

ALTERNATIVAS DE MANEJO SILVÍCOLA PARA LA CONSERVACIÓN DE NUTRIENTES EN SISTEMAS FORESTALES EN MISIONES, ARGENTINA

RODOLFO ANDRÉS MARTIARENA*; MARTÍN ALCIDES PINAZO; ALEJANDRA VON WALLIS;
OTTO KNEBEL & NORBERTO MANUEL PAHR

EEA Montecarlo INTA, Av. El Libertador 2472, (3384) Misiones, Argentina.

*Autor para correspondencia: ramartiarena@montecarlo.inta.gov.ar

Recibido: 01-11-10

Aceptado: 23-02-11

RESUMEN

El objetivo del presente trabajo fue evaluar el efecto de la intensidad de raleo y la modalidad de cosecha sobre la conservación y estabilidad de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en los distintos estratos del sistema forestal de una plantación de *Pinus taeda* L. de 20 años de edad. El estudio se realizó en Misiones, Argentina (25°59' S - 54°24' O). La plantación se estableció en 1985 con *P. taeda* y se manejó con tres intensidades de raleo (0,33 y 66% del área basal remanente del testigo), bajo un diseño de bloques completos al azar. En 2005 se efectuó la cosecha con densidades remanentes de 711 (0%), 364 (33%) y 122 (66%) pl ha⁻¹. El contenido de nutrientes en cada uno de los tratamientos se determinó en los estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo, piso forestal y suelo. Se simuló también los efectos de los sistemas de cosecha adoptados, fuste entero (FE) y árbol entero (AE). El contenido de N, K, Ca y Mg en el sistema disminuyó en la medida que se incrementó la intensidad de raleo (0,33 y 66%). Igual orden mostraron las exportaciones en FE y AE, con diferencias (P<0,05) entre ellas. Los remanentes en el sitio fueron similares entre tratamientos de raleo (P>0,05), pero se diferenció entre FE y AE (P<0,05). Se encontró asociación positiva entre el contenido de nutrientes en el suelo y la sumatoria de contenidos en los estratos aéreos. El índice de nutrientes remanentes (INR) mostró la conveniencia de aplicar cosecha de FE y conservar los residuos de la cosecha.

Palabras clave. Kandiudultes, forestación, balance de nutrientes, cosecha, intensidad de raleo.

MANAGEMENT ALTERNATIVES TO NUTRIENT CONSERVATION IN FOREST SYSTEMS IN MISIONES, ARGENTINA

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the effects of thinning intensity and type of harvest on the conservation and stability of nitrogen (N), potassium (K), calcium (Ca) and manganese (Mg) in the different strata of a 20 year-old *Pinus taeda* L. plantation. The study was conducted in Misiones, Argentina (25°59' S - 54°24' O). The forestation was planted in 1985 and was thinned to three intensities (0, 33 y 66% of the Basic Area of the non-thinned plantation), under a randomized complete block design. In 2005, the remaining trees of the three thinning intensities were harvested [711 pl ha⁻¹ (0%), 364 pl ha⁻¹ (33%) and 122 pl ha⁻¹ (66%)] and the harvest types were simulated (hole stem, HS, and hole tree, HT). The nutrient content in each of the treatments was determined in tree, bushes, herbaceous vegetation, forest floor and soil. The N, K, Ca and Mg contents decreased when the thinning intensity increased (0.33 y 66%). The same order was observed for the nutrient exports for HS and HT, with significant differences between harvest type (P<0.05). Nutrients remaining in the ecosystem did not differ between thinning treatments, but were significantly different between HS and HT. A positive correlation was found between the sum of nutrient contents in the soil and the sum of the nutrient contents in the aerial biomass. The Remnant Nutrient Index (RNI) showed the convenience to apply the HS tree harvest system and to conserve the harvest residues.

Key Words. Kandiudults, forestation, nutrient balance, harvest, thinning intensity.

INTRODUCCIÓN

Los conocimientos sobre requerimientos nutricionales de las especies forestales cultivadas en la Argentina son escasos (Pérez *et al.*, 2006), sin embargo, hace más de una década se han iniciado estudios relativos a circulación y balance de nutrientes en sistemas forestales, con énfasis en plantaciones de *Pinus taeda* (Goya *et al.*, 2003; Pérez *et*

al., 2006; Martiarena *et al.*, 2007; Martiarena *et al.*, 2009), principal cultivo forestal de la provincia de Misiones, con algo más de 300.000 ha plantadas (SIFIP, 2010).

Las principales pérdidas de nutrientes en los sistemas forestales se generan con la cosecha y el establecimiento de la nueva plantación (Gonçalves & Benedetti, 2000), pudiendo la modalidad de cosecha, producir cambios en

el balance del C (Nave *et al.*, 2010) y alterar las condiciones de descomposición del material vegetal. El raleo acelera los procesos de descomposición e incide sobre la disponibilidad y uso de luz, nutrientes y agua (Carlyle, 1995; Burkes *et al.*, 2003), impactando sobre las especies del sotobosque (Marilou *et al.*, 2004), que son dependientes del área basal (AB) del estrato arbóreo (Herrera *et al.*, 2001), las cuáles actúan como reservorio de nutrientes en el sistema (Guariguata & Ostertag, 2001).

El ciclo de los nutrientes en plantaciones de *P. taeda* en Misiones, bajo condiciones de suelos rojos y clima subtropical, genera altas tasas de producción, bajas concentraciones de nutrientes en la biomasa, excepto nitrógeno y alta descomposición y circulación de nutrientes en el mantillo (Goya *et al.*, 2003), con problemas de fertilidad asociados con la baja disponibilidad de potasio (K) (Pérez *et al.*, 2006), mientras que el índice de estabilidad predice que la disponibilidad de este elemento manifestaría déficit luego de 1,6 rotaciones (Goya *et al.*, 2003).

La hipótesis de trabajo indica que el contenido de nutrientes en el sitio, al final del turno de rotación de las plantaciones, varía con la intensidad de raleo (Blanco *et al.*, 2006), mientras que la modalidad de cosecha de árbol entero podría exportar cantidades significativamente mayores de nutrientes del sitio (Goya *et al.*, 2003). El objetivo del trabajo fue evaluar el efecto de la intensidad de raleo y la modalidad de cosecha sobre la conservación y estabilidad de nitrógeno (N), potasio (K), calcio (Ca) y magnesio (Mg) en el sistema forestal de plantaciones de *P. taeda* de 20 años de edad.

MATERIALES Y MÉTODOS

Caracterización del sitio

El trabajo se realizó en un predio de la Empresa LIPSIA SA denominado Campo Elena, cercano a la localidad de Wanda, Departamento Iguazú, provincia de Misiones, Argentina (25° 59' S y 54° 24' O).

El suelo se clasifica como «Kandiudult», según Soil Survey Staff (2006). Se caracteriza por un desarrollo en profundidad mayor a los 2 metros, con una secuencia de horizontes A-Bt-C, de color rojo, libre de pedregosidad y fragmentos gruesos, permeabilidad moderada y bien drenado. El clima de la región se caracteriza por una temperatura media anual de 21 °C y precipitaciones que varían alrededor de 2.000 mm anuales, con régimen isohigro (INTA, 1990).

La plantación fue realizada en el año 1985 con *P. taeda* de origen Marion (EEUU) con una densidad inicial de 1.644 plantas por hectárea (pl ha⁻¹). En 1991 se efectuó un raleo bajando la densidad del rodal a 894 pl ha⁻¹. A partir de allí, bajo un diseño experimental de bloques completos al azar con tres repeticiones,

en el año 1993 se instaló un ensayo de intensidad de raleo aplicándose tres tratamientos: tratamiento testigo (0%), intensidad de raleo intermedia (33%) e intensidad de raleo fuerte (66%) tomando de referencia el área basal del testigo. Los tratamientos fueron aplicados cada 4 años, efectuándose a los 8 (1993), 12 (1997) y 16 (2001) años de edad. El tamaño neto de cada una de las nueve parcelas evaluadas fue de 806 m², efectuándose el raleo en todas las ocasiones por lo bajo.

La cosecha se efectuó en el año 2005 con 711, 364 y 122 pl ha⁻¹ en los tratamientos 0, 33 y 66% de raleo respectivamente, con un diámetro a la altura del pecho (DAP) promedio que alcanzó los 28,7; 34,6 y 45,9 cm para el mismo orden de tratamientos, con tasas de crecimiento de 32,9; 24,2 y 13,8 m³ ha año⁻¹.

Biomasa aérea de los estratos arbóreo, arbustivo y herbáceo

El peso de los árboles en el estrato arbóreo se obtuvo por medio de técnicas de análisis dimensional (Whittaker & Woodwell, 1968). Se aparearon en total 45 árboles, distribuidos 15 en cada tratamiento (cinco de cada repetición). El material se separó en los compartimentos fuste (sin corteza), corteza (sólo de fuste), ramas < a 5 cm de diámetro, ramas > a 5 cm de diámetro, ramas secas, hojas y conos. La biomasa del fuste sin corteza se determinó multiplicando el volumen de éste por su respectiva densidad básica. El peso seco de la corteza se calculó mediante el porcentaje de peso de este compartimento sobre el porcentaje de peso de la correspondiente sección del fuste, previamente determinado. Los compartimentos de ramas, hojas y conos fueron separados y pesados húmedos en el campo. De cada uno de ellos se extrajo una alícuota y se secó a 70 °C hasta peso constante. El coeficiente de relación peso seco / peso húmedo se aplicó al material pesado en húmedo para obtener el peso seco final de los compartimentos de cada árbol apeado. Se ajustó una ecuación para cada compartimento, aplicada luego a cada individuo del inventario, para estimar la biomasa de la plantación. La ecuación fue del tipo doble logarítmica, $\ln B = a + b * \ln DAP$,

donde:

$\ln B$: es el logaritmo natural del peso seco del compartimento estudiado

a y b : coeficiente de la ecuación

$\ln DAP$: logaritmo natural del DAP

En el estrato arbustivo se cosechó la biomasa aérea de 90 subparcelas de 2 m x 1 m, distribuidas 10 en cada una de las nueve parcelas arbóreas del ensayo. El material vegetal se dividió en hojas y material leñoso.

En el estrato herbáceo también se cosecharon 90 subparcelas de 1 m x 1 m distribuidas 10 en cada una de las nueve parcelas arbóreas mencionadas.

El material cosechado, en ambos estratos, se secó hasta peso constante a 70 °C.

Necromasa del piso forestal

El material del piso forestal se evaluó en 90 subparcelas de 0,25 m², distribuidas 10 en cada una de las nueve parcelas arbóreas. El material fue subdividido en capa L, capa F+H y material leñoso. La capa L consta de restos vegetales muertos no alterados. La

capa F+H consiste de materia orgánica fragmentada y parcialmente desintegrada pero que aún permite la identificación de su origen (capa F) y materia orgánica amorfa ya desintegrada (capa H) (Hesselman, 1926 citado por Pritchett, 1986). El compartimento leñoso lo constituyó el material proveniente de ramas y fustes. Todas las muestras fueron secadas a 70 °C.

El carbono en el piso forestal se estimó aplicando un coeficiente de transformación de 0,5 de acuerdo con lo recomendado por el IPCC (IPCC, 2003).

Registro de las variables de suelo

Se tomaron muestras de suelo de los horizontes A (0-10 cm) y BA (10-30 cm) de cada parcela. Se conformó una muestra compuesta a partir de ocho y cinco muestras simples del Horizonte A y Horizonte B respectivamente (Fernández *et al.*, 2000).

En los mismos horizontes se determinó densidad aparente por el método del cilindro (Forsythe, 1975), obteniendo ocho muestras simples en los horizontes A y BA y, cinco muestras en el horizonte B, (Fernández *et al.*, 2002).

Análisis químico y contenido de nutrientes en los estratos del sistema

Las muestras obtenidas en cada compartimento fueron molidas y pasadas por tamiz con malla de 0,5 mm para determinar su concentración de N, K, Ca y Mg. Luego se obtuvo el contenido de cada uno de éstos elementos en cada compartimento, multiplicando la biomasa por su concentración promedio.

Para obtener el contenido en el suelo se multiplicó la densidad aparente de cada horizonte por la concentración de N total, K, Ca y Mg intercambiable.

Estimación y análisis de las exportaciones

Para estimar las exportaciones de nutrientes durante la cosecha final se usaron los valores de biomasa y mineralomasa de nutrientes en los compartimentos involucrados en las dos modalidades de cosecha: 1- fuste entero (FE): suma de contenidos en el fuste + corteza de fuste del estrato arbóreo; 2- árbol entero (AE): suma de contenidos en todos los compartimentos aéreos considerados en el estrato arbóreo.

El cálculo de contenido de nutrientes remanentes en el sitio se realizó por diferencia entre el contenido previo a la cosecha (excluyendo el contenido en el suelo) y lo exportado con la misma.

En ambas modalidades se calcularon el índice de exportación de nutrientes (IE) como el cociente entre la biomasa cosechada y el contenido de cada nutriente en dicha biomasa (Santana *et al.*, 2002; Fernández, 2002). El índice de estabilidad nutritiva (IEN) se determinó como el cociente entre el contenido del nutriente exportado y el contenido del mismo en el suelo (Fölster & Khanna, 1997). Se calcularon variantes considerando almacenajes de nutrientes de pronta disponibilidad para las plantas 1- nutrientes en el suelo mineral, 2- sumatoria de nutrientes en el suelo mineral, nutrientes en el piso forestal, nutrientes en la biomasa del sotobosque y en los residuos del estrato arbóreo. El índice de nutriente remanente para la rotación de la misma especie (INR) se calculó como el cociente entre el contenido del nutriente en el suelo (mineral + orgánico) y el contenido del nutriente extraído del sitio mediante la cosecha (final e intermedias).

Análisis estadístico

La biomasa de los compartimentos del estrato arbóreo, arbustivo y herbáceo, la necromasa de las tres divisiones del piso forestal, la densidad aparente de los horizontes del suelo y, la concentración y contenido de nutrientes de los estratos arbóreo, arbustivo, herbáceo, piso forestal y suelo de los tratamientos, fueron comparados mediante análisis de variancia. La comparación de medias de tratamientos fue analizada por el test de Tukey, utilizando en ambos análisis nivel de significancia de 95% (Steel & Torrie, 1980).

RESULTADOS

Contenido de nutrientes en los estratos del sistema forestal

La biomasa total en el estrato arbóreo se diferenció ($P < 0,05$) en función de la intensidad de raleo aplicada con 323, 250 y 161 Mg ha⁻¹, en los tratamientos 0, 33 y 66% de raleo, respectivamente.

Las concentraciones de N, K, Ca y Mg en el estrato arbóreo, no mostraron diferencias entre tratamientos ($P > 0,05$) para los compartimentos fuste, conos, ramas < a 5 cm y ramas secas (Tabla 1). El N y K en hoja, K y Mg en ramas > a 5 cm y Ca en corteza presentaron menor concentración ($P < 0,05$) en el tratamiento 66% de raleo, mientras que el K en corteza mostró diferencias entre tratamientos con tendencia inversa a la mencionada.

La tendencia general del contenido de nutrientes, en el estrato arbóreo, indica mayor acumulación en el tratamiento 0% de raleo (Tabla 2), donde las diferencias de acumulación ($P < 0,05$) se registraron principalmente entre el tratamiento 0 y 66% de raleo.

La biomasa acumulada en el estrato herbáceo del sotobosque fue de 1,33, 1,25 y 1,07 Mg ha⁻¹ ($P > 0,05$), respectivamente, en 0, 33 y 66% de raleo. En el mismo orden de tratamientos, el sotobosque arbustivo acumuló 0,26, 0,70 y 5,29 Mg ha⁻¹ ($P < 0,05$).

El contenido de N, K y Mg en el estrato herbáceo no fue afectado por la intensidad de raleo ($P > 0,05$), mientras que el Ca mostró diferencias ($P < 0,05$) entre los tratamientos 0 y 66% de raleo (Tabla 4).

El contenido de nutrientes (N, K, Ca y Mg) en el estrato arbustivo respondió con la misma tendencia ($P < 0,05$) encontrada para la biomasa de este compartimento (Tabla 4).

La acumulación total de necromasa en el piso forestal fue de 25,0, 18,3 y 16,7 Mg ha⁻¹, en los tratamientos 0, 33 y 66% de raleo, sin mostrar diferencias significativas entre ellos. Las capas en que se dividió el piso forestal tampoco mostraron diferencias.

Tabla 1. Concentración de N (%), K, Ca y Mg (ppm) en los compartimentos arbóreos en función de la intensidad de raleo.

Table 1. Concentration of N (%), K, Ca and Mg (ppm) in the aerial arboreal compartments according to the thinning intensity.

Tratamiento	Ramas > a 5 cm	Ramas < a 5 cm	Ramas secas	Hojas	Conos	Fuste	Corteza	
N	0%	0,13 (±0,04) a	0,29 (±0,07) a	0,18 (±0,01) a	1,22 (±0,05) a	0,46 (±0,05) a	0,12 (±0,01) a	0,36 (±0,03) a
	33%	0,15 (±0,02) a	0,25 (±0,07) a	0,17 (±0,04) a	1,12 (±0,07) ab	0,45 (±0,04) a	0,12 (±0,02) a	0,37 (±0,02) a
	66%	0,11 (±0,01) a	0,26 (±0,02) a	0,16 (±0,02) a	1,07 (±0,04) b	0,51 (±0,14) a	0,10 (±0,02) a	0,32 (±0,03) a
K	0%	750 (±84) a	1.389 (±285) a	332 (±86) a	3.397 (±153) a	2.299 (±185) a	547 (±317) a	801 (±70) b
	33%	583 (±175) a	1.053 (±173) a	363 (±166) a	2.859 (±240) ab	2.441 (±252) a	380 (±242) a	1.144 (±195) ab
	66%	264 (±25) b	1.233 (±351) a	517 (±262) a	2.581 (±429) b	2.580 (±194) a	347 (±165) a	1.231 (±194) a
Ca	0%	926 (±84) a	2.225 (±185) a	1.586 (±202) a	1.745 (±33) a	281 (±55) a	779 (±39) a	1.643 (±146) a
	33%	944 (±15) a	1.895 (±370) a	1.638 (±391) a	1.982 (±270) a	276 (±35) a	786 (±101) a	1.342 (±151) ab
	66%	894 (±70) a	2.307 (±168) a	2.091 (±735) a	2.463 (±593) a	254 (±23) a	768 (±40) a	1.192 (±45) b
Mg	0%	365 (±20) a	550 (±63) a	289 (±15) a	864 (±60) a	404 (±57) a	302 (±50) a	362 (±57) a
	33%	295 (±28) ab	490 (±96) a	292 (±54) a	796 (±52) a	461 (±39) a	265 (±32) a	433 (±79) a
	66%	260 (±41) b	504 (±82) a	352 (±99) a	762 (±57) a	407 (±61) a	240 (±11) a	430 (±73) a

Entre paréntesis desvíos estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos, para un mismo compartimento y un mismo nutriente. Standard deviation (within brackets). Different letters indicate significant statistical differences ($P < 0,05$) among treatments in the same compartment and for the same nutrient.

Tabla 2. Contenido de N, K, Ca y Mg (kg ha⁻¹) en los compartimentos arbóreos en función de la intensidad de raleo.Table 2. Content of N, K, Ca and Mg (kg ha⁻¹) in the aerial arboreal compartments according to the thinning intensity.

Tratamiento	Ramas > a 5 cm	Ramas < a 5 cm	Ramas secas	Hojas	Conos	Fuste	Corteza	
N	0%	12,6(±3,9)a	75,0(±16,9)a	27,6(±2,4)a	111,1(±1,1)a	9,9(±1,4)a	295,4(±28,6)a	65,1(±6,5)a
	33%	15,7(±0,8)a	53,9(±15,3)ab	18,4(±3,8)b	96,8(±12,5)ab	10,3(±0,9)a	219,0(±49,7)a	48,9(±2,8)b
	66%	13,1(±0,6)a	40,8(±1,4)b	9,6(±0,8)c	82,5(±8,1)b	13,3(±2,6)a	108,0(±24,8)b	23,9(±2,0)c
K	0%	7,0(±0,4)a	36,4(±6,3)a	5,0(±1,1)a	31,0(±2,1)a	4,9(±0,7)a	132,5(±77,2)a	14,6(±0,8)a
	33%	5,9(±1,4)a	22,9(±2,7)b	3,9(±1,8)a	24,7(±3,0)ab	5,6(±0,6)ab	70,4(±47,8)a	15,1(±2,5)a
	66%	3,1(±0,1)b	19,1(±4,8)b	3,0(±1,5)a	19,8(±3,0)b	6,8(±0,5)b	37,9(±18,4)a	9,2(±1,1)b
Ca	0%	8,7(±0,1)a	58,4(±3,4)a	23,8(±3,3)a	15,9(±0,6)a	0,6(±0,09)a	189,4(±8,5)a	29,9(±2,3)a
	33%	9,7(±0,9)ab	41,2(±6,0)b	17,4(±3,1)ab	17,1(±3,0)a	0,6(±0,04)a	144,5(±26,5)b	17,8(±2,6)b
	66%	10,6(±1,1)b	36,0(±4,0)b	12,2(±3,7)b	18,8(±3,8)a	0,7(±0,06)a	84,2(±5,0)c	8,9(±0,1)c
Mg	0%	3,4(±0,1)a	14,4(±1,2)a	4,3(±0,2)a	7,9(±0,4)a	0,9(±0,1)a	73,1(±9,6)a	6,6(±0,8)a
	33%	3,0(±0,3)a	10,7(±1,5)b	3,1(±0,4)b	6,9(±0,7)ab	1,1(±0,1)a	48,6(±7,7)b	5,7(±0,7)a
	66%	3,1(±0,6)a	7,8(±0,8)b	2,1(±0,6)b	5,9(±0,6)b	1,1(±0,1)a	26,4(±2,5)c	3,2(±0,5)b

Entre paréntesis desvíos estándar. Letras distintas indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre tratamientos, para un mismo compartimento y un mismo nutriente. Standard deviation (within brackets). Different letters indicate significant differences ($P < 0,05$) among treatments in the same compartment and for the same nutrient.

La concentración de N, K, Ca y Mg fue similar entre tratamientos ($P > 0,05$) para las tres divisiones estudiadas. El N presentó como valores promedios de los tres tratamientos 1,1, 1,3 y 0,6%, respectivamente, en las capas L, F+H, y material leñoso.

El contenido de N, K, Ca y Mg en las capas L, F+H y material leñoso del piso forestal no se diferenció ($P > 0,05$) entre tratamientos. El contenido de cada elemento en el piso forestal (sumatoria de contenido en las tres capas) muestra para N, K, Ca y Mg mayor acumulación en el tratamiento 0% de raleo (Tabla 4).

La relación C:N para los tratamientos 0, 33 y 66% de raleo, mostró valores de 39, 38 y 38 en la capa F+H; 48, 47 y 46 en la capa L y 100, 82 y 88 en el material leñoso. Los valores de las capas L y F+H se mantuvieron dentro

de los rangos propuestos como normales para el piso forestal de las coníferas (Fisher & Binkley, 2000).

La densidad aparente del suelo no fue afectada por la intensidad de raleo (Tabla 3).

La concentración de N, K, Ca y Mg en los horizontes del suelo no fue afectada ($P > 0,05$) por los tratamientos aplicados, de aquí que el contenido de nutrientes no manifestó diferencias ($P > 0,05$) en los tratamientos de intensidad de raleo, hasta los 60 cm de profundidad del suelo (Tabla 4).

El suelo alberga el mayor contenido de N, K, Ca y Mg en el sistema forestal (Tabla 4). La sumatoria de contenidos en los estratos aéreos (arbóreo, arbustivo, herbáceo y piso forestal) disminuye con la intensidad de raleo.

Tabla 3. Densidad aparente del suelo (g cm^{-3}) en función de la intensidad de raleo de *Pinus taeda* de 20 años de edad.

Table 3. Soil bulk density (g cm^{-3}) according to the thinning intensity of a 20 year-old *Pinus taeda*.

Horizonte	Tratamiento		
	Testigo	33% de raleo	66% de raleo
A	1,32 ($\pm 0,09$) a	1,26 ($\pm 0,10$) a	1,22 ($\pm 0,08$) a
BA	1,35 ($\pm 0,08$) a	1,27 ($\pm 0,09$) a	1,29 ($\pm 0,09$) a
B	1,30 ($\pm 0,11$) a	1,35 ($\pm 0,08$) a	1,30 ($\pm 0,08$) a

n = 24. Entre paréntesis desvíos estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

n=24. Standard deviation (within brackets). Different letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$) among treatments.

Tabla 4: Contenido de N, K, Ca y Mg (kg ha^{-1}) en los estratos del sistema forestal en función de la intensidad de raleo.

Table 4. Content N, K, Ca and Mg (kg ha^{-1}) in the strata of the forest system according to the thinning intensity.

	Tratamiento	Estrato arbóreo	Estrato arbustivo	Estrato herbáceo	Piso forestal	Total aéreo	Suelo
N	0%	596,6 ($\pm 43,6$) a	3,7 ($\pm 4,6$) a	33,7 ($\pm 4,1$) a	211 (± 22) a	845,0	12.915 (± 1161) a
	33%	462,9 ($\pm 64,9$) b	10,4 ($\pm 5,5$) a	33,4 ($\pm 3,7$) a	189 (± 46) a	695,7	12.286 (± 373) a
	66%	291,1 ($\pm 28,7$) c	90,6 ($\pm 60,7$) a	25,2 ($\pm 3,7$) a	148 (± 21) a	554,9	11.610 (± 417) a
K	0%	231,3 ($\pm 81,4$) a	2,0 ($\pm 2,4$) b	24,5 ($\pm 10,1$) a	25,4 ($\pm 3,4$) a	283,2	425,2 ($\pm 46,2$) a
	33%	148,5 ($\pm 46,5$) a	5,5 ($\pm 2,2$) b	22,9 ($\pm 3,4$) a	16,1 ($\pm 0,8$) b	193,0	384,3 ($\pm 53,9$) a
	66%	98,8 ($\pm 22,6$) a	67,9 ($\pm 28,2$) a	18,4 ($\pm 2,6$) a	18,4 ($\pm 3,4$) ab	203,5	408,7 ($\pm 61,0$) a
Ca	0%	326,7 ($\pm 11,5$) a	1,4 ($\pm 1,9$) a	3,36 ($\pm 0,2$) b	69,3 (± 15) a	400,76	3146 (± 671) a
	33%	248,3 ($\pm 24,7$) b	5,8 ($\pm 5,4$) a	4,58 ($\pm 0,7$) ab	58,4 (± 16) a	317,08	2.303 (± 1024) a
	66%	171,4 ($\pm 4,4$) c	36,2 ($\pm 27,1$) a	4,75 ($\pm 0,5$) a	64,0 (± 18) a	276,35	3.460 (± 2109) a
Mg	0%	110,6 ($\pm 11,8$) a	0,49 ($\pm 0,7$) b	2,21 ($\pm 0,2$) a	14,2 ($\pm 1,7$) a	127,5	1.187 (± 570) a
	33%	79,0 ($\pm 6,3$) b	1,31 ($\pm 0,9$) b	2,51 ($\pm 0,4$) a	11,1 ($\pm 2,7$) a	93,92	1.173 (± 280) a
	66%	49,5 ($\pm 2,5$) c	10,1 ($\pm 3,8$) a	2,01 ($\pm 0,3$) a	11,8 ($\pm 2,4$) a	73,41	1.135 (± 403) a

Entre paréntesis desvíos estándar. Letras distintas indican diferencias estadísticas ($P < 0,05$) entre tratamientos.

Standard deviation (within brackets). Different letters indicate significant statistical differences ($P < 0.05$) among treatments.

Como se observa en la Tabla 4, el contenido de N, K y Mg en el suelo, se relacionó positivamente con la sumatoria de contenido de los mismos elementos en los estratos aéreos.

Efecto de las prácticas silviculturales sobre el contenido de nutrientes en el sistema

La exportación de N, Ca y Mg por cosecha resultó diferente ($P < 0,05$) entre tratamientos de intensidad de raleo, correspondiendo el mayor contenido exportado al tratamiento sin raleo, mientras que para K se observa la misma tendencia sin diferencias significativas ($P > 0,05$). Entre modalidades de cosecha, el método de AE resultó significativamente mayor ($P < 0,05$) en cuanto a la exportación, excepto para K.

Los contenidos de N, Ca y Mg remanentes fueron similares entre tratamientos de intensidad de raleo, pero

se diferenciaron ($P < 0,05$) entre modalidades de cosecha, con mayor contenido remanente en FE. El contenido de K remanente se diferenció ($P < 0,05$) entre tratamientos de intensidad de raleo y modalidad de cosecha (Tabla 5).

El IE, mostró que el tratamiento 66% de raleo aportó mayor cantidad de biomasa por unidad de nutriente en el caso de N, K, Ca y Mg, para las dos modalidades de cosecha, (Tabla 6). De igual manera, cuando se compara la modalidad de cosecha, se puede observar que la extracción de FE conserva mejor los nutrientes en el sistema.

El índice de estabilidad nutricional (IEN), es la relación entre nutriente exportado y nutriente en el suelo. A diferencia del IE, el aumento del valor absoluto indica menor oferta nutritiva en el largo plazo. Se puede observar que los mayores valores los muestra el tratamiento sin raleo bajo la modalidad de cosecha AE. El INR indica la cantidad de rotaciones que alcanzaría un determinado

Tabla 5. Contenido de N, K, Ca y Mg (kg ha^{-1}) exportado (E) y remanente (R) en el sitio, bajo las modalidades de cosecha fuste entero (FE) y árbol entero (AE) en función de la intensidad de raleo.

Table 5. Content of N, K, Ca y Mg (kg ha^{-1}) exported and remaining in the ecosystem after the final harvest considering whole stem harvest (FE) and whole tree harvest (AE) types according to the thinning intensity (as a percentage of the control basal area).

Modalidad de cosecha	Intensidad de raleo	N		K		Ca		Mg	
		E	R	E	R	E	R	E	R
		FE	0%	361 a(B)	484 a(A)	147 a(A)	136 ab(A)	219 a(B)	181 a(A)
	33%	268 a(B)	428 a(A)	86 a(A)	107 b(A)	162 b(B)	155 a(A)	54 b(B)	44 a(A)
	66%	132 b(B)	423 a(A)	47 a(B)	156 a(A)	93 c(B)	183 a(A)	30 c(B)	40 a(A)
AE	0%	597 a(A)	248 a(B)	231 a(A)	52 b(B)	327 a(A)	74 a(B)	111 a(A)	17 a(B)
	33%	463 b(A)	233 a(B)	148 a(A)	44 b(B)	248 b(A)	69 a(B)	79 b(A)	15 a(B)
	66%	291 c(A)	264 a(B)	99 a(A)	105 a(B)	171 c(A)	105 a(B)	49 c(A)	24 a(B)

Ref.: Letras minúsculas distintas [a, b, c] indican diferencias significativa ($P < 0,05$) entre contenidos de N, K, Ca y Mg exportado o remanente, según corresponda, entre tratamiento de raleo para una misma modalidad de cosecha. Letras mayúsculas [(A), (B)] entre paréntesis indican diferencias significativas ($P < 0,05$) entre contenidos de nutrientes exportado o remanente, según corresponda, entre modalidades de cosecha para un mismo tratamiento de raleo.

Ref.: Different lowercase letters [a, b, c] indicate significant differences ($P < 0,05$) among masses of N, K, Ca and Mg exported or remaining, among the thinning treatment for the same harvest type. Uppercase letters [(A), (B)] within brackets indicate significant differences ($P < 0,05$) among masses of N, K, Ca and Mg exported or remaining, among harvest types for the same thinning treatment.

Tabla 6. Índice de exportación (IE), índice de estabilidad de nutrientes en plantaciones (IEN) e índice de nutrientes remanentes (INR) para N, K, Ca y Mg en función de las modalidades de cosecha fuste entero (FE) y árbol entero (AE) en relación a la intensidad de raleo.

Table 6. Exportation index (IE), nutrient stability in plantation index (IEN) and remaining nutrients index (INR) for N, K, Ca and Mg, for two final-cutting harvest scenarios (FE and AE), according to the thinning intensity.

	Modalidad de cosecha	Tratamiento de raleo (%)	IE	IEN		INR
				Variante 1	Variante 2	
N	FE	0	0,73	0,03	0,03	37,17
		33	0,74	0,02	0,02	39,31
		66	0,85	0,01	0,01	52,30
	AE	0	0,54	0,05	0,05	22,06
		33	0,57	0,04	0,04	24,23
		66	0,62	0,03	0,02	30,50
K	FE	0	1,78	0,35	0,26	3,82
		33	2,28	0,22	0,17	4,62
		66	2,36	0,12	0,08	6,78
	AE	0	1,40	0,54	0,48	2,06
		33	1,75	0,39	0,35	2,53
		66	1,78	0,24	0,19	3,80
Ca	FE	0	1,19	0,07	0,07	15,17
		33	1,25	0,07	0,07	12,67
		66	1,35	0,03	0,03	24,96
	AE	0	0,99	0,10	0,10	9,86
		33	1,06	0,11	0,10	8,47
		66	1,07	0,05	0,05	15,89
Mg	FE	0	3,28	0,07	0,06	15,50
		33	3,89	0,05	0,04	19,42
		66	4,53	0,03	0,03	27,22
	AE	0	2,92	0,09	0,09	10,89
		33	3,41	0,07	0,07	13,63
		66	3,80	0,04	0,04	18,34

nutriente hasta convertirse en limitante para el cultivo de una misma especie. Se observa al N como el nutriente que alcanzaría para el mayor número de rotaciones y el K para el menor, mientras que Ca y Mg muestran valores intermedios (Tabla 6).

DISCUSIÓN

Contenido de nutrientes en los estratos del sistema forestal

La menor acumulación de biomasa en el estrato arbóreo en el tratamiento con 66% de raleo se debe a la menor competencia intraespecífica en dicho tratamiento, por subocupación del sitio, coincidente con los resultados encontrados en otras investigaciones (Rey *et al.*, 2001; Merino *et al.*, 2003; Balboa *et al.*, 2004).

La menor concentración de N y K en hojas, K y Mg en ramas > a 5 cm y Ca en corteza, en el tratamiento 66% de raleo, podría atribuirse al efecto de dilución como consecuencia del mayor incremento de biomasa, a nivel de árbol individual.

Los registros de concentración de Ca en hojas fueron inferiores a los reportados por Goya *et al.* (2008) también para *P. taeda* de 20 años de edad. El Ca podría ser limitante para el crecimiento de esta especie (Vogel, 2003) y su absorción es dependiente de la aireación del suelo (Dedecek *et al.*, 2008), por lo que podría asumirse que la menor concentración puede deberse a la mayor densificación que presenta el suelo de este trabajo, respecto de los valores registrados por Goya *et al.* (2008).

Las relaciones de concentración en hoja N:K y N:Mg, respondieron satisfactoriamente de acuerdo a los reportes de Binkley (2000) para las especies de coníferas.

La variación de apertura de las copas impacta sobre las especies del sotobosque (Marilou *et al.*, 2004; Goya & Fernández, 2004). Esto explicaría la mayor acumulación de biomasa en el estrato arbustivo del sotobosque.

El aumento en el contenido de Ca en el sotobosque herbáceo del tratamiento 66% de raleo, se debe a la mayor concentración de este elemento encontrado en sus órganos. La mayor concentración podría deberse a la mayor intensidad lumínica recibida por el sotobosque en el tratamiento 66% de raleo, lo que podría inducir cambios en la concentración celular de Ca²⁺ modificando las propiedades de la célula vegetal (Sanz *et al.*, 2001).

Los valores encontrados en la totalidad de la necromasa del piso forestal, independientemente del tratamiento de raleo recibido, coinciden con el rango de valores establecido por Smith y Healt (2002) para plantaciones de pino

del Sudeste de Estados Unidos. La menor acumulación en el tratamiento 66% de raleo puede deberse al menor aporte de material vegetal por parte del estrato arbóreo que, junto al mayor ingreso de energía a la parte inferior del dosel arbóreo modifican las condiciones de sitio para los organismos descomponedores y aceleran la tasa de descomposición (Couteaux, 1995; Pérez Batallón *et al.*, 1998; Borém, 2002; Prescott, 2002; Bosco Imbert, 2004; Muscolo *et al.*, 2007), disminuyendo la posibilidad de acumulación de material sobre el piso forestal en este tratamiento. Esta tendencia se condice con los resultados de otras investigaciones (Vesterdal *et al.*, 1995; Montero *et al.*, 1999; Bauhus *et al.*, 2004; Šlodicač *et al.*, 2005; Nilsen & Strand, 2008), quienes atribuyen el resultado a causas similares.

Los valores de concentración de N en el piso forestal son superiores a los encontrados por Polyacova & Billor (2007), en plantaciones de *P. taeda* en otra latitud (32°35' N y 85°29' W), siendo la causa probable la diferencia de concentración del material aportado en ambos trabajos. La capa F+H presentó mayor concentración de N que la capa L, resultados que coinciden con los encontrados por Wollum & Schubert (1975), quienes también atribuyen el resultado al mayor grado de descomposición del material.

El menor contenido de nutrientes en el tratamiento con mayor apertura del dosel es coincidente con la menor acumulación de biomasa en este tratamiento, atribuyendo las causas de la menor acumulación al menor aporte del estrato arbóreo (variables no registradas), (Blanco *et al.*, 2010).

La relación de contenidos del suelo con los compartimientos aéreos, probablemente sean consecuencia de la mayor acumulación de biomasa y nutrientes en los estratos aéreos del tratamiento 0% de raleo, generando mayor aporte de nutrientes al suelo.

Efecto de las prácticas silviculturales sobre el contenido de nutrientes en el sistema

La intensidad de raleo, si bien marca una tendencia, no parece ser el principal problema para la conservación de los nutrientes en el sistema. La exportación de nutrientes bajo la modalidad de AE coincide con los resultados encontrados por Goya *et al.* (2003) y podría afectar la capacidad productiva del sitio. Mantener la capacidad productiva de los sitios forestales es un paradigma, ya que para ello es importante mantener el capital de nutrientes, habiendo una fuerte dependencia entre nutrientes que ingresan y egresan del sistema (Merino *et al.*, 2005). En un bosque natural hay un balance equilibrado entre ingreso y egreso de nutrientes (Fisher & Binkley, 2000), pero en forestaciones de rápido crecimiento la exportación de nutrientes

puede ser superior a los ingresos. Este efecto es más notorio en nuestro país donde la mayoría de las forestaciones ocupan sitios de alta productividad y no se fertiliza, por ello la conservación de los residuos durante la cosecha juega un importante rol en el ciclo de los nutrientes y el mantenimiento de la capacidad productiva del sitio.

La mayor conservación de nutrientes mostrada por el IEN, con la conservación de los residuos de cosecha, es coincidente con Goya *et al.* (2003). La fase cosecha - preparación de terreno, genera el mayor impacto negativo sobre el medio ambiente durante el ciclo forestal, produciendo disturbios en las propiedades físicas, químicas y biológicas, alterando el ciclo de los nutrientes en el sitio (Iseman *et al.*, 1999; Tutua *et al.*, 2008). En Misiones, el escenario más común de cosecha de *P. taeda* es la extracción de FE, quedando los restos de la copa en el lugar de apeo. Las estimaciones de estos restos reportan alrededor de 40 Mg ha⁻¹ (Martiarena *et al.*, 2007), que por lo general son tratados para poder realizar la plantación y las tareas posteriores de mantenimiento en los años sucesivos. Este tratamiento en muchas oportunidades incluye la quema, que también afecta al resto del sistema.

El INR muestra que el N no tendría problemas aparentes en el corto plazo, lo cual no indica eliminar los residuos, sino que expresa que el cultivo no tendría déficit de N en próximas rotaciones.

De acuerdo al tratamiento silvicultural y la modalidad de cosecha que se aplique, el INR para el K muestra que si no se aplican estrategias de mantenimiento en el sistema, podría verse comprometida la capacidad productiva del sitio en el largo plazo.

Los valores extremos del INR corresponden a la cosecha con modalidad de AE y eliminación de residuos durante la preparación de terreno, coincidente con lo mencionado por Fölster & Khanna (1997). Los autores indican que con estos sistemas de manejo las pérdidas de nutrientes del sitio pueden superar los ingresos generados al sistema.

Reissmann & Wisniewski (2000) indican que las especies del género *Pinus* demuestran extraordinaria capacidad de administración de recursos en sitios de baja fertilidad, y por lo tanto no manifiestan síntomas de deficiencias. Como consecuencia de ello y debido a su rápido crecimiento, estas especies generan una gran expectativa entre los forestadores, pero se debería prestar más atención a los contenidos remanentes para futuras rotaciones, independientemente de la falta de síntomas. Como se observó para los índices respectivos, la cosecha seguida de tratamiento intensivo de los residuos puede causar pérdida de nutrientes en el sitio (Merino *et al.*, 1998), al-

terando el ciclo de éstos (Iseman *et al.*, 1999) y produciendo disminución de la capacidad productiva del sitio en el largo plazo (Tutua *et al.*, 2008). Luego de una cosecha forestal es recomendable manejar los residuos de manera de poder conservar la mayor cantidad de nutrientes para asegurar la productividad de la próxima rotación.

CONCLUSIONES

El manejo de la intensidad de raleo del *P. taeda* en Misiones (Argentina) permite producir diferentes cantidades de biomasa, alcanzando su máximo con la mayor ocupación del sitio y registrando allí el mayor almacenamiento de nutrientes. El contenido de N, Ca y Mg remanente en el sitio luego de la cosecha, se mostró similar para los tres tratamientos, mientras que el contenido de K remanente fue mayor en el tratamiento 66% de raleo. La cosecha de AE ocasionó mayor pérdida de N, K, Ca y Mg del sitio y afectó significativamente los contenidos remanentes de éstos en el sistema. El INR mostró que la combinación de manejo de alta densidad arbórea, cosecha de AE y eliminación de residuos remanentes, podría ocasionar disminución de la capacidad productiva del sistema en futuras rotaciones, ya que los índices mostraron que el K no sería suficiente en las próximas rotaciones. Para N, Ca y Mg el INR no muestra un déficit nutricional para la próxima rotación. Luego de la cosecha forestal el sistema se reduce a suelo expuesto y, en el mejor de los casos, cubierto por los residuos. Se recomienda mantener una densidad arbórea intermedia y dejar la totalidad de los residuos de la cosecha, cambiando volumen cosechable por calidad de madera, con lo que se lograría contribuir con la reserva de nutrientes y conservar así la capacidad productiva del sitio.

BIBLIOGRAFÍA

- Bauhus, J; T Vor; N Bartsch & A Cowling. 2004. The effects of gaps and liming on forest floor decomposition and soil C and N dynamics in a *Fagus sylvatica* forest. *Can. J. For. Res.* 34: 509-518.
- Balboa, M; R Rodríguez; J Álvarez & A Merino. 2004. Temporal variations and distribution of carbon stocks in above-ground tree biomass of *Pinus radiata* and *Pinus pinaster* pure stands under different silvicultural alternatives. International IUFRO. Conference on Sustainable Harvest Scenarios in Forest Management. Tale, the Low Tatras, Slovakia, 25-27 Agosto.
- Binkley, D. 2000. Nutrición Forestal. Prácticas de manejo. Editorial Limusa. 340 pp.

- Blanco, J; J Bosco Imbert & F Castillo. 2010. Thinning affects *Pinus sylvestris* needle decomposition rates and chemistry differently depending on site conditions. *Biogeochemistry* DOI 10.1007/s10533-010-9518-2.
- Blanco, J; J Bosco Imbert & F Castillo. 2006. Effects of thinning on nutrient content pools in two *Pinus sylvestris* forests in the western Pyrenees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21(2): 143-150.
- Borém, R & D Ramos. 2002. Variação estacional e topográfica de nutrientes na serapilheira de um fragmento da mata atlântica. *Cerne* 8(2): 042-059.
- Bosco Imbert, J; J Blanco & F Castillo. 2004. Gestión forestal y ciclos de nutrientes en el marco del cambio global. *Ecología de bosque mediterráneo en un mundo cambiante*. Pp.479-506. Ministerio de medio ambiente. EGRAF S. A. Madrid.
- Burkes, E; R Will; G Barron; R Teskey & S Barry. 2003. Biomass partitioning and growth efficiency of intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stand of different planting densities. *For Sci.* 47(2): 224-234.
- Carlyle, J. 1995. Nutrient management in a *Pinus radiata* plantation alters thinning: the effect of thinning and residues on nutrient distribution, mineral nitrogen fluxes, and extractable phosphorus. *Can. J. For. Res.* 25: 1278-1291.
- Couteaux, M; P Bottner & B Berg. 1995. Litter decomposition, climate and litter quality. *Tree* 10(2): February. Pp 63-66.
- Dedecek, R; I Fier; R Speltz & L Lima. 2008. Influencia do sitio no desenvolvimento do *Pinus taeda* L. aos 22 anos: Estado nutricional das plantas. *Floresta* 38(2): 351-359.
- Fernández, R; P Mac Donagh; A. Lupi; R. Martiarena & P. Cortez. 2002. Relations between soil compaction and plantation growth of a 8 years-old Lobolly pine second rotation, in Misiones, Argentine. Published by the American Society of Agricultural and Biological Engineers, St. Joseph, Michigan. www.asabe.org. Paper number 025012, 2002. ASAE Annual Meeting.
- Fernández, R; A Lupi; N Pahr; H Reis; H O'Lery & M Gelid et al. 2000. Técnicas de manejo de residuos de cosecha para el establecimiento forestal y su impacto sobre la condición química de los suelos rojos del noreste de Argentina. *Avances en Ingeniería Agrícola*. Ed. Facultad Agronomía. (UBA). Pp. 243:248.
- Fisher, R & D Binkley. 2000. Ecology and management of forest soils. Third edition. 489 pp.
- Fölster, H & K Khanna. 1997. Dynamics of nutrient supply in plantation soils. *In: Management of soil, nutrient and water in tropical plantations forest*. Editors: Nambiar and Brown. Published by ACIAR in Collaboration with CSIRO and CIFOR.
- Forsythe, W. 1975. Física de suelos. Manual de laboratorio. Turrialba. IICA. 221 pp.
- Gonçalves, L & V Benedetti. 2000. Nutrição e fertilização florestal. IPEF. Instituto de pesquisas e estudos florestais. Piracicaba-SP-Brasil. 427 pp.
- Goya, J; C Pérez & R Fernández. 2008. Concentración foliar de nutrientes en plantaciones de diferentes edades de *Pinus taeda* L. en el norte de Misiones, Argentina. XIII Jornadas Técnicas Forestales y Ambientales, UNAM-INTA. Eldorado, Misiones, Argentina. ISSN 16685385.
- Goya, J & R Fernández. 2004. Ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* en el norte de la provincia de Misiones. II estudio de diferentes edades de plantación. *En: Investigación Forestal al Servicio de la Producción II*. Pp. 134-143.
- Goya, J; C Pérez; J Frangi & R Fernández. 2003. Impacto de la cosecha y destino de los residuos sobre la estabilidad del capital de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. *Ecología Austral* 13: 139-150.
- Guariguata, M & R Ostertag. 2001. Neotropical secondary forest succession: changes in structural and functional characteristic. *Forest Ecol. Manag.* 148: 185-206.
- Herrera, M; J Del Valle & S Orrego. 2001. Biomasa de la vegetación herbácea y leñosa pequeña y necromasa en bosques tropicales primarios y secundarios de Colombia. Simposio Internacional Medición y Monitoreo de la captura de C en Ecosistemas Forestales. Chile.
- Hesselman, H. 1926. Studier över barrskogens humustache dess egenskaper och beroende av skogsvarden. Statens Skogsföröksant. *Meddel* 22: 169-552.
- INTA, 1990. Atlas de suelo de la Republica Argentina. Pcia. de Misiones, tomo II: 111-154.
- Iseman, T; D Zak; W Holmes & A Merrill. 1999. Revegetation and Nitrate Leaching from Lake States Northern Hardwood Forests Following Harvest. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 63: 1424-1429.
- IPCC, 2003. Good Practice Guidance for Land Use, Land-Use Change, and Forestry. Intergovernmental Panel of Climate Change. Institute for Global Environmental Strategies (IGES). Japón.
- Krzik, M; R Newman; K Broersma & A Bomke. 1999. Soil compaction of forest plantations in interior British Columbia. *J. Range Management* 52: 671-677.
- Marilou, B; C Messier & A Leduc. 2004. Understorey light profiles in temperate deciduous forests: recovery process following selection cutting. *Journal of Ecology* 92: 328-338.
- Martiarena, R; A Von Wallis & O Knebel. 2009. Pérdida de nutrientes durante la cosecha y el establecimiento forestal, en un rodal de *Pinus taeda* en Wanda, Iguazú, provincia de Misiones, Argentina. *Revista Forestal Venezolana* 53(2): 165-173.
- Martiarena, R; A Von Wallis; R Fernández & O Knebel. 2007. Efecto de las prácticas de preparación de terreno sobre el contenido de nutrientes y el crecimiento en plantaciones forestales. *Avances en Ingeniería Agrícola 2005-2007*. Pp 303-310.
- Merino, A; M Balboa; R Rodríguez Soalleiro & J Álvarez González. 2005. Nutrient exports under different harvesting regimes in fast-growing forest plantations in southern Europe. *Forest Ecol. Manag.* 207: 325-339.
- Merino, A; C Rey; J Brañas & R Rodríguez. 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *P. radiata* en Galicia. *Invest. Agrar.: Sist. Recur. For.* 12(2): 85-98.
- Merino, A; J Edeso; M González & P Marauri. 1998. Soil properties in a hilly area following different harvesting management practices. *Forest Ecol. Manag.* 103: 235-246.
- Montero, G; C Ortega; I. Cañellas & A. Bachiller. 1999. Productividad aérea y dinámica de nutrientes en una repoblación de *Pinus pinaster* AIT sometida a distintos regímenes de claras. *Invest. Agr.: Sist. Recur. For.: Fuera de serie n°1* -pp.175-206.

- Muscolo, A; M Sidari & R Mercurio. 2007. Influence of gap size on organic matter decomposition, microbial biomass and nutrient cycle in Calabrian pine (*Pinus laricio*, Poiret) stands. *Forest Ecol. Manag.* 242: 412-418.
- Nave, L; E Vance; C Swanston & P Curtis. 2010. Harvest impacts on soil carbon storage in temperate forests. *Forest Ecol. Manag.* 259: 857-866
- Nilsen, P & L Strand. 2008. Thinning intensity effects on carbon and nitrogen stores and fluxes in a Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst.) stand after 33 years. *Forest Ecol. Manag.* 256: 201-208.
- Pérez, C; J Goya; F Bianchini; J Frangi & R Fernández. 2006. Productividad aérea y ciclo de nutrientes en plantaciones de *Pinus taeda* L. en el norte de la provincia de Misiones, Argentina. *Interciencia* 31(11): 802-807.
- Pérez Batallón, P; G Ouro; A Merino & F Macías. 1998. Descomposición de materia orgánica, biomasa microbiana y emisión de CO₂ en un suelo forestal bajo diferentes manejos silvícolas. *Edafología* 5: 83-93.
- Polyakova, O & N Billor. 2007. Impact of deciduous tree species on litter fall quality, decomposition rates and nutrient circulation in pine stands. *Forest Ecol. Manag.* 253: 11-18
- Prescott, C. 2002. The influence of the forest canopy on nutrient cycling. *Tree Physiology* 22: 1193-1200.
- Pritchett, W. 1986. Suelos Forestales. Propiedades, Conservación y Mejoramiento. Editorial Limusa. 634 pp.
- Reissmann, C & C Wisniewski. 2000. Aspectos nutricionais de plantios de *Pinus*. In: Gonçalves, M y V Benedetti. Nutrição e fertilização florestal. Piracicaba: IPEF. Pp. 135-166.
- Rey, C; J Brañas; R Rodríguez & A Merino. 2001. Biomasa y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don del norte de España. Actas del III Congreso Forestal Español «Sierra Nevada 2001» Granada, 25-28 de Septiembre. Mesas 1 y 2. Pp. 500-504.
- Santana, R; N Barros & J Neves. 2002. Eficiência de utilização de nutrientes e sustentabilidade da produção em procedências de *Eucalyptus grandis* e *E. saligna* em sítios florestais do estado de São Paulo. *Árvore* 26(4): 447-457.
- Sanz, S; A Blanco; E Monje & J Val. 2001. Caracterización de la deficiencia de calcio en plantas de tomate utilizando parámetros fisiológicos. *ITEA* 97(1): 26-38.
- SIFIP. 2010. Sistema de información foresto-industrial provincial. Ministerio del Agro y la producción, Misiones, Argentina. <http://extension.facfor.unam.edu.ar/sifip/inventario.htm>
- Slodicak, M; J Novak & J Skovsgaard. 2005. Wood production, litter fall and humus accumulation in a C zech thinning experiment in Norway spruce (*Picea abies* (L.) Karst). *Forest Ecol. Manag.* 209: 157-166.
- Smith, J & L Heat. 2002. A model of forest floor carbon mass for United State Forest Types. United States Department of Agriculture Forest Service. Northeastern Research Station. Research Paper NE-722.
- Soil Survey Staff. 2006. Keys to Soil Taxonomy. United States Department of Agriculture Natural Resources Conservation Service. Tenth edition.
- Steel, R & J Torrie. 1980. Principles and procedures of statistics. A biometrical approach. Second Edition. 632 pp.
- Tutua, S; Z Xu; T Blumfield & K Bubb. 2008. Long-term impacts of harvest residue management on nutrition, growth and productivity of an exotic pine plantation of sub-tropical Australia. *Forest Ecol. Manag.* 256: 741-748.
- Vesterdal, L; M Dalsgaard; C Felby; K Rasmussen & B Jorgensen. 1995. Effects of thinning and soil properties on accumulation of Norway spruce stands. *Forest Ecol. Manag.* 77: 1-10.
- Vogel, H. 2003. Crescimento de *Pinus taeda* L. relacionado a doses de N, P e K, e sua diagnose nutricional pelo DRIS. *Rev. Ciência Florestal. Santa Maria*, 13(1): 182.
- Whittaker, R & G Woodwell. 1968. Dimension and production relations of trees and shrubs in the Brookhaven forest, New York. *J. of Ecol.* 56: 1-25.
- Wollum, A & G Schubert. 1975. Effect of thinning on the foliage and forest floor properties of ponderosa pine stands. *Soil Sci Soc Am Proc.* 39: 968-972.