

CONCENTRACIÓN FOLIAR DE NUTRIENTES EN PLANTACIONES DE DIFERENTES EDADES DE *Pinus taeda* L. EN EL NORTE DE MISIONES, ARGENTINA

FOLIAR NUTRIENT CONCENTRATION IN PLANTATIONS OF DIFFERENT AGES OF *Pinus taeda* L, IN THE NORTH OF MISIONES, ARGENTINA

Juan F. Goya¹
Carolina A. Pérez²
Roberto A. Fernández³

Fecha de recepción: 18/07/2008
Fecha de aceptación: 29/07/2009

1. Ingeniero Forestal. Docente Investigador, LISEA, UNLP. Diagonal 113 N° 469, CC 31, 1900 La Plata, ARGENTINA. e-mail: jgoya@agro.unlp.edu.ar
2. Doctora en Ciencias Naturales, Docente investigador, LISEA, UNLP.
3. MSc. en Silvicultura. INTA-EEA Montecarlo. Libertador 2472 (3384) Montecarlo, Misiones, ARGENTINA. UNaM-Facultad de Ciencias Forestales. E-mail: rfernandez@montecarlo.inta.gov.ar

SUMMARY

The relationship between net primary productivity in *Pinus taeda* plantations and foliar nutrient concentration during the productive cycle was investigated. Three different ages were considered from 7 to 21 years of the plantation. Foliar concentrations were compared between these ages. Nutrient concentrations were analysed between different ages of leaf formation. No significant differences were found among ages of leaves except for Mg which was lower in leaves older than 1 year, in the intermediate age of development. Foliar concentrations of P, K, Ca and Mg did not vary significantly between ages and N concentration was greater in older plots. Decrease in net primary productivity of the plantation was related with a lower efficiency of foliar N and P productivity and changes in stand density.

Key words: productivity, foliar biomass, efficiency of nutrients in the productivity.

RESUMEN

Se investigó la relación entre la productividad primaria neta de plantaciones de *Pinus taeda* y la concentración de nutrientes foliares durante el ciclo productivo. Se consideraron tres edades desde 7 a 21 años de plantación entre las cuales se compararon las concentraciones foliares de nutrientes entre diferentes edades de formación de las acículas. No se encontraron diferencias significativas entre edades de formación excepto para el Mg que fue menor en las hojas mayores a 1 año, en la edad intermedia de desarrollo. Entre edades, las concentraciones foliares de P, K, Ca y Mg no variaron significativamente y la concentración de N fue mayor en las parcelas de mayor edad. Se vinculó la disminución en la productividad primaria neta de la plantación con una menor eficiencia del N y P en la producción de biomasa y cambios en la densidad del rodal.

Palabras clave: productividad, biomasa foliar, eficiencia de los nutrientes en la productividad.

INTRODUCCIÓN

Durante el crecimiento de una plantación se registran cambios significativos en la producción y distribución de la biomasa, en el contenido de nutrientes y en parámetros asociados tales como eficiencia en el uso de nutrientes (JARVIS y LEVERENZ, 1983; FORD, 1984; ADEGBIDI *et al.*, 2002). Asimismo se ha verificado que a lo largo del tiempo, la productividad primaria neta (PPN) de una plantación disminuye, luego de alcanzar un pico (OLSSON *et al.*, 1998; SMITH y LONG, 2001). Este decrecimiento de la productividad se ha observado aún a edades tempranas. Al respecto, STITH *et al.* (1996) citan que en bosques templado cálidos de *Pinus radiata* la productividad primaria aérea neta decreció en un 20% (29,2 a 23,5 Mg ha⁻¹ año⁻¹) entre los 2 y los 8 años de edad. El incremento periódico del fuste (IPA) en plantaciones de *Pinus taeda* y *Pinus elliottii* en Florida (USA) decreció en 275% (15 a 4 Mg ha⁻¹ año⁻¹) entre los 8 y 15 años de edad de la plantación (JOKELA y MARTIN, 2000). ADEGBIDI *et al.* (2005) señalan que la temprana disminución de la PPN en plantaciones de *Pinus taeda* bajo silvicultura intensiva se correlaciona con una disminución en la disponibilidad de nutrientes en

el suelo, verificada a través de una disminución de las concentraciones de nutrientes en la biomasa foliar.

En plantaciones de *P. taeda*, situadas en el Norte de la provincia de Misiones, GOYA *et al.* (2005) estudiaron los cambios ocurridos en la biomasa, productividad y distribución de nutrientes en una secuencia de edades. En dicho estudio la productividad primaria aérea neta (PPAN) estimada como la suma del incremento medio leñoso más la caída de hojarasca anual, disminuyó de 27 Mg ha⁻¹ año⁻¹ a 20 Mg ha⁻¹ año⁻¹ entre los 7 y 21 años de edad de la plantación. En plantaciones de *P. taeda*, en el norte de Misiones, los problemas de fertilidad del suelo más probables se asocian con la disponibilidad de fósforo y potasio, nutrientes cuya disponibilidad en suelos ácidos los hace particularmente sensibles al tipo de manejo. Las prácticas post-cosecha que incluyen la quema de los residuos producen un impacto negativo significativo sobre la estabilidad nutritiva de las plantaciones (GOYA *et al.*, 2003).

En este trabajo se plantean como hipótesis: 1) la disminución de la PPAN a lo largo del ciclo productivo de la plantación podría deberse a un decrecimiento en la disponibilidad de nutrientes del suelo; 2) las hojas de diferente edad de la planta, correspondientes a una misma edad de plantación, podrían diferir en sus necesidades de nutrientes, influyendo de este modo en su demanda.

Se plantean tres objetivos de estudio: (1) conocer si existen diferencias significativas entre las concentraciones de nutrientes en acículas de *Pinus taeda* de diferentes edades de plantación de los individuos; (2) establecer si existen diferencias de concentración de nutrientes entre acículas de diferentes edades de formación dentro de una misma edad de los individuos; (3) estimar el índice de eficiencia de PPN de los nutrientes foliares (HIREMATH *et al.* 2002) a lo largo del ciclo de producción de biomasa de la plantación.

MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se realizó en el establecimiento Forestal Puerto Larhague, próximo a la localidad de Montecarlo, provincia de Misiones (26°04'S y 53° 45 'O, 565 m s m). La temperatura media anual es de 20,7 °C, con una media máxima de 25,2 °C y una media mínima 14,8 °C. La precipitación media anual es de 2108 mm, con un régimen de distribución isohigro (INTA, 2000).

Se seleccionaron parcelas correspondientes a rodales de *Pinus taeda* L. de tres edades de plantación: 7, 12 y 19 años al comienzo del ensayo. Estas edades fueron denominadas fases de desarrollo (Fase I, II y III) las que conformaron grupos de edades que abarcaron un período de muestreo de dos años, Fase I: 7, 8, 9; Fase II: 12, 13, 14; Fase III: 19, 20, 21. Las diferentes fases estaban ubicadas sobre suelos con características similares, y recibieron los mismos tratamientos silviculturales, de manera tal

que podrían ser consideradas como una cronosecuencia. En cada fase se instalaron tres parcelas de 600 m² (20 x 30 m). El área basal fue similar en las fases de desarrollo I y II (26,3 y 25,8 m²/ha, respectivamente) y aumenta en la fase III (28,7 m²/ha). La densidad fue 817, 489 y 300 individuos/ha, en las fases I, II y III respectivamente. Los cambios en la densidad son producto de prácticas silvícolas (GOYA *et al.*, 2005).

Las muestras de acículas fueron obtenidas a partir de la cosecha de 3 árboles por parcela (total 27 individuos), en el verano de 2001, abarcando el rango de distribución diamétrica de las mismas. Las acículas de una misma planta se separaron en edades de formación según la edad de la rama: a) hojas de un año, en ramas con un anillo de crecimiento; b) hojas mayores a 1 año, en ramas con 2 o más anillos de crecimiento y c) hojas nuevas, que representan a aquellas de reciente formación.

Se analizaron las concentraciones de N, P, K, Ca y Mg para cada edad en las que fueron separadas las acículas. Las muestras se molieron en molino Wiley y tamizaron con malla 20. Para analizar P, K, Ca y Mg, se incineraron submuestras a 490°C, se digirieron las cenizas en H₃NO₃ y H₂O₂ al 30% (LUH HUANG Y SCHULTE, 1985) y se midieron en un espectrómetro de emisión de plasma Beckman Spectra-Scan V. En otras submuestras se determinó la concentración de N con un LECO CNS-2000, mediante el método de combustión seca (TABATABAI y BREMNER, 1991). Las concentraciones medias de cada elemento multiplicadas por la materia seca de cada compartimento, permitieron obtener las correspondientes masas minerales.

Se compararon las concentraciones de nutrientes entre diferentes edades de formación y fase de desarrollo mediante ANOVA de dos factores. Las medias se compararon mediante el test de Tukey ($\alpha < 5\%$) (SOKAL y ROLHF, 1979).

A partir de un estudio más amplio, realizado simultáneamente por GOYA *et al.* (2005) en las mismas parcelas que el presente trabajo (Tabla 1) se obtuvieron los datos para la estimación de la eficiencia de los nutrientes en la producción de biomasa, calculado como el cociente entre la productividad primaria neta (PPAN) y la mineralomasa foliar (HIREMATH *et al.*, 2002). Las parcelas correspondientes a las fases de desarrollo del estudio de GOYA *et al.* (2005) son las mismas que las reportadas en el presente trabajo.

Corresponde aclarar que si bien las concentraciones de nutrientes fueron obtenidas a partir de tres árboles por parcela (n=9 para cada fase de edad), estos valores fueron considerados representativos de cada parcela. A su vez, tanto la biomasa, mineralomasa como la productividad primaria neta y el índice de eficiencia fueron calculadas a nivel de la población (rodal), ya que en el trabajo realizado por GOYA *et al.* (2005) se

consideraron para el cálculo de la biomasa y productividad, todos los individuos presentes en cada

una de las parcelas estudiadas.

Tabla 1: Productividad primaria aérea neta (PPAN) y mineralomasas foliares en diferentes fases del desarrollo de la plantación.

Table 1: Net Primary Productivity (PPAN) and foliar mineral mass in different ages of plantation.

Fase de desarrollo ¹	Flujos (Mg ha ⁻¹ año ⁻¹)			Mineralomasa foliar (kg/ha)				
	IMA ²	CAÍDA ³	PPAN ⁴	N	P	K	Ca	Mg
I	19,7	7,7	27,4	180,0	8,7	43,7	37,8	10,4
II	14,5	7,8	22,3	167,7	7,5	35,3	32,6	9,6
III	11,1	9,6	20,7	167,3	7,8	30,8	23,7	7,9

Fuente: GOYA *et al.* (2005)

¹Fases (años): I: 7-9; II: 12-14; III: 19-21

²IMA: incremento medio anual del fuste = biomasa del fuste/ edad de la plantación

³CAIDA: caída anual de hojarasca

⁴PPAN = IMA + CAIDA

RESULTADOS

Se encontraron diferencias significativas en las concentraciones de N foliar entre fases de desarrollo pero no entre las edades de formación de acículas de una misma fase. Las acículas de la fase III poseen mayor concentración de N ($p < 0,05$). Para el P no se observaron diferencias significativas, con una tendencia a la mayor concentración en fase III. Para K y Ca no se observaron diferencias significativas, con una tendencia inversa a los otros nutrientes, es decir disminuyendo la concentración hacia la fase III. El Mg mostró un patrón algo diferente con una tendencia a disminuir hacia la Fase III y con menor valor en las edades de hojas de más de 1 año (Gráfico 1). El término de interacción entre fases de desarrollo y edad de formación de las acículas resultó no significativo para N, P, K y Mg, pero significativo para el Ca indicando que las concentraciones en acículas de diferentes edades guardan relación con la edad de plantación o fase de desarrollo.

El índice de eficiencia de los nutrientes en la productividad mostró una tendencia decreciente del 19% para el N y del 16% para el P desde la fase I a la fase III. El K mostró una tendencia creciente del 7% entre dichas fases. La eficiencia de producción del Ca y Mg mostró una tendencia decreciente entre la fase I

y II de 6 y 12% respectivamente, pero luego esta tendencia se invirtió entre las fases II y III, con un incremento del 21% en la eficiencia del Ca y sólo del 11% en la eficiencia del Mg, que alcanzó valores similares a los de la fase I (Tabla 2).

Tabla 2: Eficiencia de los nutrientes en la producción de biomasa.

Table 2: Efficiency of nutrients in the biomass production.

Fase de desarrollo	Eficiencia (kg de Materia seca/kg de nutriente)				
	N	P	K	Ca	Mg
I	152	3149	627	725	2635
II	133	2973	632	684	2323
III	124	2654	672	873	2620

Eficiencia: PPAN/mineralomasa foliar (según HIREMATH *et al.* 2002)

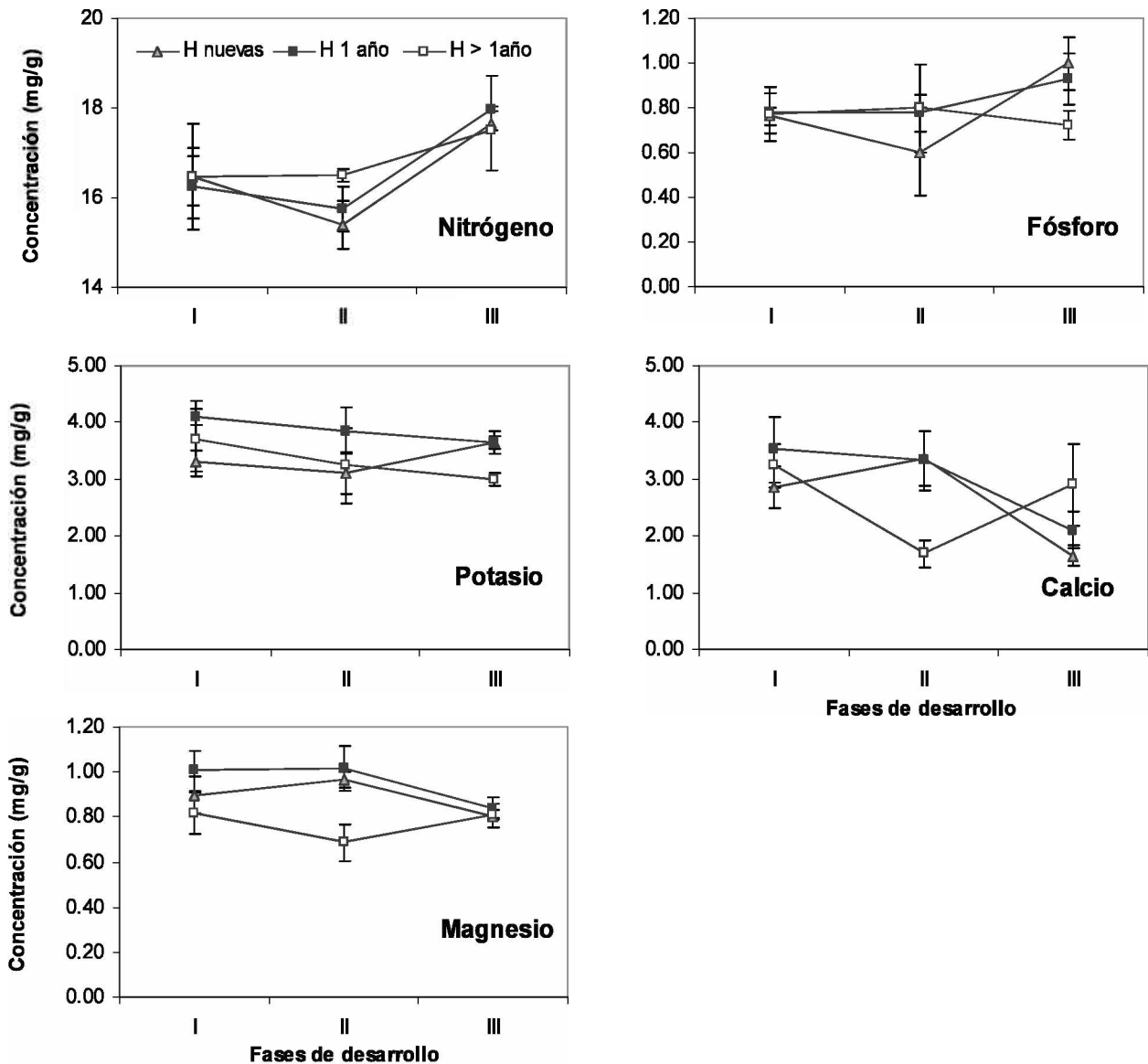


Gráfico 1: Concentraciones de nutrientes en hojas de diferente edad de formación (H Nuevas: hojas nuevas, H 1 año: hojas de 1 año, H > 1 año: hojas mayores a 1 año) en las diferentes fases de desarrollo de la plantación. Las líneas verticales indican el error estándar.

Graph 1: Concentrations of nutrients in leaves of different age of formation (H Nuevas: new leaves, H 1 año: leaves 1 year old, H > 1 año: leaves older than 1 year) at the different stages of development of the plantation. The vertical lines indicate the standard error.

DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Las concentraciones foliares de nutrientes correspondientes a la fase III (19-21 años) fueron similares a las estimadas por GOYA *et al.* (2003) en plantaciones de *P. taeda* de 20 años de la localidad de San Antonio, Misiones.

La ausencia de diferencias significativas en las concentraciones de N, P, K y Ca entre edades de formación de las acículas podría relacionarse con lo

señalado por NAMBIAR y FIFE (1991), quienes reportaron cambios cíclicos en el contenido de N y P en las acículas de *P. radiata* desde su formación inicial hasta su senescencia. Las disminuciones de las concentraciones de nutrientes foliares coinciden con los períodos de activa productividad de la planta, mientras que la acumulación de nutrientes ocurre en los períodos con bajas tasas de crecimiento (NAMBIAR y FIFE, 1991). Por lo cual se esperaría que cambios mas notorios en las concentraciones

foliares de los nutrientes móviles (N, P y K) podrían registrarse estacionalmente más que en un mismo momento en hojas de diferente edad de formación.

La limitación de nutrientes a lo largo del desarrollo de una plantación fue reportada como una de las causas en la disminución de la tasa de producción en plantaciones de *P. taeda* (JOKELA y MARTIN, 2000; ADEGBIDI *et al.*, 2005). En el presente estudio, los cambios en las concentraciones de nutrientes foliares entre fases no respaldan la hipótesis de una disminución en la disponibilidad de nutrientes edáficos con la edad de la plantación. ADEGBIDI *et al.* (2005) señalan que la disponibilidad del N, P y K puede aumentar a lo largo del tiempo en plantaciones manejadas intensivamente, ya que es aportada por fertilizantes, pero el rápido crecimiento de las plantas y la alta demanda de nutrientes que conlleva, pueden conducir a deficiencias en otros nutrientes que no son incorporados mediante fertilización, en particular Mg, Ca y micronutrientes. En el presente estudio, las concentraciones de K, Ca y Mg mostraron una tendencia decreciente con la mayor edad de las plantaciones, aunque estas diferencias fueron no significativas. En cambio las concentraciones de N y P se incrementaron a lo largo del tiempo aunque solo significativamente en el caso del N. Esta mayor concentración de N es obtenida en árboles con un mayor desarrollo de copas en la fase III, respecto de las otras fases.

La eficiencia del N y el P en la productividad disminuyó desde la fase I a la fase III. Es decir que la cantidad de materia seca aérea producida por unidad de N y P presentes en las acículas fue menor a lo largo del ciclo de producción en estas plantaciones. Aunque la eficiencia de producción del Ca y K mostró una tendencia creciente, la menor eficiencia de producción a lo largo del tiempo de los nutrientes más importantes para el crecimiento (N y P) se relaciona con la disminución de la tasa de producción de estas plantaciones durante el ciclo productivo, destacándose que esta disminución se produce en el compartimiento fuste, en tanto que la caída anual no varía con la edad (GOYA *et al.*, 2005). La evolución de la biomasa foliar o el área foliar a nivel de parcela posee un patrón distintivo con un rápido incremento al inicio del desarrollo hasta que alcanza valores más o menos constantes, aún cuando la biomasa foliar a nivel individual puede seguir aumentando (JOKELA y MARTÍN, 2000; SMITH y LONG, 2001). Si la biomasa foliar de la parcela permanece constante, entonces una menor tasa de crecimiento podría atribuirse a una disminución en la eficiencia fotosintética, a menudo vinculada con el auto-sombreado, con limitaciones de nutrientes o con el envejecimiento de las hojas que implica tasas fotosintéticas relativamente más bajas y menor eficiencia en el uso del N (JOKELA y MARTÍN, 2000; SMITH y LONG, 2001; ESCUDERO y MEDIAVILLA, 2003). En el presente estudio, la

biomasa foliar a nivel del individuo se incrementó de 16,5 kg / árbol en la fase I a 39,7 a kg / árbol en la fase III respectivamente (Goya, *com. pers.*), mientras que a nivel del rodal mostró una tendencia decreciente entre dichas fases, que podría atribuirse a las prácticas de raleo (GOYA *et al.*, 2005) y no a déficit de nutrientes. De acuerdo con estos datos, la disminución en la PPAN desde la fase I a la fase III se vincula con cambios en la densidad de la plantación y con una menor eficiencia del N y P en la productividad. El bosque en su conjunto crece menos pero los árboles individualmente aumentaron su crecimiento, sin poder, aún, compensar el efecto de la extracción de individuos. Ese mayor crecimiento se observa en un mayor desarrollo de las copas y en que la caída de hojarasca no varía con la edad. Podría interpretarse que el raleo produjo una redistribución del crecimiento incompleta al momento de realizarse este estudio. El mayor crecimiento individual y una mayor captación de recursos (aumento de la concentración foliar de N y P) permiten esperar que la productividad aumente con el tiempo, fundamentalmente por el aumento del crecimiento del fuste, ya que el IMA representa más del 60% de la PPAN en las fases I y II (GOYA *et al.*, 2005).

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo fue realizado gracias a la financiación del Proyecto Forestal de Desarrollo PIA 7/98, SAPGyA-Participaron en cooperación el LISEA y la EEA INTA Montecarlo, Misiones. Agradecemos los comentarios de los árbitros anónimos que ayudaron a mejorar este manuscrito.

BIBLIOGRAFÍA

- ADEGBIDI, H.G., Jokela, E.J., Comerford, N.B., Barros, N.F. 2002. Biomass development for intensively managed loblolly pine plantations growing on Spodosols in the southeastern USA. *Forest Ecology and Management* 167: 91-102.
- ADEGBIDI, H.G., Comerford, N.B., Jokela, E.J. 2005. Factors influencing production efficiency of intensively managed loblolly pine plantations in a 1-to 4-year-old chronosequence. *Forest Ecology and Management* 218:245-258
- ESCUDERO, A., Mediavilla, S. 2003. Decline in photosynthetic nitrogen use efficiency with leaf age and nitrogen resorption as determinants of leaf life span. *Journal of Ecology* 91: 880-889
- FORD, E.D. 1984. The Dynamics of Plantation Growth. En: Nambiar y Bowen (Eds.) *Nutrition of Plantation Forest*. Academic Press. London. Pp. 17-52
- GOYA, J.F., Perez, C., Frangi, J.L., Fernández, R. 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.

- GOYA, J.F., Frangi, J.L., Pérez, C.A., Fernández, R., Lupi, A.M., Kuzdra, H. 2005. Ciclo de Nutrientes en Plantaciones de *Pinus taeda* L. en el Norte de la Provincia de Misiones. II Estudio de diferentes edades de plantación. Informe Final Proyecto Forestal de Desarrollo SAGPyA. PIA 7/98.
- HIREMATH, A.J., Ewel, J.J., Cole, T.G. 2002. Nutrient use efficiency in three fast-growing tropical trees. *Forest Science* 48: 662-671.
- INTA. 2000. Boletín de Información climática. INTA EEA Montecarlo. Misiones
- JARVIS, P.G., Leverenz, J.W. 1983. Productivity of temperate deciduous and evergreen forests. En: Pirson A. y Zimmermann, M.H. (Eds.). *Encyclopaedia of Plant Ecology* 12 D. Springer-Verlag Berlín. Pp. 233-280.
- JOKELA, E.J., Martin, T.A. 2000. Effects on ontogeny and soil nutrient supply on production, allocation, and leaf area efficiency in loblolly and slash pine stand. *Canadian Journal of Forest Reserch* 30: 1511-1524.
- LUH HUANG, C.Y., Schulte, E.E. 1985. Digestion of plant tissue for analysis by ICP emission spectroscopy. *Communications in Soil Science and Plant Analysis*. 16: 943-958.
- NAMBIAR, E.K.N., Fife, D.N. 1991. Nutrient retranslocation in temperate conifers. *Tree Physiology* 9: 185-207.
- OLSSON, U., Binkley, D., Smith, F.W. 1998. Nitrogen supply, nitrogen use, and production in an age sequence of lodgepole pine. *Forest Science* 44: 454-457.
- SMITH, F.W., LONG, J.N. 2001. Age-related decline in forest growth: an emergent property. *Forest Ecology and Management* 144:175-181
- SOKAL, R.R., Rohlf, F.J.U. 1979. *Biometría. Principios y métodos estadísticos de la investigación biológica*. H. Blume Ed. Madrid. 832 pp.
- STITH, T.G., McMurtrie, R.E., Murty, D. 1996. Aboveground net primary production decline with stand age: potential causes. *Trends in Ecology and Evolution* 11: 378-382
- TABATABAI, M.A., Bremner, J.M. 1991. Automated Instruments for Determination of total Carbon. Nitrogen and Sulfur in Soils by Combustion Techniques. p.261-286. In *soil Analysis. Modern Instrumental Techniques*. Second Edition. Marcel Dekker. Inc. New York. N.Y.