los tipos de suelo analizados, que puede determinar la necesidad o no de fertilización temprana. Además, la mayor ramificación observada en respuesta a la aplicación de fósforo podría contribuir a una temprana cobertura del suelo, con efectos benéficos sobre la interceptación de la radiación y la consecuente acumulación de materia seca, tal como se ha observado en este trabajo.

Para suelos considerados con contenido moderado de nitrógeno (franco o arcilloso) existe una respuesta positiva en crecimiento de los plantines al agregado de fósforo. Para suelos de muy bajo contenido de nitrógeno (arenosos) existe un umbral de relación N/P determinado por el bajo contenido de nitró-

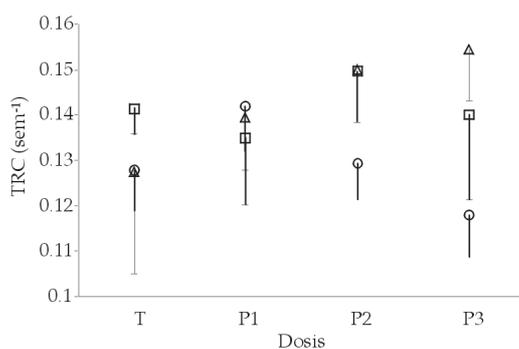


Figura 5. Tasa relativa de crecimiento promedio (+ DE) de *Eucalyptus globulus* entre el inicio del ensayo y a los 126 días para las dosis de fósforo aplicadas, en suelo arenoso (círculos), franco (cuadrados) y arcilloso (triángulos). Los códigos de las dosis son los mismos que en la Figura 2.

Figure 5. Mean relative growth rate (+ SD) of *Eucalyptus globulus* between the beginning of the experiment and 126 days after, for doses of phosphorous applied over sandy (circles), loamy (squares) and clay (triangles) soils. Dose codes are the same as in Figure 2.

geno más que de fósforo, lo que determina que el agregado de bajas dosis de fósforo provoque un aumento del crecimiento y una dosis intermedia provoque una depresión del crecimiento por un desbalance en la disponibilidad de nitrógeno.

AGRADECIMIENTOS

A P. Etchegaray y A. Di Blasi por colaborar con la instalación y cuidado del ensayo en el vivero. A G. Giorgi por las determinaciones analíticas de los suelos. A J. Garcés por su colaboración en las tareas a campo.

BIBLIOGRAFÍA

- BARROS, NF; RF NOVAIS & JCL NEVES. 1990. Fertilização e correção do solo para o plantio de eucalipto. Pp. 127-186 en: NF Barros & RF Novais (eds). *Relação solo-eucalipto*. Editora Folha de Viçosa. Viçosa.
- BIRK, EM & J TURNER. 1992. Response of flooded gum (*E. grandis*) to intensive cultural treatments: biomass and nutrient content of eucalypt plantation and native forests. *Forest Ecol. Manag.* **47**:1-28.
- BORRALHO, N. 2000. Avanços na investigação do *E. globulus* en Portugal. Implicancias para la Argentina. Pp. 97-107 en: *Primer Seminario Internacional del Eucalyptus globulus en la Argentina*. Mar del Plata.
- CARMO, DN; M RESENDE & TCA SILVA. 1990. Avaliação da aptidão das terras para eucalipto. Pp. 187-236 en: NF Barros & RF Novais (eds). *Relação solo-eucalipto*. Editora Folha de Viçosa. Viçosa.
- CAUSTON, DR & JC VENUS. 1981. *The biometry of plant growth*. Edward Arnold Ltd. Londres.
- CROMER, RN; DM CAMERON; SJ RANCE; PA RYAN & M BROWN. 1993. Response to nutrients in *Eucalyptus grandis*. 1. Biomass accumulation. *Forest Ecol. Manag.* **62**:211-230.
- CROMER, RN & PG JARVIS. 1990. Growth and biomass partitioning in *Eucalyptus grandis* seedlings in response to nitrogen supply. *Aust. J. Plant Physiol.* **17**:503-515.
- CULOT, JP. 2000. Caracterización edafo-climática de la región del sudeste de la provincia de Buenos Aires para *Eucalyptus globulus*. Pp. 2-9 en: *Primer Seminario Internacional de Eucalyptus globulus en la Argentina*. Mar del Plata.
- FISHER, RF & D BINKLEY. 2000. *Ecology and manage-*

- ment of forest soils. J. Wiley & Sons. New York.
- HERBERT, MA. 1990. Fertilizer/site interactions on the growth and foliar nutrient levels of *Eucalyptus grandis*. *Forest Ecol. Manag.* **30**:247-257.
- JUDD, TS; LT BENNETT; CJ WESTON; PM ATTIWILL & PH WHITEMAN. 1996. The response of growth and foliar nutrients to fertilizers in young *Eucalyptus globulus* (Labill.) plantations in Gippsland, south-eastern Australia. *Forest Ecol. Manag.* **82**:87-101.
- KIRSCHBAUM, MUF; DW BELLINGHAM & RN CROMER. 1992. Growth analysis of the effect of phosphorus nutrition on seedlings of *Eucalyptus grandis*. *Aust. J. Plant Physiol.* **19**:55-66.
- LACEY, CJ; AL LEAF & AR TALLI. 1966. Growth and nutrient uptake by fooded gum seedlings subjected to various phosphorus supplies. *Aust. Forestry* **30**:212-222.
- MARADEI, D. 1997. *Situación de los mercados forestales*. Ministerio de Asuntos Agrarios, Provincia de Buenos Aires. Necochea.
- MCLAUGHLIN, MJ. 1996. Phosphorus in Australian Forest soil. Pp. 1-30 en: PM Attiwill & MA Adams (eds). *Nutrition of eucalypts*. CSIRO Publishing. Melbourne.
- NEVES, JCL; JM GOMES & RF NOVAIS. 1990. Fertilização mineral de mudas de eucalipto. Pp. 99-126 en: NF Barros & RF Novais (eds). *Relação solo-eucalipto*. Editora Folha de Viçosa. Viçosa.
- NOVAIS, RF; NF BARROS & CL NEVES. 1990. Nutrição mineral do eucalipto. Pp. 25-98 en: NF Barros & RF Novais (eds). *Relação solo-eucalipto*. Editora Folha de Viçosa. Viçosa.
- SAGYP. 1989. *Atlas de suelos de la República Argentina*. SAGYP, INTA y CIRN. Buenos Aires.
- SANDS, PJ; RN CROMER & MUF KIRSCHBAUM. 1992. A model of nutrient response in *Eucalyptus grandis* seedlings. *Aust. J. Plant Physiol.* **19**:459-470.
- SOKAL, RR & FJ ROHLF. 1979. *Biometría*. Ed. Blume. Madrid.
- XU, D; B DELL; N MALAJCZUK & M GONG. 2002. Effects of P fertilisation on productivity and nutrient accumulation in *Eucalyptus grandis* x *E. urophylla* plantation in southern China. *Forest Ecol. Manag.* **161**:89-100.

