

Contribución de las hojas en el proceso de reciclaje de N y P en *Eucalyptus* sp.

Contribution of leaves in the recycling process of N and P in *Eucalyptus* sp.

CLAUDIA BONOMELLI, IVAN PEÑA, DOMINGO SUAREZ

Departamento de Ciencias de los Recursos Naturales, Facultad de Agronomía e Ingeniería Forestal,
Pontificia Universidad Católica de Chile, Casilla 306-22, Santiago, Chile.

cbonomel@puc.cl - ipena@puc.cl - dsuarezf@puc.cl

SUMMARY

The contribution of leaves in the recycling process of N and P was evaluated under two types of plantation: *Eucalyptus globulus* located in the Central Valley of Chile, and *Eucalyptus nitens* located in the Pre-Andean sector. Both geographical areas are located at the VIII Region of Chile (Southern region). The methodology of the study consisted of monthly quantification of fallen leaves proceeding from both fertilized and unfertilized trees during the initial three years of growth. At the end of the second year of growth, the biomass pertaining to the fallen leaves varied from 93 to 354 kg ha⁻¹ in unfertilized trees. The range of biomass increased to 482 - 984 kg ha⁻¹ in the case of fertilized trees. In the third year, values in the order of 2113 - 3570 kg ha⁻¹ were reached in unfertilized trees, and 3841 - 6978 kg ha⁻¹ in fertilized trees. Leaf fall took place mainly in spring and during periods of high water stress in summer. In this case, the supply of N varied between 29 and 46 kg N ha⁻¹ in the fertilized trees. At the time of leaf fall, the leaves showed a low concentration of N and P due to redistribution of these nutrients to other parts of the plant. The redistributed amount was estimated as 72 - 130 kg N ha⁻¹ and 3.0 - 5.6 kg P ha⁻¹ in fertilized trees. *Eucalyptus nitens* produced the highest values in the pre-mountain range in the site with high water availability because a greater biomass of leaves was produced.

Key words: Biomass of leaves, recycling of nutrients, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, N, P fertilization.

RESUMEN

Se caracterizó la contribución de las hojas en el reciclaje de N y P en dos plantaciones: *Eucalyptus globulus*, ubicada en el Valle Central de Chile, y *Eucalyptus nitens*, ubicada en la Precordillera. Ambas plantaciones se ubican en la VIII Región del país. Para ello se cuantificó la caída mensual de hojas provenientes de árboles fertilizados y no fertilizados durante los primeros tres años de crecimiento. Al segundo año de crecimiento la biomasa de hojas caídas varió entre 93 y 354 kg ha⁻¹ en árboles no fertilizados y entre 482 y 984 kg ha⁻¹ en el caso de los fertilizados. En el tercer año se alcanzaron valores entre 2.113 y 3.570 kg ha⁻¹ en árboles no fertilizados y entre 3.841 y 6.978 kg ha⁻¹ en los fertilizados. La caída de las hojas se produjo principalmente en primavera y en el verano, que es el período de mayor estrés hídrico y retornaron entre 29 y 46 kg N ha⁻¹ en los árboles fertilizados. Al momento de la caída de hojas, éstas poseen una baja concentración de N y P debido a la redistribución de estos nutrientes hacia otras partes de la planta, lo que fue entre 72 y 130 kg N ha⁻¹ y entre 3,0 y 5,6 kg P ha⁻¹ en árboles fertilizados. Los *Eucalyptus nitens* de la Precordillera presentaron los valores más altos, sitio con mayor disponibilidad de agua en el cual se produjo la mayor biomasa de hojas.

Palabras claves: Biomasa de hojas, reciclaje de nutrientes, *Eucalyptus globulus*, *Eucalyptus nitens*, N, P fertilización.

INTRODUCCION

Para establecer los requerimientos nutricionales del eucalipto se debe determinar en primer lugar el potencial productivo, el cual dependerá del sitio donde se establezca la plantación. Según Noble y Herbert (1989), existe una biomasa óptima que es naturalmente sustentable para cada sitio, lo que depende de la disponibilidad de nutrientes del sitio, del clima, del suelo y de las prácticas de manejo. Es necesario también establecer la demanda de nutrientes de las plantas y el suministro de nutrientes del suelo, que se relaciona con el ciclo de redistribución interna y el ciclo de reciclaje externo. La condición de los residuos y mantillo (hojarasca) son determinantes para estimar el suministro de N del suelo (Alvarez *et al.* 1999).

De Freitas *et al.* (1995) señalan que el manejo nutricional de una población forestal requiere de la cuantificación de los flujos de nutrientes del sitio. La cantidad de nutrientes existentes en el suelo y la exportada durante la explotación forestal son de gran importancia en la definición del balance nutricional y en la eventual necesidad de aplicación de fertilizantes. En esta misma línea, Judd (1996) señala que es necesario determinar el balance nutricional, para lo cual se debe conocer primero la disponibilidad o "pool" de nutrientes del suelo y luego conocer las entradas y salidas de nutrientes del sitio en estudio.

Barros y Novais (1996) señalan que para llegar a los criterios de recomendación de fertilizante han debido primero evaluar la biomasa y el contenido de nutrientes de plantaciones comerciales, además establecer las concentraciones de nutrientes para cada componente de estos árboles. En Chile se han realizado mediciones de acumulación de biomasa en eucalipto (Bonomelli y Suárez 1999a) y de acumulación de nutrientes (Bonomelli y Suárez 1999b) en la VIII Región en sitios experimentales con distintas condiciones de clima y suelo.

Respecto de la caída de hojas, la cuantificación es necesaria ya que se requiere determinar el suministro de nutrientes, el cual se relaciona con el ciclo de redistribución interna y el ciclo de reciclaje externo. Bray y Gorham (1964) señalan que la producción de hojarasca tiene una función predominante en la mantención de la productividad de un ecosistema forestal. La cantidad y composición de la materia depositada en el suelo y su posterior descomposición son factores importantes en la efi-

ciencia del ciclo de nutrientes. Noble (1992) estudió la caída de hojas, la que varía ampliamente entre los meses, llegando a su máximo en verano, lo que coincide con otros trabajos (Adams y Attiwill 1991, Turner 1986), quienes midieron la caída de hojas en distintas especies de eucaliptos, de diferentes edades y sitios.

De acuerdo a Attiwill (1979), el crecimiento de los bosques está regulado por tres estados secuenciales, primero la formación de la biomasa fotosintética, luego el desarrollo de la estructura de soporte y finalmente la mantención del sistema productivo por medio de la hojarasca ("litter").

En relación al ciclo interno de nutrientes, Grove *et al.* (1996) señalan que la utilización de los nutrientes es máxima en los árboles a través del almacenaje de nutrientes y su posterior redistribución. Esto ocurre con los nutrientes móviles, los que en los tejidos senescentes se movilizan en una gran proporción hacia los centros de crecimiento. Negi y Sharma (1996) señalan que gracias al reciclaje, el N y P son usados en forma eficiente especialmente en suelos infértiles, donde alcanzan valores entre 41 y 77% para N y entre 56 y 90% para P.

El ciclo de redistribución interna ha sido estudiado también en otras especies. En *Pinus radiata* Fife y Nambiar (1982,1984), Nambiar (1987) señalan que en el crecimiento de los árboles existen fases de flujo de nutrientes, es decir, un balance entre la absorción y el crecimiento, en donde interviene la redistribución. La concentración de N y P de las hojas disminuye en el tiempo, lo que representa la redistribución desde las acículas hacia otras partes del árbol, en respuesta a la demanda de crecimiento y de esta forma las hojas significan una reserva importante de nutrientes. Hay estudios en este sentido en otras especies no forestales, como son los cítricos; así Legaz *et al.* (1995) señalan que en estas especies las hojas tienen una función efectiva como reserva de N. Existe una movilización de N hacia los nuevos órganos y los contenidos de N en las hojas disminuyen por la exportación antes de la senescencia.

El seguimiento de las concentraciones desde que las hojas llegan a madurez hasta su senescencia permite estimar la cantidad de nutriente removilizado, que contribuye al crecimiento de los árboles a través del ciclo interno de nutrientes (Grove *et al.* 1996).

Actualmente se reconoce que la demanda de nutrientes de los árboles forestales es comparati-

vamente alta y que el uso de estos nutrientes por los árboles es muy eficiente, a causa del ciclo interno de nutrientes y la explotación del espacio radicular, lo que los capacita para sobrevivir en suelos relativamente infértiles (Sadzawka *et al.* 1995).

El objetivo de este trabajo fue cuantificar la biomasa de hojas caídas durante los tres primeros años de crecimiento de eucaliptos, en distintas plantaciones ubicadas en la VIII Región de Chile. Adicionalmente se determinó la concentración de nutrientes de esta biomasa y de esta forma fue posible cuantificar la cantidad de nutrientes que representan las hojas caídas en los dos sitios en que se establecieron las plantaciones de eucaliptos.

MATERIALES Y METODOS

El estudio es parte de un proyecto realizado en la VIII Región de Chile en predios pertenecientes a Forestal Monte Águila S.A. Para este estudio, se contó con dos sitios experimentales, uno ubicado en la Precordillera y otro en el Valle Central. En ellos se establecieron experimentos que consistían en dos tratamientos (fertilizado y no fertilizado), en un diseño de bloques al azar con cuatro repeticiones. Cada parcela experimental estuvo constituida por 35 árboles (5x7) y para medir las hojas caídas se escogieron entre los 15 centrales. La distancia de plantación fue de 3,5 x 2,0 m y se realizó en octubre de 1993. En el sitio del Valle Central se plantó *Eucalyptus globulus* y en la Precordillera, *Eucalyptus nitens*. La preparación de suelo se hizo mediante un arado subsolador hasta 0,8 m, se utilizaron herbicidas antes de la plantación y durante los tres años del experimento. En ambos sitios existió, previo a la plantación, una rotación de trigo y 3 a 4 años pradera natural.

En los tratamientos fertilizados se aplicó una formulación que se detalla en el cuadro 1, la que tuvo por objeto asegurar un adecuado suministro de nutrientes en cada sitio experimental. Esta fertilización se aplicó al establecimiento localizada en dos bandas paralelas de 60 cm, separadas a 15 cm del eje de cada árbol. La misma formulación se repitió al segundo y tercer año en forma de banda superficial.

Los sitios estaban ubicados entre 37° y 38° latitud sur y 72°00' y 72°50' longitud oeste (figura 1). El suelo de la Precordillera es un Andisol,

serie Santa Bárbara (INIA 1985), que se caracteriza por una gran capacidad de retención de humedad. En el Valle Central es un Ultisol, serie Collipulli (INIA 1985), que se caracteriza por su profundidad y alto contenido de arcilla en todo el perfil. Los dos sitios estudiados poseen un clima con dos periodos claramente diferenciables, el primero cálido y seco, correspondiente a las estaciones primavera-verano (octubre-marzo), y el segundo, frío y lluvioso, correspondiente a las estaciones otoño-invierno (abril-septiembre). Las temperaturas exhiben una marcada fluctuación debido a la predominancia del anticiclón subtropical durante el verano y al avance de masas de aire polar durante el invierno. En relación a las precipitaciones, se observó una marcada distribución estacional, concentrándose durante el invierno y fue mayor en aproximadamente un 25% en la Precordillera respecto del Valle Central.

Mediciones. Tanto en el sitio del Valle como en la Precordillera, en los dos tratamientos, se instaló una trampa recolectora de hojas de 7 m² bajo los árboles en cada repetición. Cada mes durante los tres años de estudio fue retirado el contenido de estas ocho trampas por sitio experimental. Se determinó materia seca y concentraciones de N, P, K, Ca, Mg y B en cada oportunidad. Los datos se llevaron a kg por hectárea, considerando la densidad de plantación de los árboles. Conocida la biomasa producida por las hojas caídas y su concentración de nutrientes fue posible calcular la cantidad de nutrientes por hectárea que retornan las hojas. Una metodología similar ha sido utilizada por otros autores (Frederick *et al.* 1985b, Turner 1986 y Madeira y Pereira 1995). Se estableció tam-

CUADRO 1

Dosis de nutrientes aplicada a la plantación.
Nutrient doses applied to plantation.

Nutriente	Dosis nutrientes
Nitrógeno	50 g N p1 ⁻¹
Fósforo	50 g P ₂ O ₅ p1 ⁻¹
Potasio	50 g K ₂ O p1 ⁻¹
Azufre	24 g S p1 ⁻¹
Magnesio	20 g MgO p1 ⁻¹
Boro	3,3 g B p1 ⁻¹

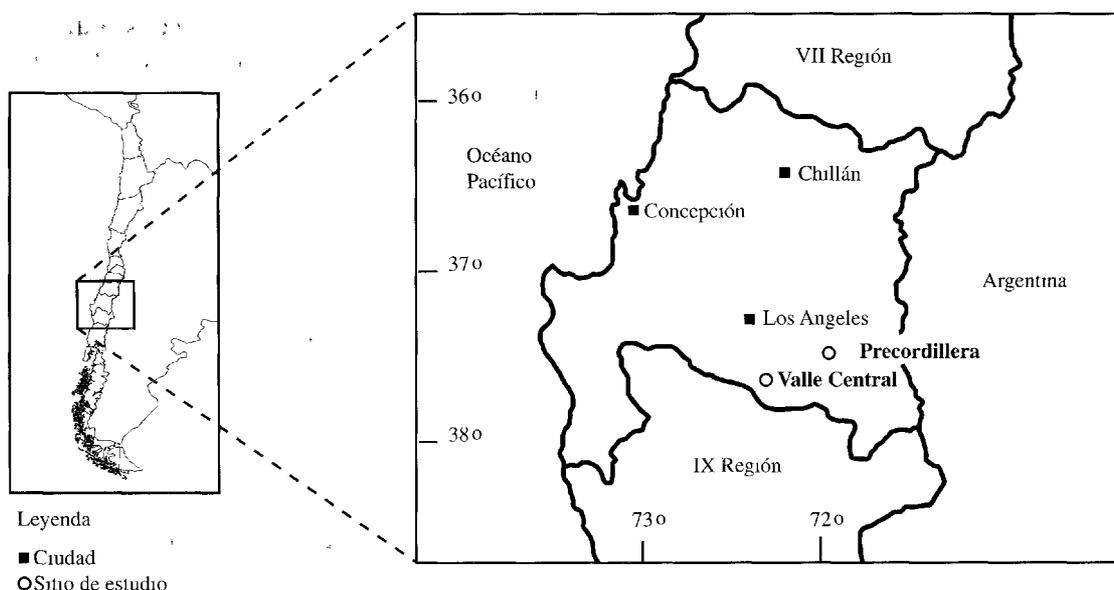


Figura 1. Sitios de estudio (VIII Región, Chile).
Study sites (VIII Region) Chile.

bien la variación estacional de nutrientes en las hojas caídas y además se determinó la concentración ponderada anual de nutrientes.

Para establecer el ciclo interno de la nutrición se determinó mensualmente la concentración de nutrientes en hojas recientemente maduras, para lo cual se tomaron cuatro muestras compuestas por tratamiento en cada sitio experimental. Con la determinación de la concentración de nutrientes de las hojas caídas, se pudo estimar la redistribución mensual de nutrientes en los árboles.

La información recolectada para cada sitio y año fue analizada desde un diseño en bloques completos al azar con cuatro repeticiones y dos tratamientos. El estadístico F permitió decidir si la hipótesis de igualdad de media será rechazada o aceptada.

RESULTADOS Y DISCUSION

Biomasa de hojas caídas. Madeira y Pereira (1995) señalan que la cuantificación de las hojas caídas permite conocer la magnitud real de nutrientes del suelo. Por otra parte, las hojas son el componente de mayor almacenaje de nutrientes y el más activo metabólicamente (Bargali y Singh 1991). Los eucaliptos presentan diferentes tipos de hojas, éstas son juveniles, intermedias y adultas. Diversos es-

tudios han mostrado que la persistencia de las hojas juveniles e intermedias es de un año y la de las hojas adultas de dos a tres años. En el cuadro 2 se presenta la biomasa de las hojas caídas de los árboles no fertilizados y fertilizados de los sitios experimentales durante las tres temporadas. En el primer año la caída de hojas fue mínima y durante el segundo año cayó una cantidad de hojas equivalente a la biomasa de hojas que permanecen en los árboles al final del primer año de crecimiento. Se observa que el tratamiento fertilizado de la Precordillera con *E. nitens* presentó mayor biomasa de hojas que el del Valle con *E. globulus*, ocurriendo lo mismo con el tratamiento no fertilizado. Este comportamiento se debería a factores propios de la especie y a la mayor disponibilidad de agua del sitio de la Precordillera.

En el cuadro 3 se presenta la biomasa de hojas caídas y de hojas activas en los árboles fertilizados y no fertilizados durante las temporadas de crecimiento. La biomasa de hojas activas del año fue posible estimarla debido a que se contaba con los datos de la biomasa total y la partición de los diferentes componentes de la biomasa (hojas, ramas, madera y corteza) de los árboles (Bonomelli y Suárez 1999a). La relación entre las hojas que permanecen al fin del año anterior con la de las hojas caídas durante el año fue consistente. En el segundo y tercer año de crecimiento la biomasa de las hojas caídas es muy similar a las hojas juveni-

CUADRO 2

Biomasa de las hojas caídas.
Biomass corresponding to fallen leaves.

Sitio experimental	Biomasa hojas caídas (kg MS ha ⁻¹)					
	Años					
	0-1		1-2		2-3	
	NF	F	NF	F	NF	F
Precordillera - <i>E. nitens</i>	1	3	354	984	3.570	6.978
Valle Central - <i>E. globulus</i>	1	2	93	482	2.113	3.841

NF: no fertilizado. F: fertilizado.

CUADRO 3

Biomasa de hojas caídas y hojas activas en arboles fertilizados y no fertilizados.
Biomass of fallen leaves and annual biomass of active leaves from fertilized and non fertilized trees.

Sitio experimental	Tratamiento	Biomasa de hojas caídas (kg ha ⁻¹)			
		Años			
		1 Activas	2 Caídas	2 Activas	3 Caídas
Precordillera - <i>E. nitens</i>	NF	36	354	3 438	3 570
	F	813	984	6 203	6 978
Valle Central - <i>E. globulus</i>	NF	275	93	1 412	2 113
	F	590	482	3 487	3 841

NF: no fertilizado. F: fertilizado.

les e intermedias que permanecen en el árbol a fines de la temporada anterior. En la última temporada tanto en la Precordillera con *E. nitens* como en el Valle Central con *E. globulus* los árboles fertilizados presentan alrededor de 50% más de hojas activas y hojas caídas que los árboles no fertilizados.

En el estudio de Madeira y Pereira (1995) se señala que las hojas caídas en el segundo año son de tipos juvenil e intermedia y corresponden al follaje del árbol producido el primer año. Esto sugiere que estas hojas permanecen sólo un año en

el árbol y después caen, lo mismo ocurre el año siguiente. Después del tercer año las hojas caídas son de tipo adulta, las que permanecen por lo menos dos años. O'Connell y Grove (1996) presentan datos de hojas caídas en *Eucalyptus diversicolor* al segundo año de crecimiento, siendo alrededor de 1 t ha⁻¹, valor muy similar al segundo año de la Precordillera fertilizada de este estudio. En otros trabajos como el de Madeira y Pereira (1995) midieron anualmente las hojas caídas en tratamientos testigo y fertirrigado en *Eucalyptus globulus*, obteniendo en el segundo

año alrededor de 1 t ha⁻¹ y 2 t ha⁻¹, respectivamente. En el tercer año se elevó a 2 t ha⁻¹ en el testigo y a 4 t ha⁻¹ en el fertirrigado, encontrándose una relación estrecha entre la producción neta primaria y la caída de hojas. Valores similares se encontraron en este estudio en la misma especie de eucalipto en el Valle Central, para el cual en el tercer año en el testigo cayeron 2,1 t ha⁻¹ y en los árboles fertilizados 3,8 t ha⁻¹.

En estudios con árboles de mayor edad, Polglase y Attiwill (1992) señalaron que en trabajos de *Eucalyptus regnans*, al quinto año de crecimiento, la caída de hojas fue de 4,9 t ha⁻¹. Similares resultados obtuvo Noble (1992) en *Eucalyptus grandis* de cuatro años de edad, quien señala alrededor de 5 t ha⁻¹ al año. También Frederick *et al.* (1986) determinaron la caída anual de hojas en *Eucalyptus nitens* de cuatro años, la que fue de 5,3 t ha⁻¹, valor menor al presentado en la plantación de *nitens* de la Precordillera fertilizada. Otros estudios como los de George y Varghese (1991) señalan que la cantidad de hojas que se reciclan anualmente corresponden alrededor de 41 ha⁻¹ al año en *Eucalyptus globulus* a los 10 años. Bargali y Singh (1991) encontraron en *Eucalyptus tereticornis* de ocho años de edad, con una tasa de crecimiento de 20t/ha/año, que las hojas que caen corresponden a 3,6 t/ha/año. La tasa de crecimiento anual de la plantación de eucaliptos fertilizados al tercer año en el Valle Central fue alrededor de 25 t/ha/año (Bonomelli y Suárez 1999a) y su reciclaje de hojas anual de 3,8 t/ha/año.

Existen antecedentes de árboles de mayor edad, como lo indica Baker (1983), quien señala algunas cifras de biomasa de hojas caídas en bosques antiguos, siendo en *Eucalyptus obliqua* 3,9 t/ha/año y en *Eucalyptus regnans* de 19 años 6,8 t ha⁻¹. Adams y Attiwill (1991) también citan varios estudios en distintas regiones presentando un rango entre 2 y 5,3 t/ha/año. Por último, en eucaliptos de diferentes edades Turner (1986) estableció un rango de caída de hojas entre 4,2 y 5,5 t/ha/año.

En las figuras 2 y 3 aparece la variación estacional de la biomasa de hojas caídas de los árboles fertilizados y no fertilizados de los dos sitios experimentales durante las tres temporadas de crecimiento. La mayor proporción de las hojas cayó durante el período de estrés hídrico, siendo diciembre el mes de mayor caída. En el Valle Central la proporción de hojas caídas en diciembre del último año del estudio fue alrededor de un 50% en ambos tratamientos y en la Precordillera

de un 20 y 34% en los tratamientos fertilizado y no fertilizado, respectivamente. Esto se debe probablemente a que el estrés hídrico en el Valle es más pronunciado. Knight y Nicholas (1996) al estudiar la caída de hojas en *Eucalyptus grandis* en Nueva Zelandia, señalaron que el máximo de caída se producía en diciembre.

En el cuadro 4 se muestran los coeficientes de variación observados, que son mayores en el período otoño-invierno, período en el cual la caída obedece principalmente a factores de tipo climático. Al analizar el experimento y comparar los tratamientos en cada período y sitio, se obtuvo desde el estadístico F que hubo diferencias significativas en la caída de hojas entre los tratamientos fertilizados y no fertilizados en Precordillera en los dos períodos ($p < 0,05$). Por otra parte, en el Valle Central, dada la mayor varianza observada en el caso del período otoño invierno, origina que no se obtengan diferencias significativas entre tratamientos, sin embargo, en el período de primavera verano se encontró que hubo diferencias significativas al considerar $p < 0,06$.

Madeira y Pereira (1995) midieron el porcentaje de hojas que caen entre primavera y verano en tratamientos con y sin riego en *globulus*, señalando que en los tratamientos sin riego la caída es mayor en este período del año. En trabajos hechos en Sudáfrica se observó que la caída de hojas varió entre los meses del año, pero la caída máxima siempre se produjo entre diciembre y enero (Noble 1992). Por su parte, Adams y Attiwill (1991) coinciden en señalar que la caída máxima es en verano y agregan que existe otra caída importante en otoño.

En estudios realizados en Nueva Zelandia, Frederick *et al.* (1986), en *nitens*, indican que la tasa más alta de caída de hojas se produjo entre diciembre y marzo y que alcanzó a 3 g m⁻² al día y el resto del período es aproximadamente 1 g m⁻² al día. En la Precordillera entre diciembre y marzo la tasa de caída de hojas fue cercana a 3,5 y 2,2 g m⁻² por día en árboles fertilizados y no fertilizados, respectivamente.

Concentración y contenido de nutrientes de las hojas caídas. En las figuras 4 y 5 se presenta la variación mensual de la concentración de N y P de las hojas caídas en árboles fertilizados y no fertilizados, durante las tres temporadas de crecimiento en los dos sitios experimentales. Las hojas caen con una baja concentración de N y P en relación

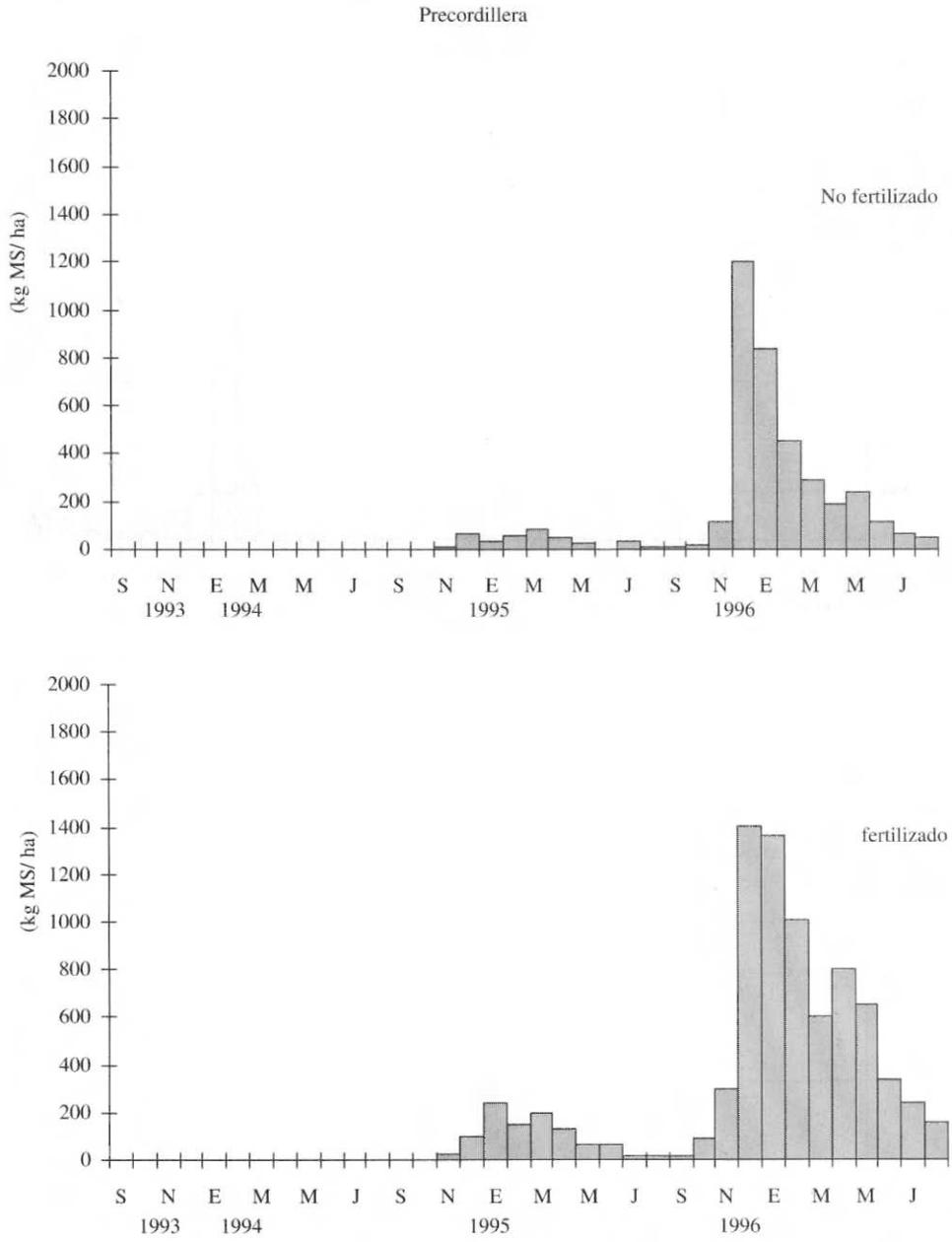


Figura 2. Biomasa de hojas caídas de los árboles fertilizados y no fertilizados (*Eucalyptus nitens*) - Precordillera.

Biomass of fallen leaves from fertilized and unfertilized trees - Pre-Andean sector (*Eucalyptus nitens*).

con la concentración de las hojas recientemente maduras. La diferencia entre ambas concentraciones da lugar a la redistribución interna de nutrientes o ciclo interno de nutrientes, lo que significa una reutilización de los nutrientes acumulados en las hojas. Las hojas entran en un período de senes-

cencia y reubican el contenido de sus nutrientes hacia los tejidos jóvenes o hacia tejidos de reserva. Tanto en la Precordillera como en el Valle Central la concentración de N y P más baja de las hojas caídas se produce en el período primavera verano.

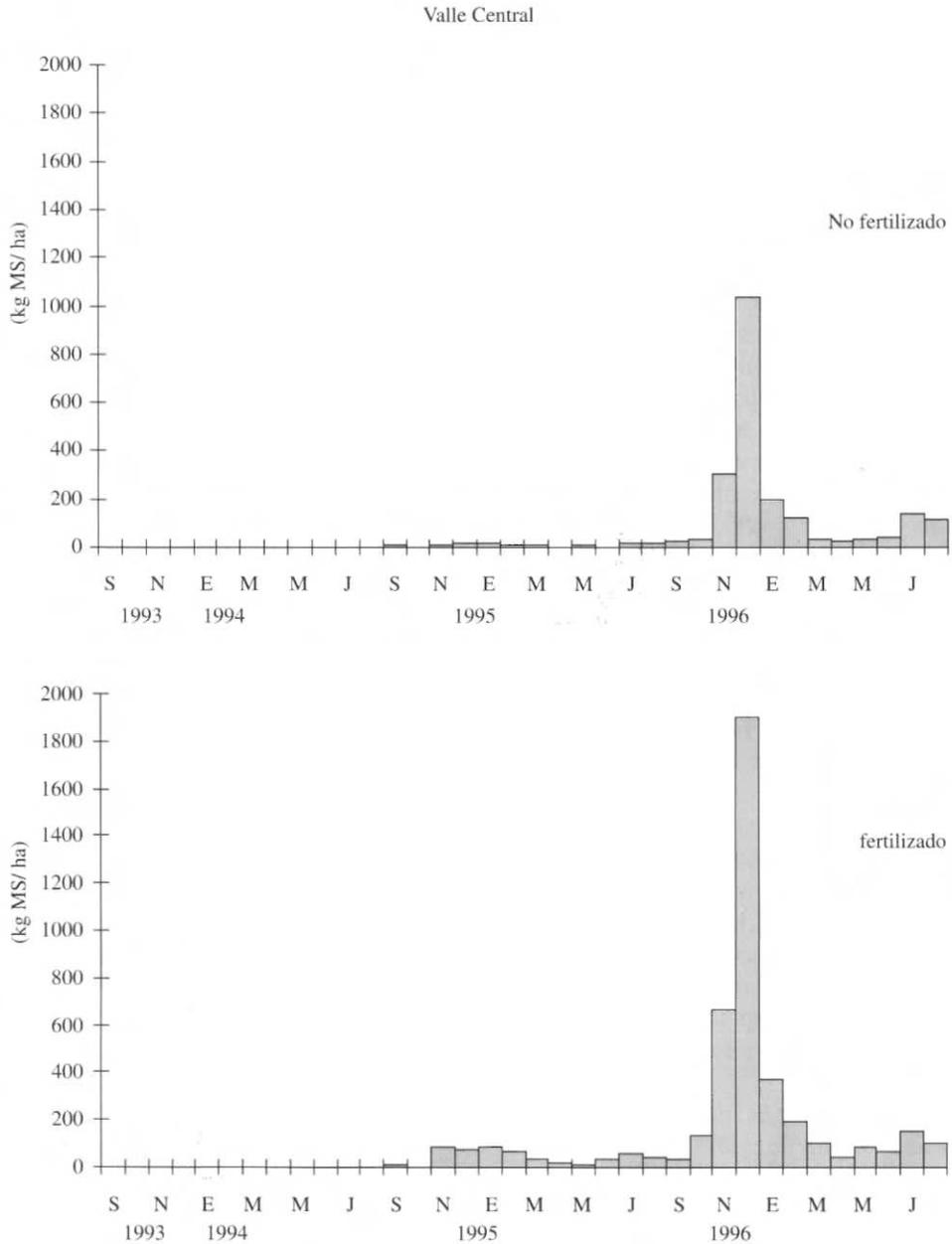


Figura 3. Biomasa de hojas caídas de los árboles fertilizados y no fertilizados - Valle Central (*Eucalyptus globulus*).

Biomass of fallen leaves from fertilized and unfertilized trees - Central Valley (*Eucalyptus globulus*).

En el cuadro 5 se presentan, para los dos sitios del estudio, las concentraciones de N y P de las hojas caídas en el período de primavera-verano y otoño-invierno. Los resultados indican que hay diferencia significativa entre el tratamiento fertilizado y no fertilizado en las hojas caídas de los *E.*

nitens de la Precordillera en el período primavera-verano y no se presentan diferencias en otoño-invierno. En el caso del Valle Central no hay diferencias significativas en la concentración de N y P de los *E. globulus* en los dos períodos. En general, se observa que la concentración de N y P de las

CUADRO 4

Coefficientes de variación y porcentaje de caída de hojas en el período primavera-verano y otoño-invierno.
Variation coefficient and percentage of fallen leaves in the spring-summer and autumn-winter periods.

Tratamiento	Período primavera-verano				Período otoño-invierno			
	Precordillera <i>E. nitens</i>		Valle Central <i>E. globulus</i>		Precordillera <i>E. nitens</i>		Valle Central <i>E. globulus</i>	
	CV	% caída	CV	% caída	CV	% caída	CV	% caída
NF	3,6	80	54,2	82	36,3	20	77,1	18
F	8,4	69	24,6	94	10,9	31	52,8	6

CV: coeficiente de variación. NF: no fertilizado. F: fertilizado.

CUADRO 5

Concentración de nitrógeno y fósforo en las hojas caídas, en el período primavera-verano y otoño-invierno.
Concentration of N and P in fallen leaves in the spring-summer and autumn-winter periods.

Tratamiento	Nutriente	Período primavera-verano		Período otoño-invierno	
		Precordillera <i>E. nitens</i>	Valle Central <i>E. globulus</i>	Precordillera <i>E. nitens</i>	Valle Central <i>E. globulus</i>
NF F CV	Nitrógeno	0,68 a	0,95 a	0,88 a	1,11a
		0,87 b	0,99 a	0,95 a	1,02 a
		9,4	4,9	5,9	7,2
NF F CV	Fósforo	0,025 a	0,052 a	0,037 a	0,066 a
		0,030 b	0,047 a	0,039 a	0,049 a
		6,3	12,9	8,1	17,0

Letras minúsculas seguidas de una misma letra indican que no hay diferencias significativas ($p > 0,05$).
CV: coeficiente de variación. NF: no fertilizado. F: fertilizado.

hojas caídas del *E. globulus* es mayor a la del *E. nitens*; si bien estos resultados pueden obedecer a diferencias propias de la especie, se debe tener en cuenta que los árboles de la Precordillera presentaron un mayor crecimiento y por ende mayor biomasa, produciéndose un posible efecto de dilución de los nutrientes. Por último, las hojas caídas en los meses de mayor estrés hídrico presentan las

concentraciones más bajas y las más altas en los períodos sin estrés hídrico en que su caída obedece a un proceso mecánico (viento, lluvia). La caída de verano corresponde a hojas que ya han reubicado parte de sus nutrientes hacia los centros de crecimiento o de reserva.

Frederick *et al.* (1985a) en su trabajo en Nueva Zelandia con *Eucalyptus regnans* obtuvieron ho-

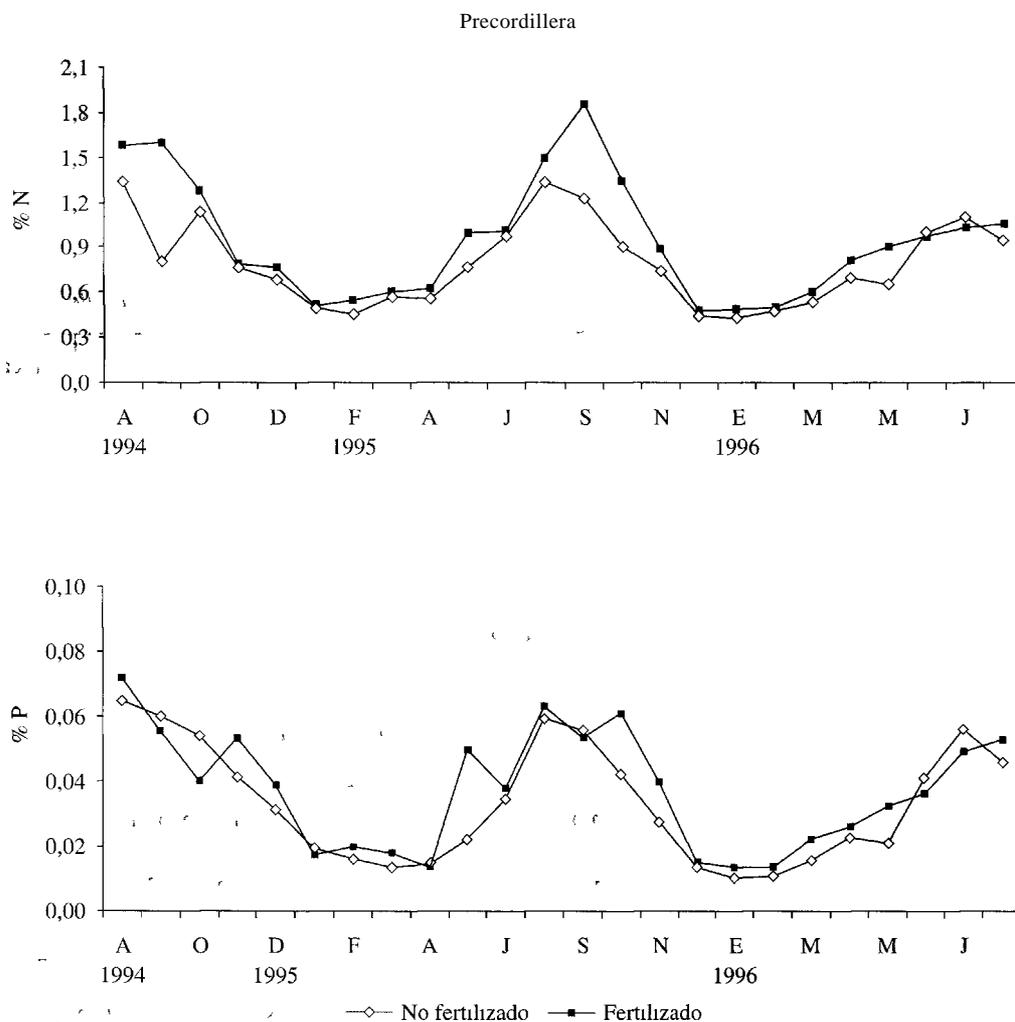


Figura 4. Variación de la concentración de N y P de las hojas caídas de los árboles fertilizados y no fertilizados - Precordillera (*Eucalyptus nitens*).

Concentration variation of N and P in leaves fallen from fertilized and unfertilized trees - Pre-Andean sector (*Eucalyptus nitens*)

jas que caen con una concentración desde 0,6 hasta 1,3% N. Al igual que en el presente estudio, los períodos que caen con menor concentración corresponden a los meses de verano y los de mayor concentración son desde junio a octubre. La evolución de las concentraciones de P en las hojas caídas es igual a la del N. Otros estudios como los de Bargali y Singh (1991) presentaron un promedio de concentración de N en las hojas caídas de 0,90% en *Eucalyptus tereticornis* de ocho años y Turner y Lambert (1983) en *Eucalyptus grandis* de 27 años de edad midieron la concentración de N en hojas caídas, siendo de 0,7% entre diciembre

y febrero y de 1,2% entre junio y agosto. Adams y Attiwill (1991) hacen trabajos en diferentes sitios y especies de eucaliptos y señalan que las concentraciones menores de N y P en las hojas caídas ocurrieron en verano y otoño, período en que se produce la máxima caída de hojas y las concentraciones mayores en invierno y primavera. Las mayores concentraciones de N y P que obtuvieron son de 1 y 0,08%, respectivamente, y las menores son de 0,4% de N y de 0,02% de P.

En el cuadro 6 se muestra la concentración ponderada de N y P en las hojas caídas durante las tres temporadas en los árboles fertilizados y no

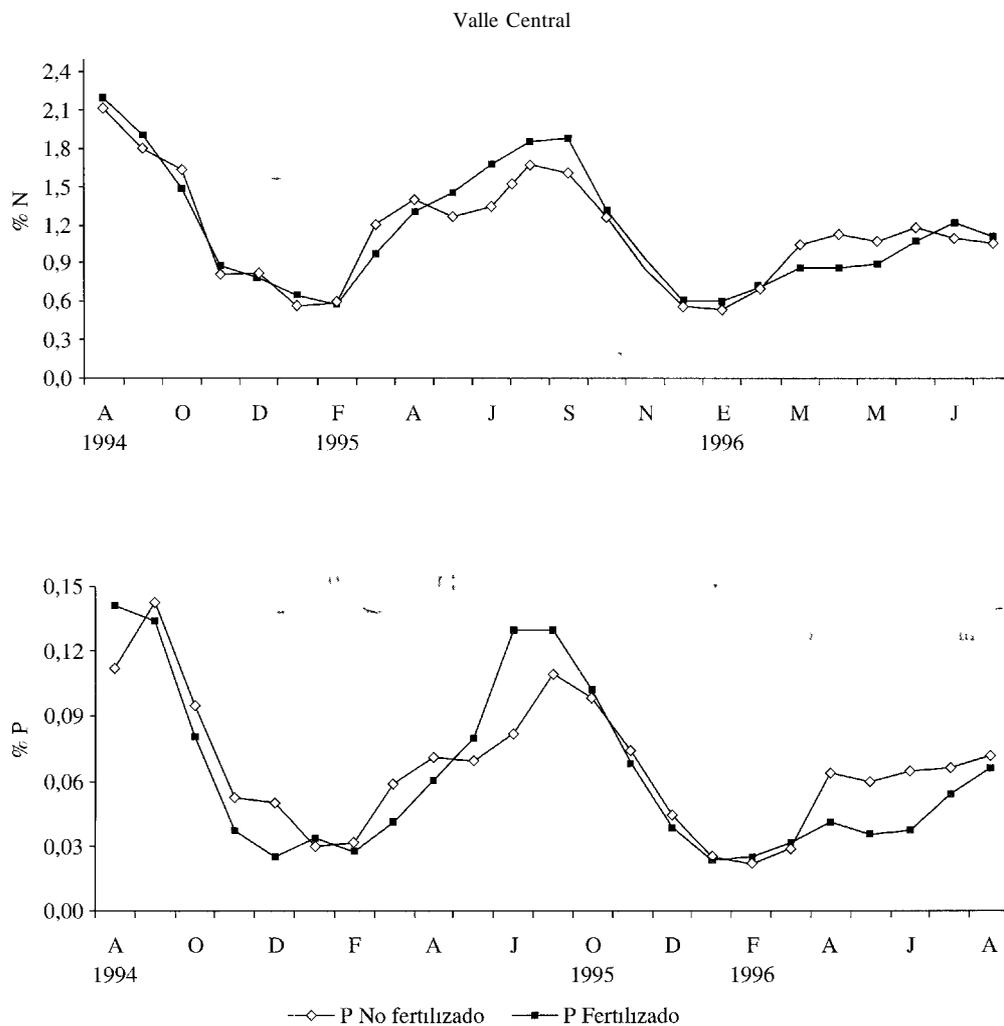


Figura 5. Variación de la concentración de N y P de las hojas caídas de los árboles fertilizados y no fertilizados - Valle Central (*Eucalyptus globulus*).

Concentration variation of N and P in leaves fallen from fertilized and unfertilized trees - Central Valley (*Eucalyptus globulus*)

fertilizados de los dos sitios experimentales. Los valores ponderados se usaron para el cálculo de la cantidad de nutrientes que retornan a través del reciclaje de hojas. Madeira *et al.* (1995) trabajaron con *Eucalyptus globulus* de seis años fertilizados y no fertilizados obteniendo en las hojas del tratamiento testigo una concentración de 0,65 y 0,04 de N y P, respectivamente. En el tratamiento fertilizado obtuvieron valores de 0,72% N y de 0,05% P. En el presente trabajo al tercer año los valores de las concentraciones de N y P en hojas caídas en árboles fertilizados fue similar, obteniéndose 0,7% en N y 0,03% en P.

El contenido de nutrientes de las hojas caídas está dado por su biomasa y por su concentración de nutrientes. Si se conoce la tasa anual de acumulación de los componentes de la biomasa de los árboles en el año anterior, es posible estimar para el año actual el reciclaje o ciclo externo de N y P que representan las hojas, al saber su concentración ponderada de nutrientes. En el cuadro 7 Se presenta el contenido de nutrientes de las hojas caídas expresados como kg ha^{-1} de los árboles fertilizados de los dos sitios experimentales durante las tres temporadas de crecimiento. Se observa que a medida que los árboles van formando

CUADRO 6

Concentración ponderada de N y P en las hojas caídas en árboles no fertilizados y fertilizados.
Concentration of N and P in the fallen leaves of unfertilized and fertilized trees

Sitio experimental	Tratamiento	Concentración ponderada %					
		Años					
		0-1		1-2		2-3	
		N	P	N	P	N	P
Precordillera-E. <i>nitens</i>	NF	1,6	0,09	0,6	0,02	0,5	0,02
	F	1,6	0,10	0,7	0,03	0,7	0,03
Valle Central-E. <i>globulus</i>	NF	1,8	0,10	1,1	0,07	0,7	0,04
	F	2,1	0,14	1,0	0,07	0,7	0,03

NF. no fertilizado F- fertilizado.

su biomasa fotosintética, la cantidad de nutrientes que se reciclan a través de las hojas va aumentando. En el Valle Central y en la Precordillera en el primer año el reciclaje de N es muy bajo y aumenta en el segundo año a entre 4,9 y 6,5 kg N ha⁻¹, elevándose al tercer año entre 29 y 46 kg N ha⁻¹, respectivamente. Para el caso de los *E. nitens* de la Precordillera la cantidad reciclada es significativamente mayor a la de los *E. globulus* del Valle Central. Esto se debe a las diferencias propias de la especie; sin embargo, se debe tener presente que la Precordillera es un sitio de mayor humedad disponible en el suelo y que eso posibilita una mayor formación de biomasa de hojas. Se puede agregar que al tercer año del estudio en los árboles fertilizados, el diámetro de las plantas fertilizadas, medido a una altura de 1,3 m (dap) fue de 12,4, y 8,8 cm y la altura de los árboles de 10,8 y 8,0 m en la Precordillera y Valle Central, respectivamente (Bonomelli y Suárez 1999a).

En el caso del P el reciclaje varió entre menos de 1 kg P ha⁻¹ en el segundo año a entre 1,3 y 1,8 kg P ha⁻¹ en el tercer año. Por otra parte, el contenido de K de las hojas caídas en el tercer año varió entre 6 y 16 kg ha⁻¹, valor bajo, ya que gran parte del K que se recicla se incorpora al suelo con el agua de lluvia al arrastrar el K libre de las hojas antes de su caída. Attiwill *et al.* (1996) señalaron que un 42% del K se devuelve por la acción lixiviante de las precipitaciones. Huber *et al.* (1986)

también lo han reportado en bosques de *Pinus radiata*.

Finalmente, los contenidos de Ca, Mg y B que se reciclaron fueron de alrededor de 100, 10 y 0,3 kg ha⁻¹, respectivamente, en el último año de medición en los sitios experimentales. Las cantidades de nutrientes que se reciclan tienden a mantenerse constantes en el tiempo, después del cierre del dosel de los árboles, por lo que los valores de reciclaje determinados en el tercer año de crecimiento pueden ser similares en los años posteriores. En la literatura se encuentran distintos estudios en que se cuantifica la cantidad de nutrientes que se reciclan; es así como Frederick *et al.* (1985b) en *Eucalyptus regnans* determinaron que la cantidad anual de nutrientes en las hojas caídas era de 51 kg N ha⁻¹, 3 kg P ha⁻¹, 15 kg K ha⁻¹ y de 10 kg Mg ha⁻¹. En esta misma especie para un quinto año de crecimiento se cualificaron 55 kg N ha⁻¹, 2,3 P ha⁻¹ y 9,3 kg K ha⁻¹ (Polglase y Attiwill 1992). En otro estudio de Frederick *et al.* (1986) se señala para *Eucalyptus nitens* de cuatro años de edad un contenido anual de nutrientes en hojas caídas de 46,7 kg N ha⁻¹, 2,7 kg P ha⁻¹ y 11,5 kg K ha⁻¹. George y Varghese (1991) determinaron un reciclaje de nutrientes de 58 kg N ha⁻¹ y 4 kg P ha⁻¹ para *Eucalyptus globulus* de 10 años. En árboles de *Eucalyptus grandis* de 27 años Turner (1986) determinó un contenido anual de nutrientes reciclados de 35 kg N ha⁻¹, 1,3 kg P ha⁻¹ y 7,1 kg K ha⁻¹.

CUADRO 7

Contenido de nutrientes de las hojas caídas de los árboles fertilizados.
Nutrient content of fallen leaves from fertilized trees.

Sitio experimental	Año	Contenido de nutrientes de hojas caídas					
		(kg ha ⁻¹)					(g ha ⁻¹)
		N	P	K	Ca	Mg	B
Precordillera - <i>E. nitens</i>	0-1	0,04	0,003	0,008	0,04	0,002	0,05
	1-2	6,5	0,3	1,95	15	1,7	48
	2-3	46	1,8	16	122	12	455
Valle Central - <i>E. globulus</i>	0-1	0,05	0,004	0,01	0,03	0,005	0,15
	1-2	4,9	0,3	0,8	10	1,4	35
	2-3	29	1,3	6	89	10	236

En el inicio de la plantación el N del suelo se encontraba en un equilibrio, dado por las entradas de N al suelo del agrosistema cerealero-ganadero. Conocidos los rendimientos o producción de biomasa del sistema y su manejo es posible calcular las entradas de N y salidas del sistema en equilibrio. Diversos estudios (Rodríguez 1993) realizados en agrosistemas cerealeros-ganaderos de la VII y VIII Región indican que con un manejo tradicional en la Precordillera las entradas de N variarían entre 40 y 50 kg N ha⁻¹ y las del Valle Central entre 20 y 30 kg N ha⁻¹. Esto indicaría que dado que las entradas de N del reciclaje en el sistema forestal se encuentran entre 30 y 46 kg N ha⁻¹, el nuevo equilibrio sería muy similar al anterior sistema productivo. El caso del reciclaje de P es muy bajo, el reciclaje de los otros nutrientes es una forma de mantener la fertilidad natural del suelo.

Redistribución interna de nutrientes. La redistribución de N y P de las hojas se refiere a la diferencia de concentración entre las hojas cuando están verdes en el árbol y cuando son senescentes y caen, considerando además su biomasa (Bargali y Singh 1991). Turner y Lambert (1983) coinciden con lo anterior y agregan que la redistribución de nutrientes juega un rol muy importante porque representa un porcentaje alto del requerimiento de nutrientes del árbol, lo que produce que la deman-

da neta del árbol sea inferior a la demanda total. La redistribución es un proceso que ocurre en todos los árboles y forma parte del ciclo interno de nutrientes. Crane y Banks (1992), en su trabajo en *P. radiata*, señalaron que los requerimientos de N para formar la biomasa se pueden explicar sólo si se considera la redistribución. Beets y Pollock (1987), también en *P. radiata*, determinaron que la reutilización cubre parte de la demanda de N. En diversos trabajos en *P. radiata* Fife y Nambiar (1982, 1984) y Nambiar y Fife (1987) señalaron que la redistribución de nutrientes desde las hojas y otros componentes como la corteza y la madera es esencial para el crecimiento continuo de los árboles, sobre todo es importante después del cierre del dosel y se produce en respuesta a la demanda de crecimiento. La redistribución no es una adaptación a condiciones ambientales adversas, sino que es una característica de los árboles. Después de la iniciación de las hojas hay un rápido incremento en peso, cuando éste se detiene el N, P y K de las hojas comienzan a redistribuirse, lo que ocurre debido a la competencia por las reservas internas que produce el nuevo crecimiento como brotes y nuevas hojas (Bañados 1993). Legaz *et al.* (1995), en cítricos, estudian la movilización o redistribución de N y señalan que éste se mueve desde las hojas hacia nuevos órganos en crecimiento y sirve para suplir el requerimiento de los nuevos órganos. Por lo tanto, las hojas tienen una

CUADRO 8

Reciclaje y redistribución de N en el segundo y tercer año de crecimiento.
Recycling and distribution of N during the second and thud year of growth.

Sitio experimental	Reciclaje de N (kg ha ⁻¹)				Redistribución de N (kg ha ⁻¹)			
	Años							
	1-2		2-3		1-2		2-3	
	NF	F	NF	F	NF	F	NF	F
Precordillera - <i>E. nitens</i>	2	7	19	46	5	18	62	130
Valle Central - <i>E. globulus</i>	1	5	15	29	1	9	30	72

NF: no fertilizado, F: fertilizado.

función efectiva como reservórios de N y aportan en el momento de floración con más del 70% del N requerido.

En el cuadro 8 se muestra el reciclaje y la redistribución de N en el segundo y tercer año de crecimiento de los árboles no fertilizados y fertilizados. La redistribución interna de N en el segundo año de crecimiento varió entre 1 y 5 kg N ha⁻¹ en los árboles no fertilizados y en los fertilizados entre 9 y 18 kg N ha⁻¹, y entre 30 y 62 kg N ha⁻¹ en el tercer año en los árboles del tratamiento no fertilizado y de 72 a 130 kg N ha⁻¹ en el fertilizado. La cantidad de N que recircula en los árboles es mayor en los *E. nitens* de la Precordillera, siendo la cantidad de N que se redistribuye alrededor de un 50% más que en el Valle Central.

El porcentaje de N redistribuido de las hojas se encuentra en el cuadro 9 para los árboles fertilizados y no fertilizados de los distintos sitios experimentales. El porcentaje de N redistribuido en los distintos años y sitios fue entre 41 y 74% del N acumulado en las hojas. A las cantidades reutilizadas de la hoja cabría añadir las de las ramas, ramillas, corteza, que antes de caer redistribuyen parte de sus contenidos de nutrientes. La cantidad de N redistribuido de esos tejidos es menor, ya que sus concentraciones de N son muy inferiores a las de las hojas. De acuerdo a Pereira *et al.* (1989), en trabajos de fertilización en *E. globulus*, la redistribución es más de un 60% y ocurre independiente de los tratamientos. En *E. regnans* para N y P se encontró que el porcentaje

de redistribución era entre 70 y 78% (Grove *et al.* 1996). En *P. radiata* Crane y Banks (1992) con trabajos de fertilización en Australia señalaron que la proporción de N que se redistribuye es alrededor del 50%, lo que se repite en los diferentes tratamientos. Por su parte, Beets y Pollock (1987) presentaron resultados de trabajos en *P. radiata* en Nueva Zelanda y coinciden en que la redistribución de N de las hojas es de un 50%, pudiendo variar hasta un 65%.

El porcentaje de redistribución interna de P de las hojas osciló entre 58 y 86%, con un promedio de alrededor de 75% ligeramente superior al caso del N (cuadro 10). De acuerdo a Pereira *et al.* (1989) la redistribución de P de las hojas es entre 60 y 70%.

La redistribución se inicia significativamente en el segundo año y crece en el tercer año, alcanzando su magnitud máxima cuando el árbol ha completado su estructura foliar. Durante este período los árboles dependen fundamentalmente del suministro de nutrientes del suelo y de la fertilización. Como la demanda de nutrientes ya desde el segundo año es significativa (Bonomelli y Suárez 1999b), la reutilización de los nutrientes ayuda a superar los déficits nutricionales que pueden presentarse. Después del cierre del dosel, la redistribución interna contribuye a una nutrición equilibrada, aun con un bajo suministro del suelo. Turner y Lambert (1983) señalaron que en eucalipto de 27 años la redistribución contribuye con aproximadamente 35% del requerimiento anual de

CUADRO 9

Porcentaje de redistribución de N en árboles no fertilizados y fertilizados en el segundo y tercer año de crecimiento.
Percentage of redistribution of N in fertilized and unfertilized trees during the second and third year of growth

Sitio experimental	Porcentaje de redistribución de N			
	1-2 años		2-3 años	
	NF	F	NF	F
Precordillera <i>E. nitens</i>	67	70	74	72
Valle Central - <i>E. globulus</i>	41	44	61	65

CUADRO 10

Reciclaje y redistribución de P en el segundo y tercer año de crecimiento de árboles fertilizados.
Recycling and distribution of P in the second and third year of growth for fertilized trees.

Sitio experimental	Reciclaje de P		Redistribución de P			
	Años		Años			
	1-2	2-3	1-2		2-3	
	kg P ha ⁻¹	kg P ha ⁻¹	kg P ha ⁻¹	%	kg P ha ⁻¹	%
Precordillera <i>E. nitens</i>	0,3	2	0,78	77	5,6	86
Valle Central- <i>E. globulus</i>	0,3	1	0,38	58	3,0	83

N, considerando que son árboles de baja productividad y que su demanda anual es baja. Valores más altos señalan Crane y Banks (1992), quienes indican que en *P. radiata* entre un 50 y 75% del N requerido proviene de la redistribución, lo que corresponde alrededor de 60 kg N ha⁻¹ a los seis años de edad.

CONCLUSIONES

La biomasa de hojas caídas alcanzó en el segundo año valores entre 93 y 354 kg ha⁻¹ en árboles no fertilizados y entre 482 y 984 kg ha⁻¹ en árboles

fertilizados. En el tercer año varió entre 2.113 y 3.570 kg ha⁻¹ en sitios no fertilizados y entre 3.841 y 6.978 kg ha⁻¹ en aquellos fertilizados. La caída ocurre principalmente durante los meses de primavera y verano, en los cuales se produce mayor estrés hídrico. En cantidad de N reciclada representó en la tercera temporada de estudio entre 15 y 19 kg N ha⁻¹ en árboles no fertilizados y de 29 y 46 kg N ha⁻¹ en fertilizados en el Valle Central y Precordillera, respectivamente. El reciclaje de P de las hojas caídas no superó los 2 kg P ha⁻¹ en los diferentes sitios. Por otra parte, las hojas caen con una baja concentración de N y P, debido a que una vez que alcanzan su desarrollo redistribuyen el N y

P hacia otras partes de la planta. Esto significó en árboles no fertilizados entre 30 y 62 kg N ha⁻¹ y en árboles fertilizados entre 72 y 130 kg N ha⁻¹ y 3,0 y 5,6 kg P ha⁻¹ al tercer año de crecimiento, observándose siempre valores más altos en la Precordillera, sitio de mayor disponibilidad de humedad en el suelo, con *E. nitens* en comparación con los *E. globulus* del Valle Central.

BIBLIOGRAFIA

- ADAMS, M., P. ATTIWILL. 1991. "Nutrient balance in forests of Northern Tasmania I Atmospheric inputs and within stand cycles", *For. Ecol. Manage.* 44: 93-113
- ALVAREZ, J., J. RODRIGUEZ, D. SUAREZ. 1999. "Mejoramiento de la productividad de plantaciones de *Pinus radiata* D. Don, a través de un método racional de fertilización", *Bosque* 20(1): 23-36.
- ATTIWILL, P. 1979. "Nutrient cycling in a *E. obliqua* forest. III. Growth, biomass and net primary production", *Aust. J. Bot.* 27: 439 - 458.
- ATTIWILL, P., P. POLGLASE, C. WESTON, M. ADAMS. 1996. Nutrient cycling in forests of South - Eastern Australia En: Attiwill, P. y M. Adams editores *Nutrition of Eucalyptus*. CSIRO Publishing Australia. 440 p.
- BAKER, T. 1983. "Dry matter, nitrogen and phosphorus content of litterfall and branchfall in *Pinus radiata* y eucalyptus forests". *N. Z. J. F. Sci.* 13: 205-221.
- BARGALI, S., P. SINGH. 1991. "Aspects of productivity and nutrient cycling in an 8 year old Eucalyptus plantation in a moist plain area adjacent to Central Himalaya, India", *Can. J. For. Res.* 21: 1365-1372.
- BAÑADOS, P. 1993. Reservas nitrogenadas. En: Seminario Avances Recientes en Nutrición de plantas frutales y vides. Facultad de Agronomía Pontificia Universidad Católica de Chile 5 y 6 de agosto Santiago, Chile.
- BARROS, N., R.F. NOVAIS. 1996. Eucalypt nutrition and fertilizer regimes in Brazil En: Attiwill, P. y M. Adams editores *Nutrition of Eucalyptus*. CSIRO Publishing Australia. 440 p.
- BEEETS, P., D. POLLOCK. 1987. "Uptake and accumulation of nitrogen in *Pinus radiata* stands as related to age and thinning", *N. Z. For. Sci.* 17: 353-371.
- BRAY, J., E. GORHAM. 1964. "Litter production in forest of the world", *Adv. Eco. Res.* 2: 101-157.
- BONOMELLI, C., D. SUAREZ. 1999a. "Fertilización del eucalipto 1. Efecto sobre la acumulación de biomasa", *Ciencia e Inv. Agr.* 26: 1-10.
- BONOMELLI, C., D. SUAREZ. 1999b. "Fertilización del eucalipto 2. Acumulación de nitrógeno, fósforo y potasio", *Ciencia e Inv. Agr.* 26: 11-19.
- CRANE, W., J. BANKS. 1992. "Accumulation and retranslocation of foliar nitrogen in fertilized and irrigated *Pinus radiata*", *For. Ecol. Manage.* 52: 201-223.
- DE FREITAS, V., R. NOVAIS, N. BARROS, M. FERREIRA, L. DACOSTA. 1995. Balance nutricional, eficiencia de utilización y evaluación de la fertilidad del suelo en P, K, Ca y Mg, en parcelas con *Eucalyptus saligna*, en Rio Grande do Sul, Brasil En: Simposio IUFRO Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia, abril 1995, pp. 181-194.
- FIFE, D., E. NAMBIAR. 1982. "Accumulation and retranslocation of mineral nutrients in developing needles in relation to seasonal growth of young radiata pine trees", *Annals of Botany* 50: 817- 829.
- FIFE, D., E. NAMBIAR. 1984. "Movement of nutrients in radiata pine needles in relation to the growth of shoots", *Annals of Botany* 54: 303-314.
- FREDERICK, J., H. MADGWICK, F. JURGENSEN, G. OLIVER. 1985(a). "Dry matter, eneigy, and nutrient contents of 8 year old stands of *Eucalyptus regnans*, *Acacia dealbata*, and *Pinus radiata* in New Zealand" *N. Z. J. For. Sci.* 15: 142-157.
- FREDERICK, J., H. MADGWICK, F. JURGENSEN, G. OLIVER(b). 1985. "Dry matter content and nutrient distribution in an age senes of *Eucalyptus regnans* plantations in New Zealand", *N. Z. J. For. Sci.* 15: 158-179.
- FREDERICK, J., H. MADGWICK, F. JURGENSEN, G. OLIVER. 1986. "Seasonal development of a young plantation of *Eucalyptus nitens*", *N. Z. J. For. Sci.* 16: 78-86.
- GEORGE, M., G. VARGHESE. 1991. "Nutrient cycling in *Eucalyptus globulus* plantation III Nutrients retained, returned uptake and nutrient cycle", *Indian Forester* 117: 110-116.
- GROVE, S., B. THOMSON, N. MALAJCZUK. 1996. Nutritional physiology of eucalypts: Uptake, distribution and utilization En: Attiwill, P. y M. Adams editores. *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO Publishing Australia. 440 p.
- HUBER, A., J. SCHLATTER, C. OYARZUN. 1986. "Aporte en elementos nutritivos por la hojarasca de un bosque adulto de *Pinus radiata*" *Bosque* 7(2): 59-64.
- INIA. 1985. *Suelos Volcánicos de Chile*. Tosso, J. Editor. Publicación del Instituto de Investigaciones Agropecuarias (INIA). 723 p.
- JUDD, T. 1996. Simulated nutnent losses due to timber harvesting in highly productive eucalypt forests and plantations En: Attiwill, P. y M. Adams editores *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO Publishing. Australia, 440 p.
- KNIGHT, P., D. NICHOLAS. 1996. Eucalypt nutrition: New Zealand experience En: Attiwill, P. y M. Adams editores *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO Publishing Australia. 440 p.
- LEGAZ, F., M. SERNA, E. PRIMO-MILLO. 1995. "Mobilization of the reserve N in citrus", *Plant and Soil* 173: 205-210.
- MADEIRA, M., J. PEREIRA. 1995. "Productivity, nutrient immobilization and soil chemical properties in an *Eucalyptus globulus* plantation under different irrigation and fertilization regimes", *Water Air Soil Pollut.* 54: 621-634.
- NAMBIAR, E., D. FIFE. 1987. "Growth and nutrient retranslocation in needles of radiata pine in relation to nitrogen supply", *Annals of Botany* 60: 147-156.
- NEGI, J., S. SHARMA. 1996. Mineral nutrition and resource conservation in Eucalyptus plantations and other forest covers in India En: Attiwill, P. y M. Adams editores *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO Publishing Australia. 440 p.
- NOBLE, A. 1992. *Nutrition of eucalypts on the Zululand sands*. I.C.F.R. Bulletin Series N° 29/92.46 p.
- NOBLE, A., M. HERBERT. 1989. Estimated nutrient removal in a short rotation *E. grandis* crop on a fernwood soil I.C.F.R. Annual Report: 139-150.
- O'CONNELL, A., T. GROVE. 1996. Biomass production, nutrient uptake and nutrient cycling in the Jarrah and Karri forests of South - Western Australia. En: Attiwill, P. y M. Adams editores. *Nutrition of Eucalypts*. CSIRO Publishing Australia, 440 p.
- PEREIRA, J., S. LINDER, M. ARAUJO, H. PEREIRA, J. LANDSBERG. 1989. Optimization of biomass production in *Eucalyptus globulus* plantations a case study. En: Biomass production by fast glowing trees. (Pereira, J. y J. Landsberg, eds.) 101-121.
- POLGLASE, P., P. ATTIWILL. 1992. "Nitrogen and phosphorus cycling in relation to stand age in *Eucalyptus*

- regnans. N mineralization and nitrification" *Plant and Soil* 142: 167-176.
- RODRIGUEZ, J. 1993. La fertilización de los cultivos Un método racional. Colección en Agricultura. Pontificia Universidad Católica de Chile. 291 p.
- SADZAWKA, A., M. PERALTA, M. IBARRA, J. PERALTA y J. FUENTES. 1995. Características químicas de suelos forestales chilenos. En: Simposio IUFRO. Manejo nutritivo de plantaciones forestales. Valdivia, abril 1995. Pp. 17-37.
- TURNER, J. 1986. "Organic matter accumulation in a series of *E. grandis* plantations". *For. Ecol. Manage.* 17: 231-242.
- TURNER, J., M. LAMBERT. 1983. "Nutrient cycling within a 27 year old *E. grandis* plantation in New South Wales", *For. Ecol. Manage.* 6: 155-168.