

## Simulación del impacto de diferentes regímenes de cosecha sobre el capital de nutrientes e indicadores económicos en plantaciones de *Eucalyptus grandis* del NE de Entre Ríos, Argentina

*Simulation of different harvest regimes impact on nutrient stocks and economic indicators in Eucalyptus grandis plantations from NE Entre Rios, Argentina*

Juan F. Goya<sup>ab\*</sup>, Jorge L. Frangi<sup>ac</sup>, Gerardo Denegri<sup>d</sup>, Federico Larocca<sup>e</sup>

**Palabras clave:**  
residuos de cosecha;  
exportación de nutrientes; índice de estabilidad de plantaciones

**Keywords:** harvest residues; nutrient outputs; plantation stability index

### ABSTRACT

*The effect on soil productivity of harvesting forestry products deserved special attention in last years. Consequently, it is necessary to establish quantitative indices of environmental and economic impact for the different management stages. The decision of planting forestry trees is dependent on financial indicators; high costs may change investor decision. Maintaining soil nutrient stock as a baseline for productivity support may be an indicator of ecological sustainability; however, it can increase costs. Our objective was to answer the following: (i) How each harvest scenario affect the nutrient stability of plantations? (ii) Which of the alternative scenarios is of higher financial value at present? And (iii) Does the present scenario of higher financial value persist if, for maintaining ecological sustainability, we conserve or replace the nutrients exported during harvest? We simulated different types of harvest and crop residue treatments in plantations of Eucalyptus grandis of 8 and 11 years old. Nutrient export in different scenarios was quantified and ecological stability indices -Plantation Stability Index (PEI)-, and financial indices Present Net Worth, Soil Expectation Value and Internal Rate of Return - were analyzed considering the cost of nitrogen replacement. The scenario of total harvest and residue burning gave losses of 491 and 369 kgN.ha<sup>-1</sup> for 8 and 11 years rotation, respectively. PEI have shown that complete tree harvest and residue burning cause the highest ecological impact with index values superior to 2.5 (>0.5= instability); economic indices lowered when soil nutrients are recovered through fertilization inputs. Revenues reduction may affect the decision of planting commercial trees, alerting and stimulating to improve harvest practices at harvest and post-harvest stages.*

### RESUMEN

El efecto de la cosecha de productos forestales sobre la productividad edáfica ha adquirido singular atención últimamente. Por ello importa establecer indicadores cuantitativos, de impacto ambiental y económico, en las distintas etapas del manejo. La instalación de plantaciones forestales se decide principalmente por indicadores financieros; los costos elevados pueden modificar las decisiones de los inversionistas. Un indicador ecológico del manejo forestal sustentable consiste en mantener el capital de nutrientes edáfico como línea base para sostener la productividad; sostener esto puede elevar los costos. El objetivo consistió en responder: (i) ¿Cómo afecta cada uno de los escenarios de cosecha a la estabilidad nutritiva de las plantaciones? (ii) ¿Cual escenario alternativo resulta de mayor valor financiero actual? y (iii) ¿Perdura el escenario de mayor valor actual si, para mantener la sustentabilidad ecológica, se conservan o reponen los nutrientes exportados durante la cosecha? En plantaciones de Eucalyptus grandis de 8 y 11 años de edad se simularon distintos tipos de cosecha y tratamiento de los residuos. Se cuantificó la exportación de nutrientes en los diferentes escenarios y se analizaron indicadores de estabilidad ecológica como el Índice de Estabilidad de Plantaciones (IEP), y financieros como el Valor Terminal Neto, Valor Potencial del Suelo y Tasa Interna de Retorno considerando el costo de reposición de nitrógeno. El escenario de cosecha total y quema de residuos arrojó pérdidas de 491 y 369 kgN.ha<sup>-1</sup> para turnos de 8 y 11 años respectivamente. El IEP demostró que la cosecha del árbol completo y quema de residuos provocan el mayor impacto ecológico con valores superiores a 2.5 (>0.5= inestabilidad); los indicadores económicos se redujeron con la compensación de nutrientes al suelo. Esta reducción puede afectar la decisión de concretar plantaciones comerciales, lo cual debería alertar y estimular a mejorar las practicas de cosecha y poscosecha.

Recibido 10 de junio de 2008. Aceptado el 29 de Diciembre de 2008.

<sup>a</sup> Laboratorio de Investigación en Sistemas Ecológicos y Ambientales (LISEA), Universidad Nacional de La Plata, CC 31, Diagonal 113 N° 469, 1900 La Plata, Argentina.

<sup>b</sup> E-mail: [jgoya@agro.unlp.edu.ar](mailto:jgoya@agro.unlp.edu.ar) <sup>c</sup> E-mail: [jfrangi@agro.unlp.edu.ar](mailto:jfrangi@agro.unlp.edu.ar)

<sup>d</sup> Facultad de Ciencias Agrarias y Forestales, Universidad Nacional de La Plata, CC 31, Diagonal 113 N° 469, 1900 La Plata, Argentina. E-mail: [gdenegri@agro.unlp.edu.ar](mailto:gdenegri@agro.unlp.edu.ar)

<sup>e</sup> Antes Instituto Nacional de Tecnología Agropecuaria (INTA), EEA Concordia, Entre Rios, Argentina. Actualmente asesor independiente. E-mail: [flarocca@concordia.com.ar](mailto:flarocca@concordia.com.ar)

\*Autor para correspondencia: +54 221 427 1442. E-mail: [jgoya@agro.unlp.edu.ar](mailto:jgoya@agro.unlp.edu.ar)

## INTRODUCCIÓN

El efecto de la cosecha de productos forestales sobre la productividad de los suelos en rotaciones sucesivas ha adquirido una singular atención en los últimos años (Hopmans *et al.*, 1993; Gonçalves *et al.*, 1997; Wei *et al.*, 2000). En especial, resulta de importancia establecer indicadores cuantitativos de impacto ambiental y económico de las distintas etapas del manejo forestal. Ello permitiría evaluar y predecir las consecuencias de distintos tratamientos sobre la productividad y rendimiento de rotaciones futuras, y la selección y mejora de las técnicas en vista a aumentar la sustentabilidad de la actividad silvícola. Según el tipo de cosecha, esta etapa puede provocar una disminución de la productividad cercana al 20% en cada ciclo de sucesivas rotaciones (Wei *et al.*, 2000). Asimismo se sabe que las prácticas de post-cosecha, tales como el apilado en escolleras y quema de residuos, causa la pérdida de materia orgánica y de nutrientes, en particular nitrógeno (Flinn *et al.*, 1980; Carlyle *et al.*, 1998). En Argentina, existen unas 350.000 ha plantadas con eucaliptos, de los cuales *Eucalyptus grandis* (Hill ex Maiden) es la especie principal con el 70 % de su superficie localizada en la Mesopotamia (SAGPyA, 2001).

El uso forestal continuo puede reducir la calidad del sitio y disminuir la productividad, principalmente en suelos arenosos, debido a la exportación de nutrientes provocada por el aprovechamiento (Gonçalves *et al.*, 1997) y turnos de corta menores a la rotación ecológica (Kimmins, 1974). La implementación de prácticas de silvicultura sostenible requiere, por tanto, conocer el destino de los nutrientes en la plantación y los efectos extractivos de la cosecha (Mackensen & Folster, 2000; Nzila *et al.*, 2002). Por otro lado las plantaciones comerciales se

guían, principalmente por los indicadores financieros que resultan del desarrollo del proyecto; la presencia de costos elevados, mas allá de los indicados por la viabilidad económica, pueden modificar las decisiones empresariales. El mantenimiento de la productividad en su dimensión ecológica, tal como mantener el capital de nutrientes del suelo, puede elevar los costos a niveles que ninguna plantación comercial pueda asumir (Mackensen & Fölster, 2000).

El objetivo de este trabajo consistió en responder las siguientes preguntas: (i) ¿De que manera afecta cada uno de los diferentes escenarios de cosecha a la estabilidad nutritiva de las plantaciones? (ii) ¿Cual de todas las alternativas resulta la de mayor valor financiero actual? y (iii) ¿Perdura el escenario de mayor valor actual si, para mantener la sustentabilidad ecológica, se conservan o recuperan los nutrientes exportados durante la cosecha?

## MATERIALES Y MÉTODOS

### Área de estudio

El estudio se realizó en las inmediaciones de la ciudad de Concordia, provincia de Entre Ríos (31° 23' S, 58° 02' W). Para la década 1981-1990, la temperatura media anual fue de 18.9 °C, con mínima y máxima absolutas de -4.8 °C y 40.5 °C, respectivamente. La precipitación media anual alcanzó 1307.8 mm, y la época más lluviosa incluye febrero a abril, y el mes de noviembre (SMN, 1992).

Las plantaciones estudiadas se encuentran sobre suelos arenosos, pertenecientes al orden *Entisol*, suborden *fluventes*. Tienen un contenido de materia orgánica de 0.3 a 0.6 %, y una capacidad de intercambio catiónico de 1 a 3 cmol(+).kg<sup>-1</sup> de suelo, con una saturación de bases de 30 al 50 %. Muy permeables y drenados, rápidamente manifiestan las condiciones de sequía. Los materiales arenosos rojizos yacen sobre sedimentos franco arcillosos a arcillo

arenosos. Estos materiales son de permeabilidad más lenta con mayor retención del agua. Poseen una profundidad menor a 100 cm. Dichos suelos se hallan en las lomas y medias lomas de las terrazas del Río Uruguay en un paisaje ondulado con pendientes de 5 a 8 % (Tasi & Bourband, 1990)

#### Parcelas

El estudio se realizó en dos plantaciones de *E. grandis* de procedencia sudafricana, una de 8 y otra de 11 años de edad. En cada plantación se instalaron 3 parcelas de 0,09 ha con una densidad de plantación de 1100 pl.ha<sup>-1</sup>. Todas las plantaciones han recibido similares tratamientos culturales. En cada parcela se midió el DAP (diámetro a la altura del pecho a 1.30 m) con cinta diamétrica y las alturas de todos los individuos con clinómetro óptico.

#### Peso de árboles y biomasa aérea

El peso de los árboles y biomasa se obtuvo mediante la aplicación de ecuaciones de regresión ajustadas para la especie (Goya et al., 1997, 2001) (Tabla 1).

#### Muestreo de suelos

La necromasa del mantillo (incluye hojas, fragmentos de corteza, frutos, y ramas hasta 1 cm de diámetro) fue estimada a partir un muestreo de las capas L+F, a fines de verano. En cada parcela se tomaron al azar 10 x 0,25 m<sup>2</sup> muestras (n=30). Para los horizontes minerales se tomaron muestras compuestas por edad y por profundidad para los rangos 0-20, 20-40 y 40-100 cm (n=3 para cada profundidad y edad). También se tomaron igual número de muestras cilíndricas verticales de suelo (354 cm<sup>3</sup>) a las mismas profundidades para determinar la densidad aparente.

#### Análisis químicos y contenido de nutrientes

Una alícuota de cada uno de los compartimentos de la biomasa de 5 árboles seleccionados en función de las distribuciones diamétricas para cada edad (un total de 10 árboles), fue analizada químicamente para obtener las concentraciones de los macronutrientes (N, P, K, Ca y Mg). Idéntico procedimiento

Compartimiento	Ecuación A	b	R <sup>2</sup>	E	p	
	(*)					
Fuste con corteza	(1)	5.061	1.060	0.99	1.2	< 0.05
Hojas (Fase III)	(4)	-7.720	3.128	0.97	1.6	< 0.05
Hojas (Fase IV)	(4)	-5.324	2.189	0.86	1.5	< 0.05
Ramas < 5 cm	(4)	-2.047	1.508	0.78	1.4	
Ramas del año Fase III	(3)	-1.498	0.241	0.77	---	< 0.05
Ramas del año Fase IV	(2)	0.223	0.822	0.80	---	< 0.05

**Tabla 1.** Modelos de regresión para estimar la biomasa de árboles de *Eucalyptus grandis* en el NE de Entre Ríos, Argentina. P= peso del compartimiento (kg); ecuaciones 1 y 2: DAP(m); ecuaciones 3 y 4: DAP (cm); H: altura total (m). E: error relativo (Whittaker & Woodwell, 1968).

(\*) (1)  $\ln P = a + b \times \ln DAP^2 H$ ; (2)  $P = a + b \times DAP^2 H$ ; (3)  $P = a + b \times DAP$ ; (4)  $\ln P = a + b \times \ln DAP$ .

**Table 1.** Regression models to estimate biomass of *Eucalyptus grandis* trees in NE of Entre Ríos, Argentina. P= compartment weight (kg); equations 1 and 2: DAP (m); equations 3 and 4: DAP (cm); H: total height (m). E: relative error (Whittaker & Woodwell, 1968). (\*) (1)  $\ln P = a + b \times \ln DAP^2 H$ ; (2)  $P = a + b \times DAP^2 H$ ; (3)  $P = a + b \times DAP$ ; (4)  $\ln P = a + b \times \ln DAP$ .

se realizó con los compartimentos del mantillo de cada muestra tomada. Las alícuotas de origen vegetal fueron secadas en estufa a 70 °C hasta peso constante, molidas con molino tipo Wiley, tamizadas con malla 20 y digeridas en medio ácido ( $\text{HNO}_3$  conc. y  $\text{H}_2\text{O}_2$  al 30 %) (Luh Huang & Schulte, 1985). Las muestras de suelo fueron secadas al aire y tamizadas con malla de 2 mm antes de ser analizadas químicamente. El Ca y Mg disponibles del suelo fueron extraídos con KCl 1 N empleando un extractor mecánico de vacío Centurion-Model 24. Para el P y K intercambiable se empleó el método de Olsen EDTA ( $\text{NH}_4\text{NaHCO}_3$ ) (Hunter, 1982). La concentración de P, K, Ca y Mg en las soluciones fueron determinados con un espectrómetro de emisión de plasma Beckman Spectra-Span V. La concentración de C, y N totales se analizó mediante el método de combustión seca (LECO, 1993), usando un LECO CNS-2000, según recomendaciones de Tabatabai & Bremner (1991). El N disponible se estimó como el 3 % del N total como valor medio entre 1 y 5 % (Fisher & Binkley, 2000). También se calculó la CIC, y el porcentaje de saturación de bases considerando los cationes Ca, Mg, Na y K. El pH del suelo fue determinado en una mezcla 1:1 (suelo: agua; suelo: KCl 1 N) usando un Orion Ionalyzer Model 901 con electrodo de combinación. La precisión de los análisis químicos fue obtenida incluyendo muestras de composición química conocida cada 40 determinaciones. El material vegetal de control consistió de hojas de pino, duraznero y cítricos del USA National Institute of Standard Technology.

Las mineralomasas parciales se calcularon multiplicando las concentraciones medias de cada elemento por la biomasa del compartimento correspondiente, sumándolas posteriormente para obtener la mineralomasa en la biomasa aérea. De manera similar se obtuvo la mineralomasa del mantillo. El contenido de nutrientes disponibles ( $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) en el perfil del suelo hasta 1 m de profundidad fue estimado sumando el producto de la concentración

de nutrientes por la densidad aparente y por el volumen de cada espesor edáfico.

#### Escenarios de cosecha post-cosecha y estabilidad nutritiva

Se consideraron tres escenarios de cosecha post-cosecha: (1) Cosecha de productos comerciales (fustes hasta 5 cm con corteza) y posterior conservación de los residuos de la cosecha, (2) Cosecha de los árboles completos, comercialización de los productos maderables y retirada de los residuos producido por la cosecha y, (3) Cosecha de productos comerciales (fustes hasta 5 cm con corteza) y quema *in situ* de los residuos de la cosecha. En este caso se consideró que la quema produce una eliminación de los nutrientes diferentes en función de su volatilidad, 88 % para N, 33 % P, 30 % K, 47 % Ca y 43 % Mg (Maluf, 1991). El mantillo (piso forestal remanente del rodal cosechado) en el escenario 3 fue considerado parte de los residuos de la plantación y por ende, sujeto al destino de los mismos. Las consecuencias de los tres tipos de cosecha - post-cosecha simulados se evaluaron comparando la cantidad de nutrientes exportados con la cosecha y su magnitud relativa respecto a la reserva de nutrientes en el suelo. Para ello se calculó el Índice de Estabilidad de las Plantaciones (IEP) (Fölster & Khanna, 1997) como el cociente entre los nutrientes exportados y los nutrientes disponibles del suelo hasta 100 cm de profundidad excluyendo el mantillo. Mayores valores de este índice significan menor estabilidad nutritiva de la plantación a largo plazo en relación a la exportación de nutrientes que se efectúa con la cosecha (Fölster & Khanna, 1997). Las comparaciones de remoción de nutrientes e índice de estabilidad entre escenarios fueron realizadas mediante ANOVA y prueba de Tukey con  $p=95\%$ . La homogeneidad de varianzas se determinó mediante la prueba de Levene (Sokal & Rohlf, 1979).

#### Evaluación de indicadores financieros

Se analizaron dos turnos de cosecha 8 años

( $T_1$ ) y 11 años ( $T_2$ ). Para realizar las comparaciones entre la rentabilidad de los diferentes turnos se utilizaron dos indicadores financieros: (a) el Valor Terminal Neto (VTN), ecuaciones (1) y (2), que considera un solo ciclo de producción y, (b) el Valor Potencial del Suelo (VPS), ecuaciones (3) y (4), basado en el principio de perpetuidad (Alonso & Etchegoyen, 1976; Davis & Johnson, 1987). Para cada turno se elaboró un flujo de caja tomando en cuenta un modelo productivo característico de la zona, representado por

tareas de preparación del terreno, plantación, cuidados y cosecha.

Siendo:

$T_1$  = turno de 8 años;  $T_2$  = turno de 11 años;  $Pr$  = valor residual de la madera en pie;  $V$  = Volumen comercial;  $C$  = costos de forestación;  $F$  = costos de reposición de los nutrientes mediante fertilización;  $g$  = gastos anuales;  $vtA$  = valor terminal total de los gastos anuales;  $e$  = base de logaritmos naturales;  $i$  = tasa de descuento anual;  $r$  = tasa de descuento instantánea  $r = \ln(1+i)$

#### Diferencia de Valor Terminal Neto

$$VTN_1 = [(Pr.V_1F) \exp r(t_0-t_1)]C.\exp r(t_0)vtA_1 \quad (1)$$

$$VTN_0 = Pr.V_0.\exp r(t_0)C.\exp r(t_0)vtA_0 \quad (2)$$

$$VTN_1-VTN_0 = [(Pr.V_1F) \exp r(t_0-t_1)]-Pr.V_0.\exp r(t_0)+vtA_0-vtA_1$$

#### Diferencia de Valor Potencial del Suelo

$$VPS_1 = [(Pr.V_1-C.\exp rt_1)/( \exp rt_1,1)](g/i) \quad (3)$$

$$VPS_0 = [(Pr.V_0-C.\exp rt_0)/( \exp rt_0,1)](g/i) \quad (4)$$

$$VPS_{T_2}-VPS_{T_1} = [(Pr.V_1-C.\exp rt_1)/( \exp rt_1,1)]-[Pr.V_0-C.\exp rt_0/( \exp rt_0,1)]$$

La comparación entre los años  $T_1$  y  $T_2$  se realizó por la diferencia entre los indicadores financieros (Dasgupta & Pearce, 1972; Whittock *et al.*, 2004). Para valorar la exportación de nutrientes por la cosecha, se consideró el costo de su reposición al suelo a través de la práctica de fertilización. Se seleccionó el escenario y nutriente que presentó diferencias significativas en la exportación entre  $T_1$  y  $T_2$ . Adicionalmente se determinó la Tasa Interna de Retorno (TIR) como indicador de la rentabilidad de los escenarios (Whittock *et al.*, 2004).

Como criterio de aceptación se consideró la siguiente regla: si la diferencia es negativa, se opta por el turno  $T_2$ , si es positiva conviene el turno  $T_1$ . No se consideró la regeneración del rodal mediante rebrote; la práctica supuesta fue cosecha y futura replantación. Por último se realizó un análisis de sensibilidad de las principales variables del sistema.

#### Datos económicos

Se trabajó con valores promedio de costos para

la región (Vera & Larocca, 2005). Asimismo se emplearon rendimientos promedio para distintas calidades de sitio para *E. grandis* (Glade, 1999). Los valores utilizados para los cálculos fueron los siguientes:

$$r = 8.5\%; P = 34 \text{ \$} \cdot \text{m}^3; V: V_{T_1} = 180 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \text{ y } V_{T_2} = 240 \text{ m}^3 \cdot \text{ha}^{-1}.$$

$C$  ( $\text{\$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) para los 3 primeros años fueron: año 0 = 780; año 1 = 820; año 2 = 205, que se actualizaron al año 0. Costo total 1709  $\text{\$} \cdot \text{ha}^{-1}$

$F$ : se calculó la aplicación de nitrógeno en forma manual, una vez realizado el aprovechamiento. Se consideró la reposición de N mediante la aplicación de Urea (46% de N) con una eficiencia del 70 % en la absorción del N (Arora & Juo, 1982). Se descartó el análisis de K, Ca y Mg debido a que su incorporación como fertilizante no constituye una práctica corriente.

$$g: \text{ se tomó } 56 \text{ \$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}; \text{ entonces } vtA_0 = 0, vtA_1 = 350 \text{ \$} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$$

Se realizaron análisis de sensibilidad mediante la utilización de las variables: tasa de descuento (%), crecimiento medio ( $\text{m}^3 \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1}$ ) y valores extremos de extracción de nutrientes.

## RESULTADOS

### Suelos

Los suelos presentan valores de MO, N y CIC propios de suelos de baja fertilidad, con excepción del P cuyos valores se encuentran por encima de los valores considerados deficientes (Neves *et al.*, 1992) (Tabla 2).

Profundidad (cm)	Ca	Na	Mg	P	Fe	Mn	K	CIC	C	MO	N	C/N	pH
	-----mg/g-----							cmol(+)/kg	(%)	(%)	(%)		(KCl)
0-10	0.021	0.005	0.056	0.015	0.164	0.08	0.129	2.28	0.8	1.38	0.05	16	3.8
	0.028	0.002	0.018	0.014	0.058	0.028	0.06	1.29	0.27	0.46	0.01	27	4.0
20-40	0.042	0.005	0.065	0.01	0.109	0.052	0.079	1.42	0.7	1.20	0.03	23	4.0
	0.032	0.002	0.012	0.011	0.049	0.028	0.06	1.3	0.22	0.38	0.01	22	4.0
40-100	0.068	0.006	0.099	0.006	0.109	0.052	0.096	1.75	0.007	0.12	0.001	70	4.2
	0.08	0.002	0.019	0.007	0.046	0.027	0.051	1.14	0.012	0.02	0.004	3	4.0

**Tabla 2.** Contenidos de nutrientes de los suelos de las plantaciones de *Eucalyptus grandis* estudiadas.

**Table 2.** Nutrient content in soils of studied plantations of *Eucalyptus grandis*.

### Biomasa

La biomasa total de estas plantaciones, fue de 154 y 182 Mg.ha<sup>-1</sup>, para los sitios con edades T1 y T2 respectivamente (Tabla 3). Las hojas constituyen el 3.1 y 1.8 % del total de la biomasa de los sitios T1 y T2, respectivamente.

### Concentración de nutrientes y contenido mineral

La mineralomasa aérea por compartimento y total, a los 8 y 11 años de edad, se indican en la Tabla 4.

Para ambas edades la secuencia decreciente de las mineralomasas totales fue C >> Ca > N > K > Mg > P; en T2 sin embargo la diferencia de mineralomasa entre Ca y N fue muy notoria. En ambas edades, T1 y T2, el fuste, las hojas y la

corteza constituyeron, en ese orden los principales almacenajes de N; para P, K y Mg el orden decreciente de mineralomasa es fuste, corteza y hojas y, para el Ca, el principal almacenamiento fue la corteza (Tablas 4 y 5). El contenido de C en la biomasa aérea, mostró un aumento con la edad del orden del 20 % en tres años respecto del peso en T1. Sin embargo la mineralomasa aumentó sólo para el Ca, P y Mg en distintas proporciones comparadas con el aumento de C; para el Ca fue el 57 %, el P un 28 % y Mg el 11 % respecto del contenido de esos elementos en T1. Las mineralomasas aéreas de N y K decrecieron respecto de su contenido en T1; a los 11 años (T2) solo contuvieron el 62 % de N y 60 % del K en T1.

El almacenaje total aéreo de nutrientes en la mineralomasa (Tabla 4) y el mantillo (Tabla 5) que puede verse afectado por

Compartimiento	turno	C	N	P	K	Ca	Mg
Hojas	T1	564.78a (0.71)	18.74a (0.15)	1.20a (0.02)	7.12a (0.13)	14.61a (0.46)	2.67a (0.05)
	T2	424.27b (3.30)	14.76b (0.03)	1.21a (0.02)	7.94a (0.98)	14.36a (0.18)	3.25b (0.19)
Ramas <1cm	T1	529.25 (4.74)	4.00a (0.01)	0.65a (0.03)	4.13a (0.17)	8.58a (0.43)	1.17a (0.06)
	T2	523.12 (3.18)	3.6a (0.1)	0.44b (0.02)	3.49a (0.37)	9.17a (0.36)	1.24a (0.07)
Ramas 1-5cm	T1	528.16 (1.42)	2.68a (0.07)	0.34a (0.02)	2.17a (0.16)	5.09a (0.39)	0.86a (0.05)
	T2	526.08 (1.26)	1.03b (0.05)	0.08b (0.01)	1.44b (0.08)	1.37b (0.03)	0.29b (0.00)
Corteza	T1	488.75a (1.23)	4.35a (0.10)	0.96a (0.10)	5.30a (0.16)	22.00a (0.61)	1.45a (0.03)
	T2	488.15a (2.09)	2.98b (0.06)	0.66b (0.01)	5.04a (0.30)	29.58a (3.93)	1.90b (0.05)
Fuste sin corteza	T1	530.14a (4.15)	1.94a (0.19)	0.13a (0.01)	0.96a (0.03)	0.96a (0.05)	0.16a (0.01)
	T2	475.95b (1.95)	0.95b (0.05)	0.18b (0.01)	0.20b (0.02)	1.54b (0.07)	0.18a (0.01)

**Tabla 3.** Concentración de nutrientes ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) media ( $n=3$ ) y error estándar (entre paréntesis) en compartimientos de la biomasa de *Eucalyptus grandis* en el NE de Entre Ríos, Argentina.

**Table 3.** Nutrient concentration ( $\text{mg.g}^{-1}$ ) mean ( $n=3$ ) and standard error (between brackets) in biomass compartments of *Eucalyptus grandis* in NE Entre Ríos, Argentina.

Compartimiento	Turno	Biomasa	C	N	P	K	Ca	Mg
Hojas	T1	4.7	2.3	86.7	6.2	37.1	76.1	13.9
		(0.7)		(12.5)	(1.0)	(5.7)	(11.6)	(2.1)
	T2	3.3	1.6	48.4	4.0	26.1	47.1	10.7
		(0.32)		(4.8)	(0.4)	(2.6)	(4.7)	(1.1)
Ramas < 1cm	T1	2.6	1.3	10.4	1.7	7.5	19.6	7.6
		(0.3)		(1.2)	(0.1)	(1.1)	(3.0)	(0.4)
	T2	2.2	1.1	7.7	0.9	0.9	19.7	2.7
		(0.3)		(1.2)	(0.1)	(0.1)	(3.0)	(0.4)
Ramas 1-5 cm	T1	9.6	4.8	25.6	3.2	20.7	48.7	8.2
		(0.7)		(1.8)	(0.2)	(1.4)	(3.4)	(0.6)
	T2	10.2	5.1	15.8	2.6	25.9	90.9	7.5
		(1.0)		(6.2)	(1.6)	(10.3)	(80.1)	(4.6)
Corteza	T1	8.8	4.4	38.3	8.5	46.6	193.4	12.8
		(1.1)		(5.0)	(1.1)	(6.0)	(25.1)	(1.7)
	T2	10.9	5.5	33.2	7.2	54.8	321.8	20.7
		(1.2)		(3.6)	(0.8)	(6.0)	(35.1)	(2.3)
Fuste sin corteza	T1	125.6	62.8	248.1	16.4	120.5	120.6	20.4
		(16.3)		(29.6)	(2.1)	(15.6)	(15.6)	(2.6)
	T2	155.4	77.7	147.6	27.3	31.6	238.7	28.2
		(17.0)		(16.1)	(3.0)	(3.4)	(26.1)	(3.1)
Total	T1	151.3	75.7	409.2	36.0	233.5	458.4	62.8
	T2	181.9	91.0	252.7	42.0	145.9	718.3	69.8

**Tabla 4.** Biomasa y mineralomasa de plantaciones de *Eucalyptus grandis* de dos edades diferentes en el NE de Entre Ríos, Argentina.

**Table 4.** Biomass and mineralmass of *Eucalyptus grandis* plantations of two different ages in NE Entre Ríos, Argentina.

prácticas de cosecha y post-cosecha fue para *T1* de 86 Mg C.ha<sup>-1</sup> y, para los demás elementos fue de 494 (N), 42 (P), 258 (K), 656 (Ca) y 84 (Mg) kg.ha<sup>-1</sup>; para *T2* estos valores fueron 105 Mg C.ha<sup>-1</sup> y, para los demás elementos, en kg.ha<sup>-1</sup>, fue 372 (N), 55 (P), 188 (K), 966 (Ca) y 102 (Mg).

Al considerar la totalidad de la masa de C en la biomasa y el mantillo se observa que el incremento con la edad de la plantación fue del 22 % en el *T2* respecto al valor en *T1*. El mayor aumento relativo fue de Ca con 47 %; el de P resultó ser 31 % y el de Mg de 21 %, en ambos casos mayor en *T2* que en *T1*. Los decrecimientos de los depósitos de N y K fueron nuevamente notorios ya que sólo consistieron del 75 % y 73 % de los valores en *T1*, respectivamente.

Las diferencias, entre *T2* y *T1*, son visiblemente menores en N, K y Mg para la suma de compartimientos respecto de aquella exclusiva en la mineralomasa aérea. Para el caso del N esto sugiere que puede estar ocurriendo inmovilización microbiana en el mantillo.

Escenarios de cosecha y post-cosecha: remoción de nutrientes

La remoción no presentó interacción para ninguno de los nutrientes analizados ( $F_{(2,21)}$ ;  $p > 0.05$ ) entre los diferentes escenarios y los turnos de cosecha. Las diferencias significativas ( $p < 0.05$ ) se presentaron entre tratamientos de un mismo turno y entre turnos para todos los escenarios (Tabla 6). Para el caso del turno *T1* el

Turno	MS	C	N	P	K	Ca	Mg	C/N
<i>T1</i>	21.6	10.4	85.0	3.7	24.9	197.5	21.3	122
<i>T2</i>	27.9	14.0	119.2	6.0	48.2	247.7	32.1	118

**Tabla 5.** Media de Necromasa (Mg.ha<sup>-1</sup>) y contenido de nutrientes (kg.ha<sup>-1</sup>) del mantillo de plantaciones de *Eucalyptus grandis* de 8 (*T1*) y 11 (*T2*) años de edad en el NE de Entre Ríos, Argentina.

**Table 5.** Litter necromass (Mg.ha<sup>-1</sup>) and nutrient content (kg.ha<sup>-1</sup>) mean in plantations of *Eucalyptus grandis* of 8 (*T1*) and 11 (*T2*) years old, in NE Entre Ríos, Argentina.

escenario 3 fue el de mayor exportación para N, Ca y Mg (Tukey,  $p < 0.05$ ) y significó una exportación de 491.1, 630.2 y 79.5 kg.ha<sup>-1</sup> respectivamente. Para los nutrientes P y K no se registraron diferencias significativas entre tratamientos (Tukey,  $p > 0.05$ ).

Para el turno *T2* el patrón de remoción fue con un mayor nivel de exportación (Tukey,  $p < 0.05$ ) para el escenario 3 en los nutrientes N (368.9 kg.ha<sup>-1</sup>), K (175.4 kg.ha<sup>-1</sup>), Ca (911.8 kg.ha<sup>-1</sup>) y Mg (97.2 kg.ha<sup>-1</sup>); no se registraron diferencias

significativas (Tukey,  $p > 0.05$ ) para la remoción de P en los tres escenarios.

Analizando la exportación de cada nutriente para los diferentes escenarios se observó que para el N, los escenarios 1 y 3 no presentaron diferencias (Tukey,  $p > 0.05$ ) entre turnos; para el escenario 2 el turno *T1* fue el de mayor exportación (Tukey,  $p < 0.05$ ).

La exportación de P no presentó diferencias significativas para ninguna de las situaciones analizadas (Tukey,  $p > 0.05$ ).

## Comparación entre escenarios para cada turno

Turno	Escenario	Remoción (kg.ha <sup>-1</sup> )				
		N	P	K	Ca	Mg
T1	1	286.4 <sup>a</sup>	24.8 <sup>a</sup>	167.1 <sup>a</sup>	314.1 <sup>a</sup>	33.2 <sup>a</sup>
	2	409.2 <sup>a</sup>	38.0 <sup>a</sup>	233.5 <sup>a</sup>	458.4 <sup>a</sup>	62.8 <sup>b</sup>
	3	491.1 <sup>b</sup>	39.6 <sup>a</sup>	243.9 <sup>a</sup>	63.2 <sup>b</sup>	79.5 <sup>b</sup>
T2	1	181.3 <sup>a</sup>	34.6 <sup>a</sup>	86.6 <sup>a</sup>	562.1 <sup>a</sup>	49.0 <sup>a</sup>
	2	251.4 <sup>a</sup>	41.7 <sup>a</sup>	143.8 <sup>a</sup>	703.6 <sup>a</sup>	68.9 <sup>a</sup>
	3	368.9 <sup>b</sup>	46.2 <sup>a</sup>	175.4 <sup>b</sup>	911.8 <sup>b</sup>	97.2 <sup>b</sup>

**Tabla 6.** Remoción de nutrientes relacionada a tres escenarios de cosecha y dos turnos de corta en plantaciones de *Eucalyptus grandis*. Letras diferentes indican diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

**Table 6.** Nutrient export under three harvest scenarios and two rotation periods of *Eucalyptus grandis* plantations. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

El K presentó un patrón diferente según el turno y tratamiento. En el turno T1 no se observaron diferencias significativas entre escenarios (Tukey,  $p > 0.05$ ). Para el caso de T2 la mayor exportación se produjo en el escenario 3 (Tukey,  $p < 0.05$ ) con un valor de 175.4 kg.ha<sup>-1</sup>. Ahora comparando ambos turnos la mayor exportación ocurrió en el T1 con los escenarios 2 y 3 (Tukey,  $p < 0.05$ ).

Los nutrientes Ca y Mg presentaron similares patrones de exportación y sus mayores valores fueron 911.8 kg Ca.ha<sup>-1</sup>, y 97.2 kg Mg.ha<sup>-1</sup> con T2 mediante el escenario 3.

Escenarios de cosecha y post-cosecha: índice de estabilidad

El escenario de cosecha 3 es el que mayor impacto produjo sobre el IEP, principalmente sobre el N y Ca. En todos los

escenarios y turnos de cosecha el IEP para el N indicó una elevada inestabilidad pero con mayor valor en el T1, en donde se obtuvo un valor pico del índice de 2.74 comparado con 1.77 para el mismo escenario pero en el T2. El P y el K son nutrientes que se mantuvieron estables para todas las situaciones (Tabla 7). En segundo orden de inestabilidad se encontró al Ca, principalmente en el escenario 3 del T2.

Escenarios de cosecha y post-cosecha: rentabilidad

Los valores de VTN y VPS, al tener signo negativo, mostraron que el turno T2 es más conveniente desde el punto de vista financiero que el turno T1 (Tabla 8). Asimismo al considerar el indicador TIR sin mediar reposición de nutrientes, el turno T1 resultó el más eficiente, con mayor rentabilidad. Estos indicadores mostraron

Turno	Escenario	IEP									
		N	P	K	Ca	Mg					
T1	1	1.60	a	0.17	a	0.10	a	0.34	a	0.02	a
	2	2.28	a	0.27	a	0.14	a	0.49	a	0.04	a
	3	2.74	b	0.28	a	0.15	a	0.68	a	0.06	a
T2	1	0.87	a	0.34	a	0.14	a	0.70	- a	0.23	a
	2	1.21	a	0.41	a	0.23	b	0.88-	a	0.32	b
	3	1.77	b	0.46	a	0.28	b	1.14	-- b	0.45	c

**Tabla 7.** Índice de estabilidad de plantaciones (IEP) de *Eucalyptus grandis* en relación a los diferentes turnos y escenarios de cosecha. Letras diferentes representan diferencias significativas ( $p < 0.05$ ).

**Table 7.** Plantation Stability Index (IEP) of *Eucalyptus grandis* for different harvest rotation periods and harvest scenarios. Different letters indicate significant differences ( $p < 0.05$ ).

la situación inversa al considerar los costos de reposición de los nutrientes mediante fertilización (Tabla 8).

El análisis de sensibilidad determinó que cuando se incrementa la tasa de descuento

(Tabla 9), como es de esperar, la no contabilización de los costos de la reposición de los nutrientes extraídos favorece la elección del turno inferior T1, pero su inclusión invierte el resultado, aún a tasas mayores.

Indicador	Con fertilización	Sin fertilización
VTN (\$·ha <sup>-1</sup> )	- 3.143.4	- 434.4
VPS (\$·ha <sup>-1</sup> )	- 709.6	- 321.8
TIR T1 (%)	4.5	13.0
TIR T2 (%)	8.5	12.7

**Tabla 8.** Indicadores financieros Valor Terminal Neto (VTN), Valor Potencial del Suelo (VPS) y Tasa Interna de Retorno (TIR) para los tunos T1 y T2 considerando la reposición o no de nutrientes exportados.

**Table 8.** Financial indicators Present Net Worth (VTN), Soil Expectation Value (VPS) and Internal Rate of Return (TIR) for rotation periods T1 and T2 with and without replacement of exported nutrients.exportados.

Indicador /tasa	Con fertilización			Sin fertilización		
	10%	12.5%	15%	10%	12.5%	15%
<i>VTN</i> (\$.ha <sup>-1</sup> )	-2957.41	-2635.94	-2299.85	-171.42	283.06	758.20
<i>VPS</i> (\$.ha <sup>-1</sup> )	-545.18	-338.22	-193.77	-184.75	-20.32	85.74

**Tabla 9.** Valores obtenidos en los indicadores financieros Valor Terminal Neto (*VTN*) y Valor Potencial del Suelo (*VPS*) como resultado del análisis de sensibilidad al cambio de tasa de descuento (*t*).

**Table 9.** Present Net Worth (*VTN*) and Soil Expectation Value (*VPS*) obtained through sensibility analysis of discount rate (*f*).

Este análisis de sensibilidad para la variación en el ingreso debido a un incremento en la producción de volumen (Tabla 10), muestra que los mayores volúmenes analizados no alcanzan para alterar el resultado inicial, contrariamente al comportamiento común de que un mayor ingreso lleve a una rotación menor.

Indicador	Con fertilización		Sin fertilización	
	25	30	25	30
Crecimiento medio (m <sup>3</sup> .ha <sup>-1</sup> .año <sup>-1</sup> )	25	30	25	30
<i>VTN</i> (\$.ha <sup>-1</sup> )	- 2.957.41	- 3.076.62	- 247.99	- 367.59
<i>VPS</i> (\$.ha <sup>-1</sup> )	- 633.58	- 682.33	- 245.76	- 294.51
<i>TIR T1</i> (%)	7.72	10.43	16.67	19.73
<i>TIR T2</i> (%)	10.41	12.43	14.73	16.89

**Tabla 10.** Valores obtenidos en los indicadores financieros Valor Terminal Neto (*VTN*), Valor Potencial del Suelo (*VPS*) como resultado del análisis de sensibilidad a cambios en el rendimiento de la plantación.

**Table 10.** Present Net Worth (*VTN*) and Soil Expectation Value (*VPS*) obtained through sensibility analysis of changes in plantation yield.

## DISCUSIÓN

Las plantaciones de *E. grandis* se caracterizan por su rápido crecimiento y por su alta acumulación de nutrientes en la biomasa. En el caso estudiado los contenidos de nutrientes son similares a los hallados por Gonçalves *et al.* (1999) en plantaciones de *E. grandis* establecidas sobre suelos del cerrado brasileño. Para los dos periodos de crecimiento considerados, el escenario 3 de cosecha produjo la mayor exportación de N y Ca. Esto se debe a que la eliminación total de los materiales produce el mayor impacto sobre el sistema dado que en el mantillo se encuentra una importante cantidad de materia orgánica y nutrientes; éstos son eliminados en cantidades variables con la quema de los residuos. La eliminación de materia orgánica tiene efectos significativos sobre la productividad de la plantación (Nzila *et al.*, 2002). En la comparación de las exportaciones de nutrientes se observa que para N y K el escenario 2 y el turno T1 se diferencia significativamente del turno T2 (Tabla 3). Esto se debe a dos causas principales, por un lado, la concentración y contenido de nutrientes en la biomasa foliar y fuste presentan valores diferentes según el compartimiento y la edad que se consideren, mayor acumulación a edades menores, con una concentración ponderada 100 % mayor en T1 que T2 tanto para N como para K. Por otro lado, el hecho de no eliminar el mantillo con la quema permite retener el N acumulado en este compartimiento que no es removido del sistema. El mantillo en el turno T2 posee un 29 y 48 % más de N y K que al momento T1 respectivamente. Se considera que una de las posibles limitantes del crecimiento en el futuro en estos suelos para *Eucalyptus* es el bajo contenido de N en el suelo (Goya, 2004); evidencia de ello puede ser la generalizada respuesta positiva en crecimiento a la fertilización con N (Dalla Tea & Marco, 1966; Nzila *et al.*, 2002). Para el caso del Ca la mayor exportación con diferencia significativa se observa en el escenario 3 y turno T2. Esto se explica en el

hecho de que el Ca es un nutriente de baja movilidad que se acumula en los tejidos con el desarrollo de la plantación.

La determinación del índice de estabilidad da una idea aproximada de la sustentabilidad ecológica de las plantaciones en un determinado tipo de suelo. Bajo los diferentes escenarios de cosecha, el N y Ca mostraron los valores más altos del IEP (menor estabilidad) siendo el P y K los nutrientes que manifiestan mayor estabilidad. La práctica de la extracción del fuste con corteza (escenario 1) es considerada la de menor impacto negativo dentro de la edad de corte T1, comparada con el escenario de mayor impacto (E3), lo cual implica en este último caso, un aumento de la inestabilidad de la plantación de 1.7 N, 1.6 P, 1.5 K, 2.0 Ca y 3.0 para Mg. Para el caso del T2 estas variaciones son del orden de 2.0 N, 1.4 P, 2.0 K, 1.6 Ca y 2.0 para Mg.

Tomando como umbral de estabilidad un IEP de 0.5 (>0.5 = inestable, <0.5 = estable, según Gerdin & Schlatter, 1999), los tratamientos analizados no afectarían la estabilidad para el P, K, y Mg. En cambio los tres escenarios provocan inestabilidad para los nutrientes N y Ca en T2 y solo el escenario 3, en T1 para el Ca.

En un primer análisis basado en la TIR, sin mediar reposición de nutrientes, el turno T1 aparece como el más eficiente, situación que se revierte cuando se contabiliza el costo de la fertilización. Por otro lado cuando se utilizan el VTN y el VPS, al tener signo negativo, muestran que T2 es más conveniente, pese a que se esperaría que, sin la reposición de nutrientes, la rotación corta fuera la situación deseada. Esto ya ha sido mencionado por Montgomery & Adams (1995) quienes propusieron que, al aumentar los costos de implantación, se incrementa la rotación necesaria para mantener una misma rentabilidad. Por otra parte si bien los dos indicadores tienen signo negativo, la diferencia en el valor absoluto del VPS frente al VTN es mucho

menor; esto es debido a la incidencia de las sucesivas rotaciones sobre el VPS, dado que, para un mismo período de tiempo, el régimen de *T1* posee mayor cantidad de cortas por lo tanto mayor ingreso por producción.

Mediante el análisis de sensibilidad se observó la importancia que tiene la compensación de N; a pesar de un aumento significativo en la tasa de descuento la opción elegible fue siempre la *T2*. El régimen donde hay menores costos de implantación y altas tasas de descuento es el único que favorece al menor turno *T1*. Para la situación sin reposición de N, el comportamiento de las variables es coincidente con la esperada asociación entre el aumento de la tasa y la disminución de la rotación.

La dosis de fertilizante actualmente utilizada en plantaciones de *Eucalyptus* es de 50 kg N (Dalla Tea & Marcó, 1996); esto representa menos del 20 % de los nutrientes necesarios para compensar la extracción realizada por la cosecha. La incidencia de esta compensación en el costo de plantación es del orden del 30 al 45 % del costo según el régimen sea *T2* o *T1*. La rentabilidad actual de estas plantaciones es del orden de una *TIR* media de 14 % (Vera & Larocca, 2005); al considerar la reposición de los nutrientes estos indicadores se ven afectados significativamente con una disminución del 66 % y 33 % para *T1* y *T2* respectivamente. Esta variación modifica la opción productiva por una alternativa más rentable si se considera la compensación. Estos costos son tan elevados que es poco probable que se asuman en una plantación comercial, por lo cual se debe pensar en mejorar las prácticas de manejo que tiendan a la conservación de los nutrientes (Mackensen & Fölster, 2000).

## CONCLUSIONES

De los diferentes escenarios de cosecha analizados se puede concluir que aquellos que dejan la mayor cantidad de materia orgánica y nutrientes en el sitio son los que menos afectan la estabilidad ecológica de las plantaciones, en este sentido el escenario de cosecha del fuste sin corteza y abandono de los residuos en el sitio representa la técnica mas apropiada para el aprovechamiento de las plantaciones de *Eucalyptus* instaladas sobre suelos arenosos.

Si se continúan con las prácticas de extracción del fuste con corteza, la quema de los residuos y no se reponen los nutrientes exportados, principalmente N, es previsible la aparición de deficiencias o afectación de la productividad en estas plantaciones a mediano plazo.

Los indicadores de rentabilidad comúnmente usados en la administración de estas plantaciones se ven reducidos significativamente con la consideración de la compensación de nutrientes al suelo; esta reducción puede afectar la decisión de desarrollo del proyecto de una plantación comercial lo que debería alertar y estimular a técnicos y productores a mejorar el manejo de la necromasa residual en las etapas de cosecha y postcosecha.

## AGRADECIMIENTOS

Trabajo realizado en el marco del Convenio de Cooperación de Largo Plazo entre la Universidad Nacional de La Plata y el Instituto Internacional de Dasonomía Tropical (IITF) del USDA Forest Service, Puerto Rico. Agradecemos a MJ Sánchez, E López y M Santiago por la realización de los análisis químicos. A la EEA INTA Concordia y su entonces director Ing Martín Marcó por el soporte local. Se efectuó con subsidios de la Academia Nacional de Agronomía y Veterinaria, y SECYT (PICT 10061). Presentado en el V Congreso de Medio Ambiente de la Asociación de Universidades Grupo Montevideo (AUGM), La Plata, Argentina, 9 al 11 de Octubre de 2007.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Alonso A & Etchegoyen R. 1976. *Análisis de la Rentabilidad de Inversiones en la Empresa Argentina*. Ediciones Macchi, Argentina: 166 p
- Arora Y & Juo AS. 1982. Leaching of fertilizer ion in a kaolinitic ultisol in the high rainfall tropics: leaching of nitrate in field plots under cropping and bare fallow. *Soil Science Society of America Journal*, 46: 1212-1218
- Carlyle JC, Bligh MW & Nambiar EKS. 1998. Woody residue management to reduce nitrogen and phosphorus leaching from sandy soil after clear-felling *Pinus radiata* plantations. *Canadian Journal Forest Research*, 28: 1222-1232
- Dalla Tea F & Marcó M. 1996. Fertilizers and eucalypt plantations in Argentina. En: Attiwill P & Adams M (ed) *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO Publishing, Melbourne, Australia: 327-333
- Dasgupta AK & Pearce DW. 1972. *CostBenefit Analysis: Theory and Practice*. MacMillan, NY, EEUU: 395 p
- Davis LS & Johnson KN. 1987. *Forest management*. Third edition. McGraw-Hill Book
- Company, New York: 790 p
- Fisher RF & Binkley D. 2000. *Ecology and Management of Forest Soils*. J Wiley & Sons Inc, NY, EEUU: 489 p
- Flinn DW, Squire RO & Farrell PW. 1980. The role of organic matter in the maintenance of productivity on sandy soils. *New Zealand Journal of Forestry*, 25: 229-236
- Fölster H & Khanna PK. 1997. Dynamics of nutrient supply in plantation soil. En: Nambiar EKS & Brown AG (ed) *Management of soil nutrients and water in tropical plantation forest*. CSIRO, Canberra, Australia: 339-378
- Gerdin V & JE Schlatter. 1999. Estabilidad nutritiva de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en cinco sitios característicos de la VIII Región. *Bosque*, Valdivia, Chile, 20 (2): 107-115
- Gonçalves JLM, Barros NF, Nambiar EKS & Novais RF. 1997. Soil and stand management for short-rotation plantations. En: Nambiar EKS & Brown AG (ed) *Management of soil nutrients and water in tropical plantation forest*. CSIRO, Canberra, Australia: 379-417
- Gonçalves JLM, Stape JL, Benedetti V & Fessel V. 1999. Reflexos do cultivo mínimo e intensivo do solo em sua fertilidade e nutrição mineral das arvores. *Simposio de Fertilização e Nutrição Florestal*. Piracicaba, SP, Brasil: 1-13
- Goya JF, Frangi JL & Dalla Tea F. 1997. Relación entre biomasa aérea, área foliar y tipos de suelos en plantaciones de *Eucalyptus grandis* del NE de Entre Ríos, Argentina. *Revista de la Facultad de Agronomía*, La Plata, Argentina, 102 (2): 11-21

- Goya J.F. & Frangi J.L. 2001. Ciclo de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* de distintas edades en el NE de la provincia de Entre Ríos. INTA-UNLP-SAPGYA. PIA N° 11/96. Informe Inédito: 60 p
- 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, Argentina: 10 p
- Hopmans P, Stewart HTL & Flinn DW. 1993. Impacts of harvesting on nutrients in eucalypt ecosystem in south-eastern Australia. *Forest Ecology and Management*, 59: 29-51
- Hunter AH. 1982. *International soil fertility evaluation and improvement: laboratory procedures*. Department of Soil Science, North Carolina State University, Raleigh, NC, EEUU.
- Kimmins JP. 1974. Sustained yield, timber mining, and the concept of ecological rotation; a British Columbian view. *The Forestry Chronicle*, 50: 27-31
- LECO. 1993. *Carbon, nitrogen, and sulfur in soil, rock, and similar materials*. LECO Corporation Technical Services Laboratory, St Joseph, MI, EEUU. Application Bulletin No. 203-601-246
- Luh Huang C & Schulte E. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*, 16: 943-958
- Mackensen J & H Folster. 2000. Cost-analysis for sustainable nutrient management of fast growing-tree plantations in East-Kalimantan, Indonesia. *Forest Ecology and Management*, 131: 239-253
- Maluf JLP. 1991. Efeito da queima, metodos de preparo do solo e da adubação no crescimento de *E. camaldulensis* em areia quartzosa. M Sc Tesis, Universidade Federal de Viçosa, SP, Brasil: 78 p
- Montgomery CA & Adams DM. 1995. Optimal timber management policies. En: Bromley D (ed) *Handbook of Environmental Economics*. Blackwell, Oxford, RU, 17: 379-404
- Neves JCL, JM Gomes & Novais RF. 1992. Fertilização mineral de mudas de Eucalipto. En: Barros NF & Novais RF (ed) *Relação solo-eucalipto*, Departamento de Solos, Centro de Ciências Agrárias, Universidade Federal de Viçosa, Brasil: 330 p
- Nzila JD, Boulet JP, Laclau JP & J Ranger. 2002. The effects of slash management on nutrient cycling and tree growth in *Eucalyptus* plantations in the Congo. *Forest Ecology and Management*, 171: 209-221
- 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

- SMN (Servicio Meteorológico Nacional). 1992. *Estadísticas Climatológicas 1981-1990*. Serie B, N° 37, 1ª edición. Fuerza Aérea Argentina, Comando de Regiones Aéreas, SMN, Buenos Aires. Argentina: 709 p
- Sokal RR & Rohlf FJU. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos de la investigación biológica*. H. Blume, Madrid, España: 832 p
- Tabatabai MA & Bremner JM. 1991. Automated instruments for determination of total carbon, nitrogen and sulfur in soils by combustion techniques. En: *Soil analysis, modern instrumental techniques*. Second edition. Marcel Dekker Inc, NY, EEUU: 261-286
- Tasi HA & Bourband J. 1990. Provincia de Entre Ríos Escala 1:500 000. En: Moscatelli G (Coord) *Atlas de Suelos de la República Argentina*. Secretaría de Agricultura, Ganadería y Pesca, INTA-CIRN, Buenos Aires, Argentina, I: 595-640
- Vera L. & Larocca F. 2005. *Comparación económica de alternativas de manejo de forestaciones de Eucalipto: con y sin podas y raleos*. XX Jornadas Forestales de Entre Ríos, Concordia, Octubre: VIII: 1-8
- Wei X, Liu W, Waterhouse J & Armleder M. 2000. Simulations on impacts on different management strategies on long-term site productivity in lodgepole pine forest of the central interior of British Columbia. *Forest Ecology and Management*, 133: 217-229
- Whittaker RH & G Woodwell G. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven Forest, New York. *Journal of Ecology*: 56: 1-25
- Whittock SP, Greaves BL & LA Apiolaza. 2004. A cash flow model to compare coppice and genetically improved seedling options for *Eucalyptus globulus* pulpwood plantations. *Forest Ecology and Management*, 191: 267-274