



7^{mo}
Congreso de
Medio Ambiente

Actas 7mo Congreso de Medio Ambiente AUGM
22 al 24 de mayo de 2012. UNLP. La Plata Argentina

REQUERIMIENTO Y RETORNO DE NUTRIENTES DE RAÍCES FINAS EN PLANTACIONES DE *EUCALYPTUS GRANDIS*

*Fine roots nutrients requirement and return in plantations of *Eucalyptus grandis**

Carolina A Pérez*, Jorge L Frangi, Amalia Luy, Juan F Goya, Marcelo F Arturi

Laboratorio de Investigación de Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA), Universidad Nacional de La Plata. Diagonal 113 N° 469, 1900 La Plata, Argentina. lisea@agro.unlp.edu.ar

*Autor para correspondencia: +54 221 4271442. perezcarolina9017@gmail.com

Palabras clave: ciclo de nutrientes, productividad y senescencia, subterráneo, tasas de renovación

Key Words: nutrient cycling, productivity and senescence, belowground, turnover rates

*Título abreviado: Requerimiento y retorno de nutrientes en raíces de *E. grandis**

ABSTRACT

Eucalyptus plantations in the Mesopotamia Argentina are cultivated under intensive forestry and show large increases in biomass and nutrients demand. Although belowground biomass is <10% of the total biomass of *E. grandis*, fine roots have high turnover rates and represent an important sink and source of nutrients. There is little information about belowground dynamics of *E. grandis* in the Mesopotamia Argentina. The objective is to estimate nutrients requirement and return from fine roots of *E. grandis* plantations at two different ages.

Plantations 5 (E5) and 17 (E17) years old were sampled seasonally over a year. Soil was deep red sandy soil (Order Entisols). The mass of fine roots (<5 mm) was estimated by removing 15 cylinders of 6.9 x 10 cm, up to 30 cm depth. Roots were separated in live (RFV) and dead (RFM) compartments. The concentration of P, K, Ca and Mg were determined with a Beckman Spectra-scan, and C and N with a LECO-CNS-analyzer. Nutrients content was estimated as root dry mass/unit area per nutrient concentration (nutrient mass/dry mass). Mass of RFV and RFM were compared by repeated measures analysis with the seasons as intra-subject factor. We calculated productivity and mortality of fine roots by mass difference. We estimated nutrient fluxes as Cole & Rapp (1981) and turnover rates (productivity / RFV biomass; requirement / RFV mineralmass).

Biomass and mineralmass of fine roots increased between E5 and E17. Productivity, requirements and root turnover rates decreased with increasing age. The requirements of N and P were in E5: N = 8 kg.ha⁻¹.year⁻¹ and P = 0.4 kg.ha⁻¹.year⁻¹, and in E17: N = 6 kg.ha⁻¹.year⁻¹ and P = 0.3 kg.ha⁻¹.year⁻¹. The returns were lower than the requirements in E5, and in E17 resemble each other. This suggests that biomass and its mineral content in the young plantation was increasing and there was a tendency to stability in the oldest plantation. The highest rates of growth and nutrients demand in the roots were observed in the first 5 years of planting. The N:P requirements ratio indicates higher N requirement per unit of P in the younger plantation.

RESUMEN

En la Mesopotamia argentina las plantaciones de *Eucalyptus* bajo silvicultura intensiva muestran elevados incrementos de biomasa y demanda de nutrientes. Aunque la biomasa subterránea representa <10% de la biomasa total de *E. grandis*, las raíces finas presentan

tasas de renovación elevadas, constituyendo un importante sumidero y fuente de nutrientes. Existe poca información acerca de la dinámica subterránea de *E. grandis* en la Mesopotamia Argentina. El objetivo es estimar los requerimientos y retornos de nutrientes de las raíces finas de plantaciones de *E. grandis* a dos edades.

Se muestrearon estacionalmente a lo largo de un año plantaciones de 5 (E5) y 17 (E17) años sobre suelos arenosos rojizos profundos (Orden Entisoles). La masa de raíces finas (<5 mm) se estimó mediante la extracción de 15 cilindros de 6.9 x 10 cm, hasta 30 cm de profundidad. Se separaron en los compartimientos raíces vivas (RFV) y muertas (RFM). Las concentraciones de P, K, Ca y Mg fueron determinadas con un Beckman Spectra-scan, y el C y N mediante un LECO-CNS-analyzer. Las mineralomasas de raíces se estimaron como el producto de la masa seca por unidad de área por la concentración de nutriente (masa de nutriente/masa seca). Se compararon las masas de RFV y RFM mediante análisis de medidas repetidas con las estaciones como factor intra sujeto. Se calculó la productividad y mortalidad de raíces finas por diferencias de masa. Se estimaron los flujos de nutrientes según Cole & Rapp (1981) y las tasas de renovación (productividad/biomasa RFV; requerimiento/mineralomasa RFV).

La biomasa y mineralomasas de raíces finas aumentaron entre E5 y E17. La productividad, requerimientos y tasas de renovación de raíces disminuyeron con la mayor edad. Los requerimientos de N y P fueron, en E5 $N=8 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y $P=0.4 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y en E17 $N=6 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$ y $P=0.3 \text{ kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{año}^{-1}$. Los retornos fueron menores que los requerimientos en E5, y similares entre sí en E17. Esto sugiere el incremento de la biomasa y su contenido mineral en la plantación joven y tendencia a la estabilidad en la plantación más antigua. Las mayores tasas de crecimiento y demanda de nutrientes en las raíces se observaron en los primeros 5 años de la plantación. La relación N:P de los requerimientos indica mayor requerimiento de N por unidad de P en la plantación más joven

INTRODUCCIÓN

La Mesopotamia argentina constituye un núcleo de plantación de *Eucalyptus grandis* Gill ex Maiden, donde se concentra más del 70% de la superficie del país implantada con dicha especie (SAGPYA, 2001). En esta región, las plantaciones de

Eucalyptus bajo silvicultura intensiva presentan elevados incrementos y demandas de nutrientes de la biomasa aérea (Goya *et al.*, 1997; Goya, 2004; Barrera *et al.*, 2005).

Aunque la biomasa subterránea representa menos del 10% de la biomasa total de *E. grandis* y las raíces finas no superan el 2% de la misma (Luy *et al.*, 1997), sus elevadas tasas de renovación hacen que éstas sean un importante sumidero y fuente de nutrientes (Vogt, 1991; Chen *et al.*, 2004; Jourdan *et al.*, 2008). Pese a su importancia, a nivel local, no hay información sobre la demanda y el retorno subterráneos de nutrientes.

Por otra parte, varios trabajos han demostrado que las tasas de crecimiento y demanda de nutrientes aéreos cambian con la edad de las plantaciones (Goya, 2004; Turner & Lambert, 2008). Considerando que estos cambios podrían también ocurrir en las raíces, principalmente en las finas por considerarse el componente más dinámico de la biomasa subterránea, este trabajo se propone como objetivo estimar los requerimientos, retornos de nutrientes y tasa de renovación de las raíces finas en plantaciones de *E. grandis* en la provincia de Entre Ríos, en dos edades diferentes, una temprana (5 años) y otra avanzada (17 años).

MATERIALES Y MÉTODOS

Área de estudio

El área de estudio se encuentra en las inmediaciones de la ciudad de Concordia, provincia de Entre Ríos (31° 23' S 58° 02' W). La temperatura media anual fue de 19.0 °C; la precipitación media anual alcanzó 1280.5 mm. Los meses más lluviosos abarcan desde octubre a abril (Estación meteorológica INTA-Concordia).

Sitios de muestreo

Se estudiaron plantaciones de *E. grandis* de procedencia sudafricana, implantadas sobre el mismo tipo de suelo: arenoso rojizo profundo, Oxic Quartzipsamment (Orden Entisol), desarrollados sobre materiales muy arenosos, apoyados sobre materiales franco arcillosos rojizos a más de 150 cm (Tabla 1) (Luy *et al.*, 1997). Los sitios de muestreo se ubicaron en dos plantaciones de 5 y 17 años de edad, denominadas E5 y E17 respectivamente, las cuales recibieron similares tratamientos silviculturales y presentaron diferencias en sus estructuras aéreas vinculadas con la edad (Tabla 2) (Luy *et al.*, 1997).

Tabla 1. Características de los suelos de plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distinta edad, en Concordia, Entre Ríos (fuente: Luy *et al.*, 1997).

Table 1. Soil characteristics of *Eucalyptus grandis* plantations of different ages (source: Luy *et al.*, 1997).

Sitios de plantación	Comentario
Tipo	Arenoso rojizo profundo
Clasificación	Oxic Quartzipsamment
Orden	Entisol
Descripción	Muy arenoso sobre materiales franco arcillosos rojizos a más de 150 cm.
MO (%)	Ap: 0.4 AC: 0.21
pH (H ₂ O)	5.4
CIC (m.e /100g)	Ap: 1.2 AC: 1.0
Equivalente de humedad (%)	Ap: 1.9 AC: 1.7
Saturación de bases (%)	Ap: 26.0 AC: 30.0

Tabla 2. Parámetros de la estructura aérea de plantaciones de *Eucalyptus grandis* (fuente: Luy *et al.*, 1997).

Table 2. Parameters of the aboveground structure of plantations of *Eucalyptus grandis* of different ages (source: Luy *et al.*, 1997).

Variables	Edad de la plantación (años)	
	5	17
Area basal (m ² .ha ⁻¹)	17.5	36.6
Altura promedio (m)	18.6	24.3
DAP medio (cm)	16.0	22.5
Densidad (ind.ha ⁻¹)	920.0	940.0
IMA (Mg.ha ⁻¹ .año ⁻¹)	18.5	16.2
Biomasa aérea (Mg.ha ⁻¹)		
Total	92.2	274.4
Foliar	8.1	4.1

Muestreo

La biomasa subterránea fue estimada por Luy *et al.* (1997). Se extrajeron estacionalmente, en cinco momentos desde mayo de 1996 a julio de 1997, 15 cilindros de 6.9 cm de diámetro por 10 cm de alto, hasta los 30 cm de profundidad. Fueron consideradas raíces finas aquellas cuyo diámetro fue inferior a 5 mm. Las raíces finas fueron separadas en vivas y muertas mediante flotación, tamizado en húmedo y nuevo flotado, lavado con agua destilada y extracción con pinzas de punta fina, luego fueron secadas 70 °C hasta peso constante y pesadas con una precisión de 0.01 mg. La separación en las categorías vivas y muertas se realizó de acuerdo a su textura, flexibilidad y color (Bohm, 1979; McClaugherty *et al.*, 1982).

Análisis químicos

Las concentraciones de P K, Ca y Mg fueron determinadas con un espectrómetro de emisión de plasma Beckman Spectra-scan, y las de C y N mediante el método de combustión seca en un LECO-CNS-analyzer. Las mineralomasas de raíces se estimaron como el producto de la masa seca por unidad de área por la concentración de nutriente (masa de nutriente/masa seca).

Cálculo de flujos

Se calculó la productividad y mortalidad de raíces finas por diferencias de biomasa y necromasa, aplicando la fórmula de Frangi *et al.* (1980) ajustada para su aplicación a sistemas subterráneos (Pérez & Frangi, 2000). La productividad primaria (PRF) y la senescencia (SRF) de las raíces finas fueron estimadas de acuerdo con las siguientes fórmulas:

$$PRF = \Delta RFV^+ + (M - \Delta RFV^-) = \Delta RFV^+ + m$$

Donde ΔRFV^+ son los incrementos de la biomasa de las raíces finas vivas,

ΔRFV^- son los decrecimientos de la biomasa de raíces finas vivas; siendo

$$m = \Delta RFM - \Delta RFV^- \text{ (siempre que } m > 0)$$

Donde ΔRFM : cambios de la necromasa de raíces finas.

$$SRF = \Delta RFV^- + m \text{ (siempre que } m > 0)$$

Se estimaron los requerimientos y retornos de nutrientes en las raíces finas de acuerdo con Cole y Rap (1981):

Requerimientos: es el producto de la productividad por la concentración de nutrientes en las raíces finas vivas.

Retorno: es la senescencia de raíces por las concentraciones de nutrientes en las raíces vivas. En el cálculo del retorno se utilizó la concentración de nutrientes en las raíces vivas, debido a que en las raíces muertas las concentraciones fueron similares o superiores a las vivas.

Se estimó la tasa de renovación de la biomasa como el cociente entre la productividad y la biomasa RFV; y la tasa de renovación de nutrientes, como el cociente entre los requerimientos y las respectivas mineralomasas de RFV.

Análisis estadístico

Se comparó la masa y contenido de nutrientes de raíces vivas mas muertas entre edades mediante un análisis de la varianza utilizando las estaciones como bloques. Las concentraciones de nutrientes entre raíces vivas y muertas se compararon mediante un análisis de varianza utilizando a las edades y estaciones como bloques y a las raíces vivas y muertas como tratamientos dentro de ellos. Se evaluó la existencia de diferencias significativas entre estaciones en la masa de raíces finas vivas y muertas. Se utilizó un análisis de medidas repetidas con las estaciones como factor intra sujeto. Se comprobó el cumplimiento de la esfericidad de la matriz de co-varianza mediante la prueba de Mauchly (1940).

RESULTADOS

La masa de raíces finas (vivas más muertas) y su contenido mineral fue mayor en E17 que en E5 (Figuras 1 y 2).

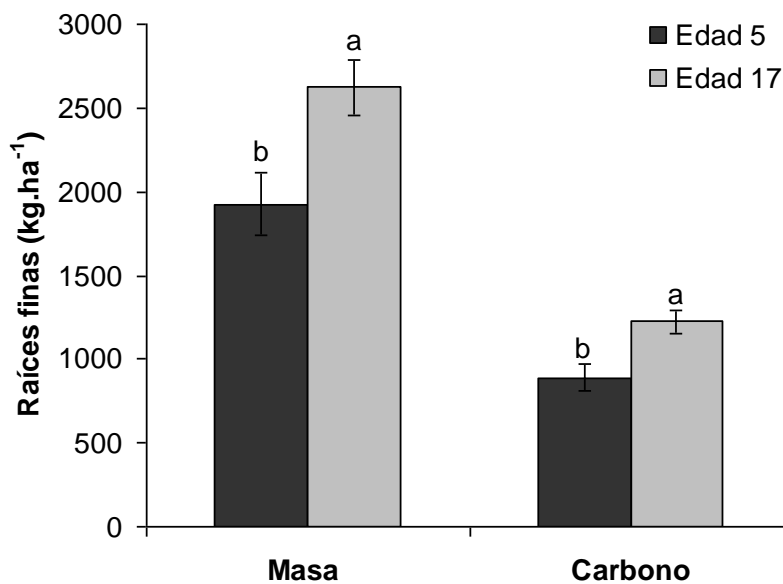


Figura 1. Media anual de la masa de raíces finas (vivas + muertas) y su contenido de carbono en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distinta edad. Las líneas verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre edades ($n = 4$, $p < 0.05$).

Figure 1. Annual average of fine root mass (live + dead) and carbon content in *Eucalyptus grandis* plantations of different ages. Standard error bars are shown. Different letters indicate significant differences between ages ($n = 4$, $p < 0.05$).

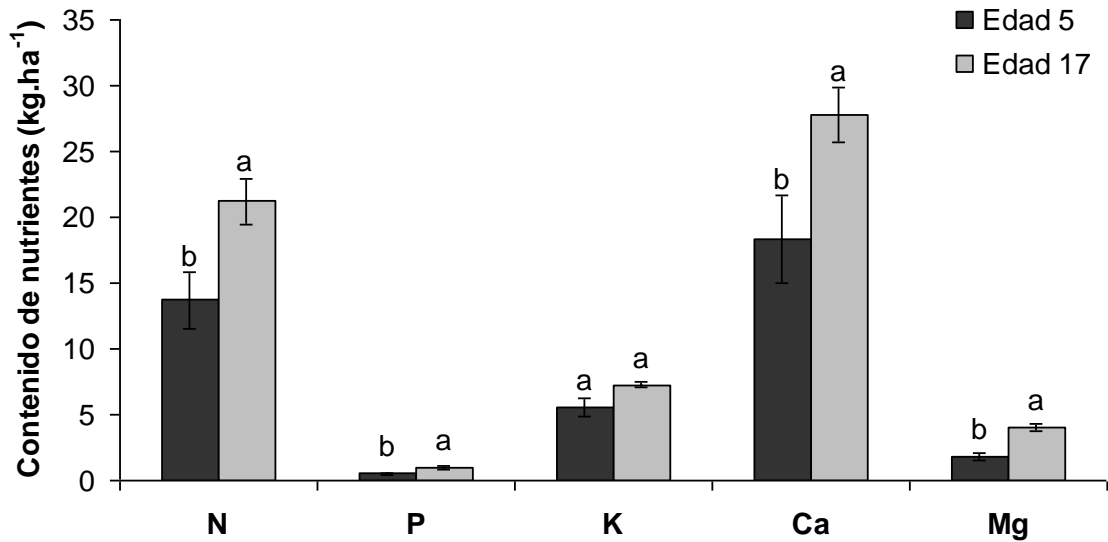


Figura 2. Media anual del contenido de nutrientes de las raíces finas (vivas + muertas) en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distinta edad. Las líneas verticales indican el error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre edades ($n = 4$, $p < 0.05$).

Figure 2. Annual average of nutrient contents of fine roots (live + dead) in *Eucalyptus grandis* plantations of different ages. Standard errors bars are shown. Different letters indicate significant differences between ages ($n = 4$, $p < 0.05$).

La biomasa de raíces finas mostró tendencias de cambio con las estaciones del año. En E5 se registraron picos en la biomasa de raíces finas vivas a fines del invierno y en el otoño del segundo año de muestreo. En E17 los valores picos ocurrieron en el otoño de primer año de muestreo y a fines de la primavera. La biomasa de raíces finas muertas presentó valores pico a fines del invierno en ambas edades (Figura 3).

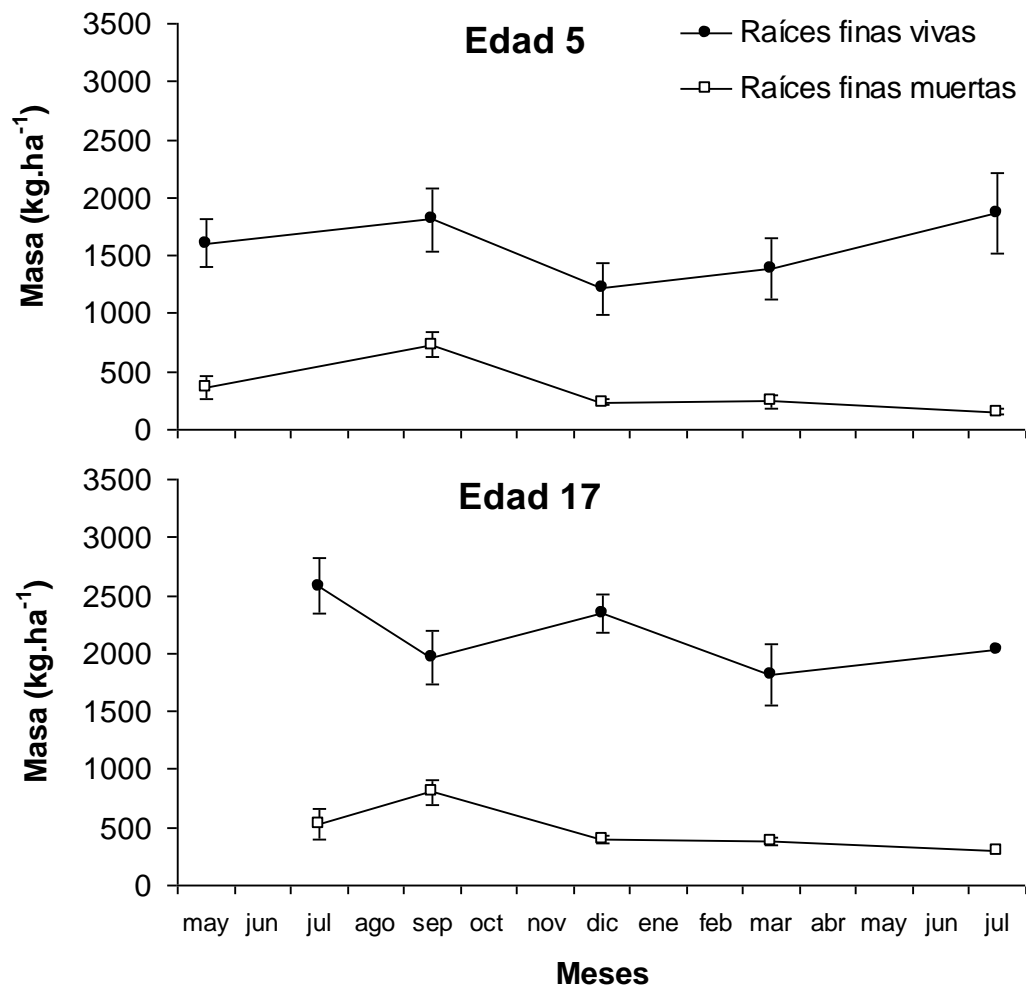


Figura 3. Dinámica estacional de la biomasa de las raíces finas de plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distinta edad. Las líneas verticales indican el error estándar (n = 15).

Figure 3. Seasonal dynamics of biomass of fine roots of *Eucalyptus grandis* plantations of different ages. Standard error bars are shown (n = 15).

La productividad primaria subterránea neta (PRF) fue menor en la plantación de mayor edad. En E5 la PRF fue $1.2 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ y en E17 fue $0.8 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$. La PRF fue menor que la senescencia de raíces finas (SRF) ($\text{SRF} = 0.96 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$) en E5, y similar ($\text{SRF} = 0.8 \text{ Mg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$) en E17.

Los requerimientos de C, N, K y Ca fueron mayores en E5 que en E17, en cambio no se observaron diferencias entre edades en los requerimientos de P y Mg (Figuras 4 y 5).

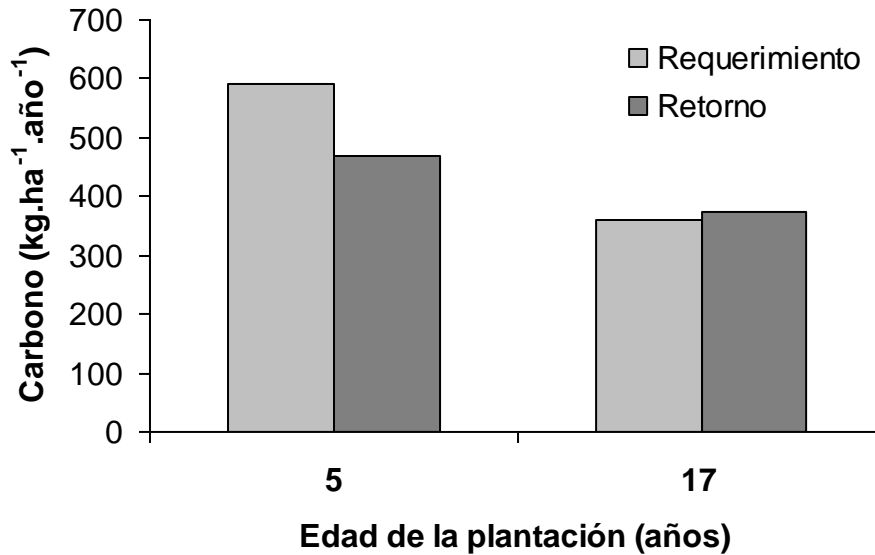


Figura 4. Requerimiento y retorno de Carbono de las raíces finas en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distinta edad.

Figure 4. Carbon requirement and return from fine roots of *Eucalyptus grandis* plantations of different ages.

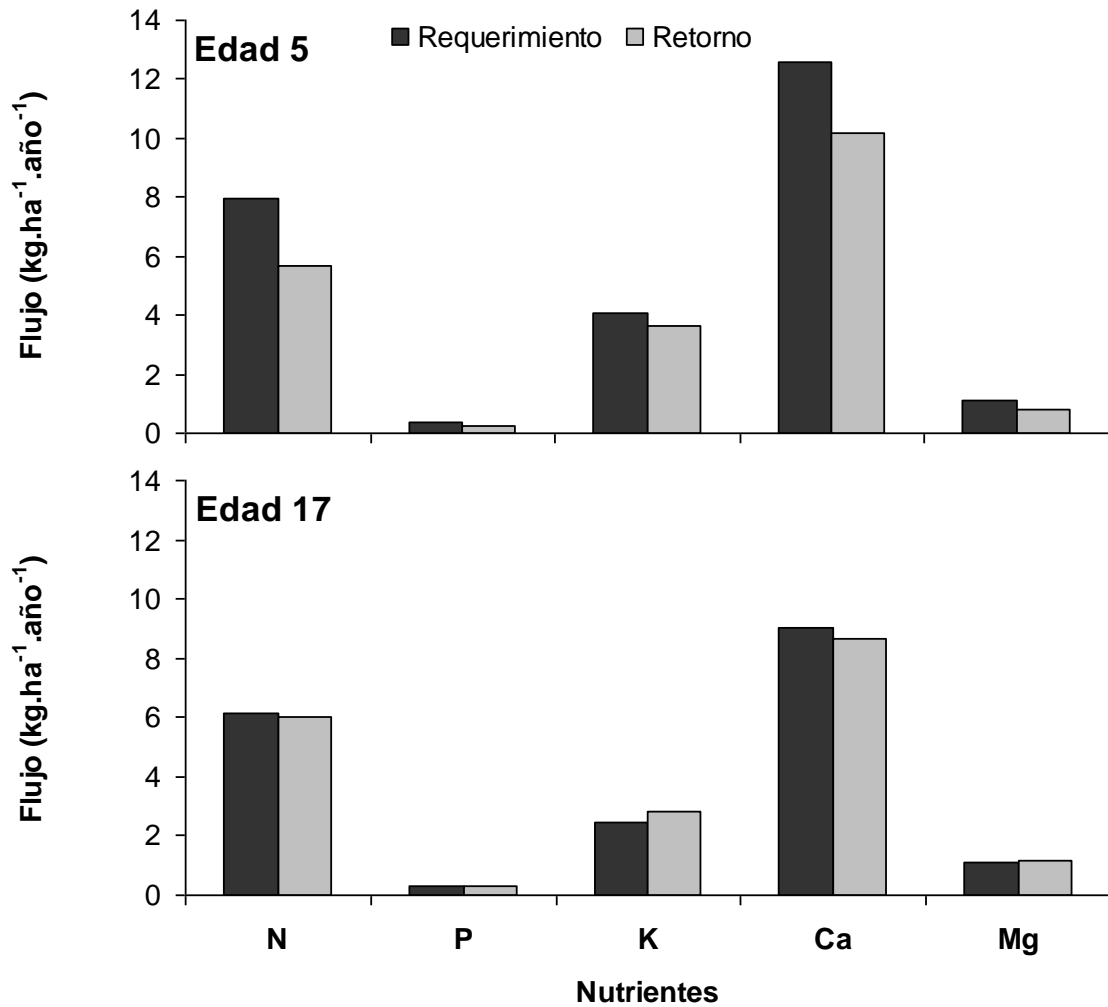


Figura 5. Requerimiento y retorno de nutrientes de las raíces finas en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distinta edad.

Figure 5. Nutrient requirement and return from fine roots of *Eucalyptus grandis* plantations of different ages.

La recirculación o retraslocación de nutrientes en las raíces finas (recuperación de nutrientes antes de la senescencia de la raíz) se consideró nula debido a que las concentraciones de nutrientes en las raíces finas muertas resultaron similares (P, Ca) o superiores (N, Mg) a la de las vivas (Tabla 3). En el caso del N se debió, posiblemente, a inmovilización microbiana. Sólo la concentración de K fue menor en las raíces muertas que en las vivas, pero es imposible establecer si esta diferencia de concentración tomó

lugar antes o después de la senescencia por lo cual no puede considerarse si la misma obedece a un proceso de recirculación o a la descomposición y lixiviado de K de las raíces muertas.

Tabla 3. Concentración de nutrientes en raíces finas vivas y muertas en plantaciones de *E. grandis* de diferente edad. Media \pm error estándar. Letras diferentes indican diferencias significativas entre raíces vivas y muertas ($n = 4$, $p < 0.05$) en cada edad de plantación.

Table 3. Nutrient concentrations of live and dead fine roots in *Eucalyptus grandis* plantations of different ages. Average \pm standard error. Different letters indicate significant differences between live and dead roots ($n = 4$, $p < 0.05$) in each plantation age.

Nutriente	Concentración (mg.g ⁻¹)			
	Edad 5 años		Edad 17 años	
	Raíces finas vivas	Raíces muertas	finas Raíces vivas	finas Raíces muertas
C	488.0 \pm 7.0 (a)	435.0 \pm 5.0 (a)	446.0 \pm 8.5 (a)	465.0 \pm 9 (a)
N	6.0 \pm 0.5 (b)	8.5 \pm 0.6 (a)	7.5 \pm 0.2 (b)	8.5 \pm 0.3 (a)
P	0.3 \pm 0.02 (a)	0.3 \pm 0.01 (a)	0.4 \pm 0.02 (a)	0.3 \pm 0.01 (a)
K	3.6 \pm 0.4 (a)	1.9 \pm 0.1 (b)	3.1 \pm 0.2 (a)	2.0 \pm 0.1 (b)
Ca	10.0 \pm 0.7 (a)	8.0 \pm 1.0 (a)	11.0 \pm 0.5 (a)	9.5 \pm 0.9 (a)
Mg	0.9 \pm 0.05 (a)	1.0 \pm 0.02 (b)	1.4 \pm 0.04 (a)	1.7 \pm 0.04 (b)

Los retornos de nutrientes fueron menores a los respectivos requerimientos en E5 pero similares entre si en E17 (Figuras 4 y 5). Las tasas de renovación tanto de la biomasa como de las mineralomasas fueron mayores en E5 que en E17. En E5 en un año se recambia el 80% de la biomasa de raíces finas vivas y su correspondiente contenido mineral, mientras que en E17 las tasas de renovación se reducen a la mitad (se renueva anualmente el 40%).

De acuerdo con estas tasas de renovación, la longevidad promedio de las raíces finas sería de 456 días en E5 y de 912 días en E17.

DISCUSIÓN

En el presente estudio las raíces finas (vivas más muertas) presentaron una mayor masa a mayor edad, que se corresponde con una mayor masa aérea en la plantación más antigua. Sin embargo, el cociente biomasa foliar/ biomasa de raíces finas disminuyó de 5 a 2 con la mayor edad, es decir que la cantidad de biomasa foliar sostenida por unidad de biomasa de raíces finas se redujo más de dos veces entre E5 y E17. Esto podría indicar una menor eficiencia de absorción de las raíces, pero también podría ocurrir por una menor disponibilidad de nutrientes del suelo, lo cual haría necesario aumentar la superficie de absorción para satisfacer la demanda de agua y nutrientes de las hojas. Efectos negativos de las plantaciones de *Eucalyptus* a lo largo del tiempo sobre los almacenajes de nutrientes del suelo han sido señalados en trabajos realizados en la zona de estudio (Carrasco-Letelier *et al.*, 2004; Delgado *et al.*, 2006).

Las variaciones estacionales de la biomasa de las raíces finas se vinculan principalmente a la disponibilidad de agua y nutrientes (Kätterer *et al.*, 1995; King *et al.*, 2002; Chen *et al.*, 2004). En el presente estudio los picos de biomasa de raíces finas ocurrieron a fines del invierno (E5) y de la primavera (E17) y a fines del otoño (ambas edades), períodos en los que el balance entre la precipitación y la evapotranspiración potencial resulta favorable.

La productividad de las raíces finas y la demanda de nutrientes fueron mayores en la plantación de menor edad. La plantación joven (E5) requiere más nutrientes que la plantación cercana al turno (E17) pero, además, el cociente N:P en los requerimientos de E5 (N:P=23) sugiere que requiere más N por unidad de P requerido que la plantación de mayor edad (N:P=20). Las diferencias entre requerimientos y retornos en raíces finas entre ambas plantaciones sugieren que en la plantación joven se están acumulando

nutrientes posiblemente debido al incremento en la biomasa de raíces, en tanto en la plantación de mayor edad se habría alcanzado un balance de la biomasa y las mineralomasas. Además, una alta demanda aérea de nutrientes es característica de las etapas juveniles en el desarrollo de rodales de *Eucalyptus*, como consecuencia del mayor crecimiento de la copa y mayor asignación de recursos hacia la misma (Laclau *et al.*, 2000; Goya 2004; Turner & Lambert, 2008). Goya (2004) observó una disminución en los requerimientos aéreos de N y K entre los 3 y 14 años de edad en plantaciones de *E. grandis* en Entre Ríos, un escaso cambio en los requerimientos de Mg entre ambas edades y un aumento del requerimiento de Ca a mayor edad, en respuesta a una mayor asignación del crecimiento hacia el fuste. En el presente estudio se observa una tendencia similar entre edades a la señalada por Goya (2004), ya que con la mayor edad decreció el requerimiento de N, K, y Ca de las raíces finas. En cambio el P y Mg registraron escaso cambio entre edades. Goya (2004) atribuyó la ausencia de cambios con la edad en los requerimientos aéreos de P a una disponibilidad no limitante de este nutriente en el suelo y a una alta eficiencia de *E. grandis* en su utilización.

Barrera *et al.* (2005) estimaron los requerimientos y retornos aéreos de N y P en plantaciones de *E. grandis* de 14 años de edad en Concordia, implantadas sobre diferentes tipos de suelos. Las plantaciones sobre suelos arenosos alcanzaron requerimientos de N de $73 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ y de P de $7.4 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ y retornos de N de $28 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ y de P de $1.3 \text{ kg.ha}^{-1}.\text{año}^{-1}$ (Barrera *et al.*, 2005). Estas plantaciones serían comparables con la de 17 años de edad del presente estudio, por la cercanía de las edades, similitud de los suelos y de los métodos de estimación de los flujos de nutrientes. De este modo, los requerimientos de las raíces finas de la plantación de *E. grandis* de 17 años representaría sólo el 8% del requerimiento aéreo de N y el 4% del de P de la plantación estudiada por Barrera *et al.*

(2005), pero el retorno subterráneo representaría más del 20% del retorno aéreo de ambos nutrientes. La importancia de la raíces como fuente de aporte de carbono y nutrientes al suelo está dada principalmente por sus tasas de renovación (Vogt, 1991). En el presente estudio, las tasas de renovación de la biomasa y de las mineralomasas expresan una mayor velocidad de recambio de las raíces finas en la edad más temprana que en la más antigua.

En la plantación relativamente joven, las raíces finas presentaron mayores tasas de crecimiento, de demanda de nutrientes y de renovación que en la edad más avanzada. Estas diferencias podrían relacionarse con una mayor demanda aérea de nutrientes en la plantación joven, destinada principalmente al crecimiento de la copa.

Por otra parte las tasas de renovación de la biomasa y mineralomasas, dentro de una misma edad de plantación fueron muy similares entre sí, indicando una estrecha relación entre la dinámica de los nutrientes y de la biomasa. Este resultado sería consistente con los de otros estudios que señalan la ausencia de recirculación de nutrientes en las raíces finas o al menos la imposibilidad de detectarla a partir de la metodología empleada (Nambiar 1987; Gordon & Jackson, 2000; Pérez & Frangi, 2007).

La productividad de raíces finas estimada en el presente estudio fue similar a la obtenida por Jourdan *et al.* (2008) en plantaciones de *E. grandis* de 2 años de edad en San Pablo, Brasil. Estos autores, utilizando métodos comparables, estimaron una productividad de raíces finas (< 2 mm) de 0.87 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ en parcelas con fertilización nitrogenada y de 1.44 Mg.ha⁻¹.año⁻¹ en las no fertilizadas. En cambio, las respectivas tasas de renovación, 1.04 año⁻¹ y 1.58 año⁻¹ estimadas por Jourdan *et al.* (2008) superan a la obtenida para la edad más joven en el presente estudio. Entre otras causas, estas diferencias podrían atribuirse a las diferencias de tamaño de las raíces consideradas finas en uno y otro trabajo.

En varios estudios se señalan velocidades de renovación mayores para raíces de menor diámetro (Kätterer *et al.*, 1995; Gill & Jackson, 2000; King *et al.*, 2002). Kätterer *et al.* (1995) estimaron una longevidad promedio de 150 días para raíces < 2 mm en plantaciones de *E. globulus* de 5 años de edad. King *et al.* (2002) estimaron el tiempo de vida medio en plantaciones de *Pinus taeda* de 11 años de edad a las que se les aplicaron diferentes tratamientos de fertilización e irrigación. Estos autores señalan que la longevidad promedio de las raíces que no superaban 1 mm de diámetro varió de 147 a 181 días de acuerdo al grado de fertilización e irrigación recibido, mientras que aquellas raíces entre 1 y 2 mm de diámetro podían vivir entre 235 y 351 días (King *et al.*, 2002). Gill & Jackson (2000), señalan que a escala global en los bosques existe una relación inversa entre el diámetro de las raíces y su tasa de renovación.

CONCLUSIONES

En la plantación relativamente joven, las raíces finas presentaron mayores tasas de crecimiento y demanda de nutrientes y mayor tasa de renovación comparadas con una edad más avanzada de plantación. Estas diferencias se atribuyen a una mayor demanda aérea de nutrientes a menor edad de la plantación, asignada principalmente al crecimiento de la copa. Si bien a mayor edad existe una menor velocidad de los procesos de crecimiento y recambio de las raíces finas, el retorno de nutrientes a través de la mortalidad de las mismas en ambas edades constituye un importante aporte de nutrientes al suelo.

AGRADECIMIENTOS

Nuestro agradecimiento a Mary J Sánchez, Edwin López y Maribelis Santiago del Laboratorio de Nutrientes del International Institute of Tropical Forestry, USDA-Forest Service, Rio Piedras, Puerto Rico, y a su Director Dr Ariel Lugo, por la realización de los análisis químicos y apoyo permanente.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Barrera MD, Goya JF & Frangi JL. 2005. Ciclo y eficiencia en el uso de N y P en plantaciones de *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) sobre diferentes tipos de suelos en Entre Ríos, Argentina. *Actas Tercer Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Corrientes, Corrientes*: 1-10
- Böhm W. 1979. *Methods of studying root systems*. Ecological Studies 33. Springer- Verlag, Berlín, Alemania: 188 p
- Carrasco-Letelier L, Eguren G, Castiñeira C, Parra O & Panario D. 2004. Preliminary study of prairies forested with *Eucalyptus* sp. at the northwestern Uruguayan soils. *Environmental Pollution*, 127: 49-55
- Chen X, Eamus D & Hutley LB. 2004. Seasonal patterns of fine-root productivity and turnover in a tropical savanna of northern Australia. *Journal of Tropical Ecology*, 20: 221-224
- Cole DW & Rapp M. 1981. Elemental cycling in forest ecosystems. En: Reichle CE (ed.). *Dynamic Properties of Forest Ecosystems*. Cambridge University Press. Cambridge, UK: 341-401
- Delgado S, Alliaume F, García Préchac F & Hernández J. 2006. Efecto de las plantaciones de *Eucalyptus* sp. sobre el recurso suelo en Uruguay. *Agrociencia*, 10: 95-108

- Frangi JL, Sánchez NE, Ronco MG, Rovetta G, & Vicari R. 1980. Dinámica de la biomasa y productividad primaria aérea neta de un pastizal de "flechillas" de Sierra de la Ventana (Buenos Aires, Argentina). *Boletín de la Sociedad Argentina Botánica*, 19:203–228
- Gill RA & Jackson RB. 2000. Global patterns of root turnover for terrestrial ecosystems. *New Phytologist*, 147: 13-31
- Gordon WS & Jackson RB. 2000. Nutrient concentrations in fine roots. *Ecology*, 81: 275-280
- Goya JF, Frangi JL, Dalla Tea F, Marco MA & Larocca F. 1997. Plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el NE de la provincia de Entre Ríos. *XII Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Entre Ríos*: 1-19
- Goya JF. 2004. Análisis del ciclo de nutrientes en *Eucalyptus grandis* de dos edades de plantación en el NE de Entre Ríos. *Actas XIX Congreso Argentino de la Ciencia del Suelo, Paraná, Entre Ríos*: 1-10
- Jourdan C, Silva E, Goncalves J, Ranger J, Moreira R & Laclau J. 2008. Fine root production and turnover in Brazilian *Eucalyptus* plantations under contrasting nitrogen fertilization regimes. *Forest Ecology and Management*, 256: 396-404
- Kätterer T, Fabiao A, Madeira M, Ribeiro C & Steen E. 1995. Fine-root dynamics, soil moisture and soil carbon content in a *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilisation regimes. *Forest Ecology and Management*, 74: 1-12
- King JS, Albaugh TJ, Allen HL, Buford M, Strain BR & Dougherty P. 2002. Below-ground carbon input to soil is controlled by nutrient availability and fine root dynamics in loblolly pine. *New Phytologist*, 154: 389-398

- Laclau JP, Bouillet JP & Ranger J. 2000. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a clonal plantation of Eucalyptus in Congo. *Forest Ecology and Management*, 128: 181-196.
- Luy A, Goya JF & Frangi JL. 1997. Distribución de la biomasa aérea y subterránea en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distintas edades en la región de Concordia, Entre Ríos, (Argentina). *Actas II Congreso Forestal Argentino y Latinoamericano, Posadas, Misiones*: 1-10
- Mauchly JW. 1940. Significance Test for Sphericity of a Normal n-Variate Distribution.
- *The Annals of Mathematical Statistics*, 11: 204-209
- McClaugherty CA, Aber JD & Melillo JR. 1982. The role of fine roots in the organic matter and nitrogen budgets of two forested ecosystems. *Ecology*, 64:1481-1490.
- Nambiar EKS. 1987. Do nutrients retranslocate from fine roots? *Canadian Journal of Forest Research*, 17: 913-918
- Pérez C & Frangi JL. 2000. Grassland biomass dynamics along an altitudinal gradient in the Pampa. *Journal of Range Management*, 53: 518–528
- Pérez C & Frangi JL. 2007. Ciclos de macronutrientes en pastizales serranos de Sierra de la Ventana. *Ecología Austral*, 17: 199-216
- SAGPYA (Secretaría de Agricultura, Ganadería, Pesca y Alimentación). 2001. *Sector Forestal, Anuario sobre régimen de promoción de plantaciones forestales*. SAPGYA, Dirección de Forestación, Buenos Aires, Argentina: 45 p
- Turner J & Lambert MJ. 2008. Nutrient cycling in age sequences of two Eucalyptus plantation species. *Forest Ecology and Management*, 255: 1701-1712

- Vogt K. 1991. Carbon budgets of temperate forest ecosystems. *Tree Physiology*, 9: 69-86