

UNIVERSIDAD DE LA REPÚBLICA

FACULTAD DE AGRONOMÍA

**EXTRACCIÓN Y RECICLAJE DE NUTRIENTES POR COSECHA DE
EUCALYPTUS GLOBULUS Y *EUCALYPTUS MAIDENII***

Por

Daniel Alejandro GONZÁLEZ TORRES

Tesis presentada como uno de los requisitos para
obtener el título de Magíster en Ciencias Agrarias
Opción Ciencias del Suelo

**MONTEVIDEO
URUGUAY
2008**

UNIVERSIDAD DE LA REPUBLICA ORIENTAL DEL URUGUAY
FACULTAD DE AGRONOMIA
PROGRAMA DE POSGRADO
MAESTRIA EN CIENCIAS AGRARIAS-OPCIÓN CIENCIAS DEL SUELO

Autor: D. Alejandro González _____

Director: Jorge Hernández _____

Aprobada por:

Amabelia del Pino _____

José Zamalvide _____

Ana Terzaghi _____

Fecha de aprobación _____

Agradecimientos

A los Ingenieros Jorge Hernández, Amabelia del Pino y José Zamalvide, por guiarme y acompañarme durante estos cuatro años.

Al departamento de Suelos de Facultad de Agronomía, desde sus profesores hasta sus funcionarios, por haberme recibido como un compañero más durante todo este tiempo.

A mis compañeros de maestría, mis amigos y mis padres.

A Alejandra y Anahí, por estar junto a mi y apoyarme siempre en todas mis decisiones.

A la Facultad de Agronomía, que me ha dado sin pedirme nada a cambio primeramente mi formación de grado y ahora la de postgrado.

Índice

Introducción general-----	pág. v
Resumen-----	pág. 1
Summary-----	pág. 2
Introducción-----	pág. 3
Materiales y Métodos-----	pág. 8
Sitios experimentales-----	pág. 8
Evaluación de la biomasa aérea al momento de la cosecha-----	pág. 9
Estudio de descomposición de restos de cosecha-----	pág. 10
Análisis químicos-----	pág. 12
Índices de eficiencia de uso de nutrientes y modelo de descomposición de restos-----	pág. 13
Resultados y Discusión-----	pág. 14
Extracción de nutrientes-----	pág. 14
<i>E. globulus</i> -----	pág. 14
<i>E. maidenii</i> -----	pág. 21
Distribución de la concentración de nutrientes en el fuste-----	pág. 27
Eficiencia de Uso de los nutrientes-----	pág. 30
Descomposición de restos de cosecha-----	pág. 33
Conclusiones-----	pág. 42
Referencias Bibliográficas-----	pág. 45

Introducción General

Se denomina biomasa forestal a las estructuras orgánicas boscosas originadas a través de un proceso biológico basado en la fotosíntesis; parte de ésta es utilizada a nivel industrial y parte se convierte en residuo forestal, o sea, materiales que se desprenden en los aprovechamientos madereros y no son extraídos habitualmente por no ser convertibles en subproductos del proceso industrial.

La sustentabilidad de la producción forestal se basa en gran medida en la elección de las técnicas de manejo más apropiadas tendientes a la conservación de los recursos naturales, teniendo en cuenta al suelo como uno de ellos, se destaca como relevante el control de la erosión, un balance adecuado de los ciclos de los nutrientes, así como también una buena conservación del agua en el perfil del suelo.

Desde el punto de vista ecológico no sólo es importante la productividad sino también el mantenimiento del equilibrio en el largo plazo, que depende en gran medida del reciclaje de nutrientes, y por tanto, de la aplicación de prácticas que involucren una conservación de los residuos de la cosecha.

La sustitución de la vegetación natural por otras especies como las forestales acarrear modificaciones en la composición química, física y biológica del suelo, lo cual influye directamente sobre la actividad de los microorganismos presentes en el suelo y por tanto sobre la descomposición de los restos vegetales y animales.

El mantenimiento de la productividad de los bosques a lo largo de las diferentes rotaciones está en directa relación con el reciclaje de nutrientes, por lo cual es fundamental cuantificar las cantidades de nutrientes extraídas por parte de las plantaciones forestales comerciales, las cuales generalmente son altas, aunque existen en la literatura mundial trabajos con información muy variada.

Gonçalves et al. (1997) establecen una relación directa entre la tasa de crecimiento y la acumulación de nutrientes en eucalipto; por su parte Ericsson (1994) indica que los ciclos de cosecha cortos, asociados con altas concentraciones de nutrientes en los tejidos, aumentan las pérdidas de nutrientes por unidad de tiempo y superficie. El mismo autor sostiene además que la asimilabilidad de elementos como Ca y Mg, los cuales generalmente son tomados en exceso para los requerimientos de la especie, puede llegar a ser un problema para futuras rotaciones, al ser extraídos en exceso del suelo.

Por lo tanto, la cuantificación del contenido de nutrientes extraídos en plantaciones forestales, y el conocimiento de la relación entre la exportación de nutrientes y aquellos que quedan disponibles en el suelo, son importantes a la hora de definir las estrategias de manejo con vistas al mantenimiento de la sostenibilidad del ecosistema (Spangenberg et al., 1996).

Møller (2000), estudió el efecto de diferentes intensidades de cosecha en la exportación de distintos nutrientes, encontrando que las cantidades removidas durante la cosecha de ejemplares enteros (en raleos), fueron significativamente mayores a aquellas cuando sólo se extrajo el fuste, independientemente de si el árbol era extraído inmediatamente del rodal o si se retiraba seis meses después. Al mismo tiempo, el secado del árbol en el sitio redujo la cantidad de nutrientes removidos entre un 20 y 45 % comparada con la extracción inmediata en verde. Asimismo, se pueden esperar efectos contrarios en el reciclaje de nutrientes ante la aplicación de prácticas intensivas, tales como la quema o la remoción total de la biomasa por cosecha (Binkley, 1993).

Otro de los factores importantes en las cantidades de nutrientes extraídas es el tipo de suelo, dadas las diferencias que existen en cuanto al material de origen y los contenidos de materia orgánica entre suelos, los cuales determinan el reservorio de nutrientes para las plantas (Turvey y Smethurst, 1994). En Brasil, trabajos realizados por Gonçalves et al. (1997) en *Eucalyptus grandis* de 7 años, encontraron contenidos de nutrientes en las diferentes partes del árbol similares a los extraídos por plantaciones realizadas en Argentina de la misma especie y edad (Goya et al., 1997). Por el contrario, en ambos casos los valores encontrados fueron inferiores a los correspondientes a montes de *Eucalyptus* de Australia (Judd et al., 1996).

Frederick et al. (1985) encontraron una alta tasa de reciclaje de nutrientes tanto para hojas como para mantillo en plantaciones de *Eucalyptus* en crecimiento de distintas edades en Nueva Zelanda, comparado con plantaciones similares de Australia; este mayor retorno de nutrientes estaría asociado a un clima más húmedo en el primero respecto al segundo.

Herbert (1992), estudiando distintas especies de *Eucalyptus*, menciona diferencias importantes en el reciclaje de nutrientes luego de la cosecha, citando que para *E. nitens* hay un 50 % más de retorno de nutrientes respecto a *E. grandis*.

Smith et al. (1994) destacan la importancia de mantener los residuos en superficie, siendo considerada una estrategia adecuada ya que representa una reserva de nutrientes proporcionalmente importante; al mismo tiempo establecen que las prácticas que implican remoción o quema de los residuos producirán impactos negativos en la productividad, tanto por la

disminución de la materia orgánica, como por la reducción en la cantidad de nutrientes. Para Gonçalves et al. (1997), mantener el suelo con residuos en superficie mejora las diferentes propiedades químicas, físicas y biológicas del mismo, produciendo como resultado una mejora en la calidad del suelo.

Santana et al. (2000) indicaron que aunque la corteza de los árboles de *Eucalyptus* representa sólo entre el 10 y 18 % del total cosechado, presenta un alto contenido de nutrientes (el 73 % del Ca, el 65 % del Mg, el 46 % del P, el 41 % del K y el 24 % del N, como promedios de las especies estudiadas). Por lo tanto, el descortezado en el campo puede reducir sustancialmente la exportación de nutrientes, lo cual puede conducir a una mayor sostenibilidad o menor utilización de fertilizantes en plantaciones forestales de *Eucalyptus* en Brasil. Justamente esto determinaría mejores posibilidades de mantener niveles de nutrientes en el suelo, próximo al nivel crítico o por encima del mismo (Morais, 1990).

La incorporación de residuos en el suelo implica una aceleración de los procesos biológicos, lo cual provoca consecuentemente un incremento en la descomposición de la materia orgánica, así como cambios en la dinámica del N (Pérez-Batallón et al., 2001). Tanto en esta situación como cuando los restos fueron dejados sobre la superficie, los autores encontraron una inmovilización neta de N. En otro trabajo, Norris et al. (1994) observaron un aumento en el pH y los cationes intercambiables del suelo a los cuatro meses del quemado de restos de cosecha de híbridos de eucalipto, lo que determinó diferencias en el crecimiento de los árboles de la re-forestación respecto a la situación en la cual los restos fueron dejados sobre la superficie sin quemar. Sin embargo, debido a que las plantas aún eran pequeñas, las tasas de absorción de los nutrientes fue escasa y, por lo tanto, la mayoría de estos nutrientes se perdieron por lixiviación, lo cual se tradujo en niveles más altos de cationes en las parcelas con restos descompuestos en superficie y sin quemar. La velocidad de descomposición de los restos así como el reciclaje posterior de los nutrientes contenidos en ellos depende además de la composición química de estos. Trinsoutrot et al. (2000) concluyeron que relaciones C: N mayores a 25 determinan un efecto neto de inmovilización, mientras que relaciones C: N inferiores a 25 promueven mineralización neta de nitrógeno. Burgess et al. (2002) indican que tanto el contenido de N en los restos como la relación C: N son muy importantes en determinar la velocidad de descomposición de los materiales vegetales. En el mismo sentido, Mary et al. (1996) establecen que si bien los microorganismos basan su actividad en la disponibilidad de C, necesitan también cierta cantidad

de los demás nutrientes, enlenteciéndose la descomposición ante la escasez de alguno de ellos. Cuando los restos presentan un gran volumen y por tanto escaso contacto con el suelo, el N mineral del suelo es inmovilizado por la biomasa microbiana, proveyendo de este modo el N necesario para el crecimiento de los microorganismos (Ambus and Jenssen, 2001).

La concentración de sustancias lábiles como compuestos orgánicos solubles determina también diferencias en la velocidad de degradación de los restos de cosecha. En tal sentido, Hernández et al. (com. pers.) estudiando la descomposición de residuos en *E. dunnii* de 9 años de edad encontraron mayores contenidos de C orgánico soluble en hojas respecto a ramas, despuntes y corteza, estableciendo para la fracción hojas una descomposición anual muy superior comparada con las otras fracciones.

La concentración de polifenoles, así como lignina, en los diferentes restos también son importantes en la velocidad de degradación de los distintos residuos de la cosecha forestal. Lovett et al. (2004) y Verkaik et al. (2006) determinaron que los polifenoles reducen la actividad microbiana y producen cambios en la comunidad de los microorganismos, tanto por toxicidad como por inhibición, provocando consecuentemente una disminución en la velocidad de degradación de los restos.

1 **EXTRACCION Y RECICLAJE DE NUTRIENTES POR COSECHA DE *EUCALYPTUS***

2 ***GLOBULUS Y EUCALYPTUS MAIDENII***

3 **GONZÁLEZ TORRES Daniel Alejandro¹**

4 **¹Ing. Agr. Dpto. Investigación y Desarrollo de ENCE**

5 **Resumen**

6 Las plantaciones forestales realizan una alta extracción de nutrientes, aunque cierto porcentaje es
7 reciclado mediante residuos de cosecha. Los objetivos del trabajo fueron: a) cuantificar la
8 concentración y distribución de nutrientes en componentes de cosecha de *Eucalyptus globulus* y
9 *Eucalyptus maidenii*; b) cuantificar las tasas de descomposición de restos de *Eucalyptus globulus*
10 en función del tiempo, y el reciclaje de nutrientes al suelo. Se cosecharon 24 árboles con medidas
11 en el entorno al promedio (DAP, altura) de dos plantaciones (*E. globulus* y *E. maidenii*) de 10
12 años de edad. Se cuantificó la materia seca de biomasa aérea, así como la concentración y
13 distribución de N, P, K, Ca y Mg en trozas, ramas, corteza y hojas. Para *E. globulus* se estudió la
14 descomposición de restos “in situ” durante 24 meses, mediante muestreos sucesivos de hojas,
15 ramas y corteza. El 75% de la biomasa aérea fue madera comercial, la cual exportó en promedio
16 44% del P, 30% del Mg, 28% del N, 18% del Ca y 17% del K. La eficiencia de uso de los
17 nutrientes fue mayor en *E. globulus*. En esta especie, la descomposición promedio de los restos
18 fue 30% de la biomasa inicial, siendo las hojas quienes perdieron mayor proporción de masa
19 (68%) y nutrientes al término de 24 meses, mientras que la corteza fue más resistente a la
20 descomposición. El K se liberó rápidamente de los restos, mientras que el Ca mostró una pérdida
21 menor. Las disminuciones de N, P y Mg de las diferentes fracciones fueron más graduales,
22 proporcionales a la tasa de descomposición.

23 **Palabras claves:** tasa de descomposición, restos de cosecha, biomasa forestal.

**EXTRACTION AND RECYCLING OF NUTRIENTS AT HARVEST OF *EUCALYPTUS*
GLOBULUS AND *EUCALYPTUS MAIDENII***

Summary

1 Forest plantations extract high nutrient quantities along their growth period, although the
2 proportion exported after harvest is relatively low. The aims of the work were: a) To quantify the
3 concentration and distribution of nutrients in different components of harvest in *Eucalyptus*
4 *globulus* and *Eucalyptus maidenii*; b) To quantify decomposition rates of the harvest residues for
5 *Eucalyptus globulus* through the time, and the potential recycling of nutrients. In two 10 year-
6 plantations (*E. globulus* and *E. maidenii*), 24 trees with average size (height, DBH) were
7 harvested in each, measuring the dry matter of biomass and total extraction of nutrients (N, P, K,
8 Ca and Mg) of each component. For *E. globulus* an “in situ” decomposition study was made
9 during two years, with periodical sampling of leaves, branches and bark. For the commercial
10 logs, although these represented in average 75% of the biomass produced, a lower proportion of
11 nutrients were exported with them (44, 30, 28, 18 and 17% of P, Mg, N, Ca and K, respectively).
12 The nutrient use efficiency was higher in *E. globulus*. In this species there were differences in
13 decomposition velocity of the fractions, with an average of 30% of the total aerial biomass
14 residue, being the leaves the component that lost the highest proportion of mass (68% over 24
15 months) and nutrients, whereas the bark was the most resistant component. Potassium was
16 released faster than the others, whereas Ca was the lowest. The N, P and Mg decreases of the
17 different components were more gradual, proportional to decomposition rates.

18 **Keywords:** decomposition rates, harvest residues, forest biomass

1 **Introducción**

2 Para que la producción forestal pueda ser sostenible en el tiempo es muy importante la elección
3 de técnicas de manejo de suelos adecuadas, que tengan en cuenta el control de la erosión, un
4 balance adecuado de los nutrientes, además de una buena conservación del agua disponible. Es
5 por ello que no sólo la productividad es importante sino también el mantenimiento del equilibrio
6 a largo plazo, el cual depende en gran medida del reciclaje de nutrientes y consecuentemente de
7 la aplicación de prácticas que promuevan la conservación de los residuos de cosecha.

8 Considerando que el mantenimiento de la productividad de los bosques a lo largo de las
9 diferentes rotaciones está en directa relación con el reciclaje de nutrientes, es importante
10 cuantificar, por consiguiente, que proporción de las cantidades de nutrientes extraídas por parte
11 de las plantaciones forestales comerciales es reciclada. Spangenberg et al. (1996) establece que
12 tanto la cuantificación del contenido de nutrientes en las distintas plantaciones forestales, como el
13 conocimiento de la relación entre exportación de nutrientes y aquellos que quedan disponibles en
14 el suelo para su posterior reutilización, son importantes a la hora de definir las estrategias de
15 manejo con vistas al mantenimiento de la sostenibilidad del ecosistema.

16 Smith et al. (1994) destacan, por un lado, la importancia de mantener los residuos de la cosecha
17 forestal en superficie, puesto que representan una reserva de nutrientes proporcionalmente
18 importante. También establecen que las prácticas que implican la remoción o quema de los
19 residuos producen impactos negativos en la productividad de los bosques en la reforestación,
20 tanto por una disminución de la materia orgánica del suelo como por la reducción en la cantidad
21 de nutrientes disponibles. En igual sentido, Gonçalves et al. (1997), expresan que mantener el
22 suelo con residuos en superficie mejora las diferentes propiedades químicas, físicas y biológicas
23 del mismo, obteniendo como resultado una mejora en la calidad del suelo.

1 Para nuestro país no están caracterizadas aún las variaciones que puedan ocurrir tanto en la
2 extracción de nutrientes por parte del bosque, así como también en la posterior descomposición
3 de los residuos y reciclaje de los nutrientes, la velocidad de retorno al suelo y el estado de
4 disponibilidad de estos nutrientes. Cada una de estas variables dependerá, entre otras, de la
5 especie plantada (siendo las más utilizadas *E. globulus*, *E. maidenii*, *E. grandis*, *E. dunnii* y *P.*
6 *taeda*), el sitio, la edad de la plantación al momento de la cosecha, el método de cosecha utilizado
7 y el manejo posterior de los restos. La mayor parte de las investigaciones establecen que la
8 devolución de nutrientes al suelo varía según el nutriente en cuestión, su contenido en los restos,
9 y la tasa de descomposición de cada componente de cosecha. Además, las especies difieren en la
10 proporción de nutrientes exportados y reciclados por restos de cosecha. En Uruguay, Hernández
11 et al. (com. pers.), encontraron altas proporciones de nutrientes en los residuos de cosecha de una
12 plantación de *E. dunnii* de 9 años, siendo la exportación por trozas comerciales para todos los
13 nutrientes estudiados (N, P, K, Ca y Mg) inferior al 40 %, a pesar de que las trozas representaban
14 más del 60 % del total de la biomasa aérea del bosque. Igualmente, no puede aseverarse que los
15 mismos estén disponibles en su totalidad al momento de la reforestación.

16 El método de cosecha utilizado es un factor muy importante al momento de evaluar la proporción
17 de nutrientes exportados. El Uruguay presenta una importante heterogeneidad en los sistemas de
18 cosecha usados como también en el manejo posterior de los residuos del bosque. El
19 aprovechamiento del fuste varía desde un diámetro mínimo de 5 cm. a un máximo de 8 cm. según
20 la madera tenga como destino final el chipeo de la misma o la exportación como rolos para su
21 transformación en el exterior, respectivamente. Al mismo tiempo, la cosecha se realiza en forma
22 mecanizada, semimecanizada, o incluso manual, siendo distinta la distribución de los residuos
23 sobre el terreno según la metodología usada. Esto influye directamente en la velocidad de

1 descomposición de los restos así como también en el reciclaje posterior de los nutrientes
2 contenidos en éstos.

3 En tal sentido, Santana et al. (2000) indicaron que aunque la corteza de distintas especies de
4 *Eucalyptus* representa sólo entre el 10 y 18 % del total de la biomasa aérea cosechada, presenta
5 un alto contenido de nutrientes (73 % del Ca total extraído, 65 % del Mg, 46 % del P, 41 % del K
6 y 24 % del N en promedio de las especies estudiadas). Por lo tanto, el descortezado en el campo
7 reduciría sustancialmente la exportación de nutrientes, permitiendo la redistribución de estos
8 nutrientes y conduciendo así a una mayor sostenibilidad del sistema, así como también una menor
9 utilización de fertilizantes en las reforestaciones forestales de *Eucalyptus* en Brasil. Hernández et
10 al. (com. pers.), estudiando un bosque de *E. dunnii* de 9 años de edad, indican que la corteza si
11 bien representa solamente el 11.4 % de la biomasa aérea total, contiene una alta proporción de los
12 distintos nutrientes extraídos (52 % del total del Ca extraído, el 28 % del K, el 26 % del Mg, el 20
13 % del P y el 14 % del N).

14 La eficiencia de uso de los distintos nutrientes por parte de la masa boscosa se puede estimar a
15 partir de diferentes parámetros, entre otros, la cantidad de biomasa aérea total producida o de
16 trozas comerciales en relación a cada uno de los nutrientes absorbidos (EUN_1 y EUN_2 ,
17 respectivamente). Santana et al. (2000), en estudios realizados para distintas especies de
18 *Eucalyptus* en distintos estados de Brasil, con distintas condiciones climáticas y edáficas,
19 obtuvieron en el promedio de sitios y especies índices de eficiencia en uso de los nutrientes muy
20 elevados para P y Mg (5319 y 3095 kg de materia seca de biomasa aérea total kg^{-1} de nutriente
21 total absorbido, respectivamente) y menores para los nutrientes K, N y Ca (822, 589 y 513 kg de
22 materia seca de biomasa aérea total kg^{-1} de nutriente total absorbido, respectivamente). Morais et
23 al. (1990) para diferentes especies de *Eucalyptus* a los 8 años de edad en Brasil, obtuvieron
24 índices de eficiencia muy altos para P (6000 kg materia seca de biomasa total aérea producida

1 kg⁻¹ de nutriente total absorbido), alto para Mg (1030) y menores y muy similares entre si para
2 los nutrientes K, N y Ca (600, 450 y 400, respectivamente). Por su parte Laclau et al. (1999) en
3 plantaciones híbridas de *E. urograndis* en el Congo, encontraron eficiencias de uso menores
4 respecto al trabajo de Morais et al. (1990) para el P y más altos para los nutrientes K, Ca y Mg;
5 mientras tanto, para el N, obtuvieron resultados similares. Herbert (1996), para distintas especies
6 de *Eucalyptus* de 7 años de edad, en Sudáfrica, obtuvo resultados similares a los de Morais et al.
7 (1990) para todos los nutrientes estudiados (N, P, K, Ca y Mg).

8 Otra forma de evaluar la eficiencia de uso de los nutrientes es estimando la cantidad de materia
9 seca de trozas comerciales respecto a la cantidad de cada uno de los nutrientes existentes en esta
10 madera (Coeficiente de Utilización Biológica). Freitas Melo et al. (1995) obtuvieron para *E.*
11 *saligna* de 7 años en distintos sitios de Río Grande del Sur (Brasil), en promedio, índices de
12 eficiencia (CUB) muy altos para los nutrientes P y Mg (7490 y 4126 kg de materia seca de
13 madera producida por kg⁻¹ de nutrientes presentes en trozas, respectivamente) y menores para los
14 nutrientes K y Ca (933 y 931 kg de materia seca de madera producida por kg⁻¹ de nutrientes
15 presentes en trozas, respectivamente), lo que está en relación inversa con la concentración de
16 dichos nutrientes en la madera.

17 La velocidad de descomposición de los restos de cosecha y el posterior reciclaje de los nutrientes
18 al suelo varía según el clima, la especie, el manejo realizado a los restos, el nutriente en
19 consideración, como así también por la composición química de estos residuos. Herbert (1992)
20 estudiando diversas especies de *Eucalyptus* menciona importantes diferencias en el reciclaje de
21 los nutrientes luego de la cosecha del bosque, indicando que en *E. nitens* se encontró un 50 %
22 más de retorno de nutrientes respecto a *E. grandis*. Trinsoutrot et al. (2000) concluyeron que
23 relaciones C: N mayores a 25 determinan un efecto neto de inmovilización, mientras que

1 relaciones C: N inferiores a 25 promueven mineralización neta de N. En igual sentido, Burgess et
2 al. (2002) indican que tanto la relación C: N como el contenido de N en los restos son
3 determinantes en la velocidad de descomposición de los diferentes materiales vegetales.

4 Además del contenido de N y de la relación C: N de los restos, la degradación de los mismos es
5 determinada por las diferencias existentes en la concentración de sustancias lábiles como
6 compuestos orgánicos solubles. Hernández et al. (com. pers.) estudiando la descomposición de
7 residuos en un bosque de *E. dunnii* de 9 años de edad en Algorta (Uruguay) encontraron mayores
8 contenidos de C orgánico soluble en hojas respecto a las otras componentes de los residuos
9 (ramas, despuntes y corteza), estableciendo para la fracción hojas una tasa de descomposición
10 anual muy superior (0.92 años) comparada con las otras fracciones (3.51 años en ramas, 3.66
11 años en despuntes y 5.27 años en corteza). Rezende et al. (2001) en experimentos de incubación
12 en condiciones controladas para *E. grandis* en Brasil indican también mayores contenidos de C
13 orgánico soluble en hojas respecto a los otros residuos, con mayores tasas anuales de
14 descomposición para la fracción hojas (0.59 años).

15 Otro factor que influye en la velocidad de degradación de los restos de cosecha es la
16 concentración de polifenoles y lignina. En tal sentido, investigaciones de Lovett et al. (2004) y
17 Verkaik et al. (2006) establecen que los polifenoles reducen la actividad microbiana y producen
18 cambios en la comunidad de los microorganismos, que consecuentemente provocan una
19 disminución en la velocidad de degradación de los restos. Los contenidos de lignina en los
20 residuos también influyen en la velocidad de degradación de éstos, cuantos mayores son estos
21 contenidos, más resistentes a la descomposición son los materiales y por tanto menor es la
22 velocidad de degradación de los mismos.

23 Los objetivos del trabajo realizado fueron: a) cuantificar la concentración y distribución de N, P,
24 K, Ca y Mg en diferentes componentes de cosecha de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus*

1 *maidenii*; b) cuantificar las tasas de descomposición de los diferentes restos de cosecha de
2 *Eucalyptus globulus* en función del tiempo, y el reciclaje potencial de N, P, K, Ca y Mg al suelo.

3

4 **Materiales y Métodos**

5 **Sitios experimentales**

6 Los sitios experimentales se encuentran en paraje Palmitas (Sitio 1, finca “La Rosada”, Dpto. de
7 Soriano, situado a 57° 48' 25" W y 33° 25' 18"S) y Tres Bocas (Sitio 2, finca “Ingral 1”, Dpto. de
8 Río Negro, 57° 57' 01" W y 32° 50' 30" S). La región presenta en ambos casos un clima
9 templado (similar al resto del país, dada la ausencia de sistemas orográficos importantes). En
10 Palmitas la temperatura media anual es de 17.3° C, con una temperatura media de 10.9° C en el
11 mes más frío (junio), y una temperatura media de 24.3° C en el mes más cálido (enero), y
12 precipitaciones anuales promedio de 1130 mm; por su parte en Tres Bocas la temperatura media
13 anual es de 17.9° C, con una temperatura media en el mes más frío (junio) de 11.7° C y en el mes
14 más cálido (enero) de 24.8° C, siendo las precipitaciones anuales promedio de 1218 mm (fuente:
15 DNM, estadística climatológica 1961- 2000).

16 Los suelos de los experimentos corresponden a un Vertisol Rúptico Lúvico (sitio 1) y un Argisol
17 Dístrico Ócrico Abrúptico (en la medida que no presenta un horizonte álbico horizontalmente
18 continuo, sitio 2), de las Unidades Cuchilla del Corralito y Tres Bocas, respectivamente (DSF-
19 MAP, 1976). Para el Vertisol, la descripción textural indica un horizonte A franco-arcillo-
20 arenoso; mientras que el suelo Argisol presenta un horizonte A de textura franco-arenosa. En el
21 Cuadro 1 se indican algunos datos analíticos correspondientes a los suelos:

22

1 Cuadro 1. Datos analíticos correspondientes a los suelos de los sitios estudiados.

Predio/Horiz.	Profundidad	C orgánico	pH (H ₂ O)	pH (KCl)	Ca	Mg	K	Na
La Rosada	cm	g kg ⁻¹					cmol _c kg ⁻¹	
A	0-20	21.2	5.2	4.3	11.5	2.45	0.30	0.30
Bt	20-45	17.5	5.8	4.6	15.6	2.84	0.31	0.39
C	45 +	9.9	6.4	4.9	20.6	4.14	0.46	0.40
Ingral 1								
A	0-31	4.6	5.4	4.4	2.4	0.70	0.25	0.23
E	31-45	1.9	4.9	3.8	1.7	0.74	0.28	0.30
Bt	45-80	5.6	5.1	3.8	8.1	3.70	0.42	0.35
BC	80-1,07	3.3	5.2	4.0	6.5	3.04	0.29	0.28
C	1,07 +	2.6	5.2	4.1	7.0	3.33	0.30	0.29

2

3 Evaluación de la biomasa aérea al momento de cosecha

4 Los experimentos fueron realizados en rodales de *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*
 5 (sitios 1 y 2 respectivamente) de 10 años de edad, con destino a la producción de pasta de
 6 celulosa, y próximos a cosecha. El incremento medio anual (IMA) fue de 12.7 m³ ha⁻¹ año⁻¹ y
 7 22.1 m³ ha⁻¹ año⁻¹ para *Eucalyptus globulus* y *Eucalyptus maidenii*, respectivamente, los cuales se
 8 consideran dentro del promedio de cada especie para plantaciones realizadas a mediados de los
 9 años 90 en el litoral uruguayo.

10 Para cada sitio se seleccionaron 24 árboles con medidas cercanas al promedio, para lo cual se
 11 midieron todos los árboles existentes en una parcela de una hectárea (se midió el DAP: diámetro
 12 a la altura del pecho, 1.30 m, y la altura total de todos los árboles de la parcela). La densidad al
 13 momento de la cosecha fue de 970 árboles ha⁻¹ para el sitio 1 y 1050 árboles ha⁻¹ para el sitio 2.

1 Los 24 árboles seleccionados se apearon, separándose en cada uno de ellos los diferentes
2 componentes: trozas comerciales de 2.4 m, hasta diámetros ≥ 5 cm y restos de cosecha (corteza,
3 ramas gruesas, medias, finas y hojas). Para cada sitio se tomaron muestras de tres ramas tipo para
4 estimar las proporciones de ramas finas (< 1 cm), medias (entre 1 y 2 cm), gruesas (>2 cm) y
5 hojas en el total de la rama.

6 En cada árbol, cada fracción fue pesada por separado. A posteriori, se tomaron muestras del fuste,
7 mediante el corte de un disco en la porción basal de cada troza. De los restantes componentes de
8 cosecha, se tomaron muestras compuestas por árbol. Todas las muestras fueron pesadas, secadas
9 a 65° C, y vueltas a pesar, hasta peso constante, para determinar el contenido de humedad.

10 Posteriormente se tomó una submuestra de cada componente, para la molienda y determinación
11 posterior del contenido de nutrientes.

12 Se calculó la cantidad de biomasa aérea de los árboles por unidad de superficie (hectárea) en base
13 a los pesos tomados de los 24 ejemplares cosechados en la parcela, y al número de árboles por
14 hectárea. En base a estos datos se obtuvo el peso de la cosecha (trozas comerciales), así como de
15 cada uno de los restos de cosecha (ramas finas, medias, gruesas, corteza y hojas).

16

17 **Estudio de descomposición de restos de cosecha**

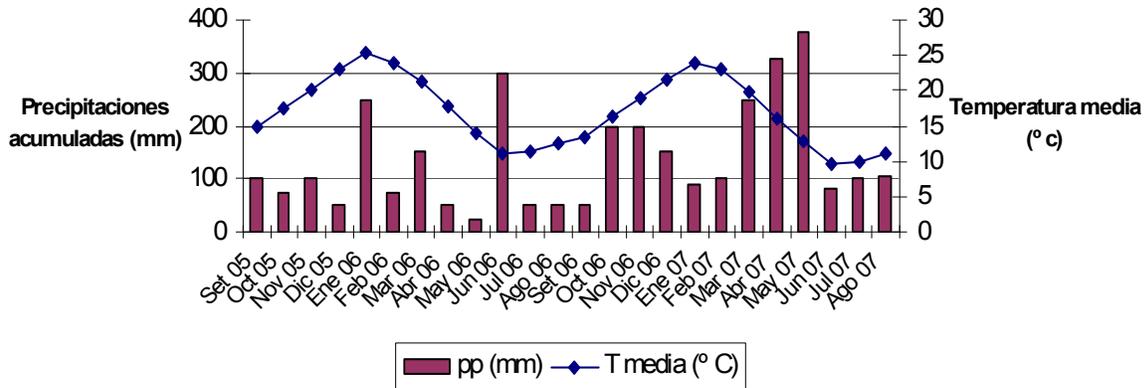
18 En el sitio 1 (Palmitas) se realizó un estudio de descomposición de restos “in situ” para lo cual se
19 pesaron 100 g de los diferentes restos de cosecha (ramas finas y medias, corteza y hojas)
20 colocándose en bolsas individuales de tejido de malla de fibra de 30x30 cm sobre el suelo. En
21 cada repetición se colocó sobre el conjunto de bolsas un tejido de malla de alambre para
22 protección. Se realizaron tres repeticiones de cada grupo de muestras (exclusiones), según
23 posiciones topográficas.

1 Para cada resto de cosecha los muestreos fueron realizados a los meses 1, 2, 4, 6, 9, 12, 18 y 24
2 post cosecha. En cada fecha de muestreo se extrajo en cada repetición una bolsa de cada
3 componente (hojas, corteza, ramas finas y medias), se llevaron a laboratorio donde fueron
4 secadas a estufa a 65° C hasta peso constante, calculando el remanente de restos en base a las
5 estimaciones de descomposición durante el período.

6 Se tomaron registros de lluvias en una estación meteorológica ubicada a 5 km del experimento
7 (Figura 1). Estos indicaron que en el primer año de estudio (setiembre de 2005 a agosto de 2006)
8 las precipitaciones fueron de 1275 mm, muy similares a la media histórica para la zona (1130
9 mm), con dos picos de precipitaciones en los meses de enero y junio de 2006 (250 y 300 mm
10 respectivamente); por su parte en el segundo año del estudio (septiembre de 2006 a agosto de
11 2007) las precipitaciones fueron muy abundantes (casi el doble del promedio histórico de esa zona),
12 con más de 2000 mm en ese año de estudio. El último cuatrimestre de 2006 registró 650 mm de
13 lluvia, mientras que en los primeros 8 meses de 2007 llovió casi 1400 mm, con un pico de 950
14 mm en el trimestre marzo-mayo. Esto indica que los niveles de humedad en este último año
15 fueron muy superiores respecto a los del año anterior. Por su parte, la temperatura media y
16 máxima promedio fueron superiores en el primer año de estudio respecto al segundo (1.4 y 1.3°
17 C, respectivamente); explicándose esto por el invierno extremadamente frío que hubo en Uruguay
18 en 2007, considerado el más frío de los últimos 50 años, con registros en la zona de más de 50
19 heladas agrometeorológicas.

20

1



2

3 Figura 1. Evolución de las precipitaciones y temperaturas medias mensuales para el período de
4 estudio.

5

6 **Análisis químicos**

7 Previo al análisis se realizó la molienda de los diferentes componentes de cosecha. En las trozas

8 comerciales fueron extraídas muestras con taladro, perforando el disco en sentido radial, seguido

9 por una molienda fina con un molino de cuchillas; las cortezas, ramas medias y finas fueron

10 quebradas previamente con escofina (las dos primeras) y mortero (la tercera), y posteriormente

11 molidas con molino de cuchillas; las hojas fueron pasadas en dicho molino sin tratamiento previo.

12 En todos los casos se llegó a tamaños de partículas menores a 0.5 mm.

13 Se determinó el contenido de P, Ca, Mg y K de las muestras correspondientes a cada fracción,

14 previa mineralización por vía seca. Se colocó 1 g de muestra de ramas finas, medias, corteza y

15 hojas, y 2 g de muestra de trozas en un crisol de porcelana, y se calcinaron a 550° C durante 5

16 horas en mufla. La ceniza remanente fue disuelta con 5 mL de HCl al 10 %, llevando el volumen

17 a 50 mL con agua desionizada. En una alícuota de dicha solución se determinó P por colorimetría

1 (Murphy and Riley, 1964). La determinación de Ca y Mg en el extracto fue realizada mediante
2 espectrofotometría de absorción atómica, en tanto que la determinación de K fue realizada
3 mediante espectrofotometría de emisión (equipo Perkin Elmer Model 373). La determinación del
4 contenido de N en la muestra fue realizada mediante destilación Kjeldhal, previa mineralización
5 de la muestra (0.5 g) por vía húmeda con H₂SO₄ y mezcla de catalizadores (CuSO₄ y K₂SO₄) a
6 370° C durante 60 minutos. Se realizó la destilación con NaOH (50 %) recogiendo el destilado en
7 H₃BO₃ (2%) y titulando posteriormente con HCl 0.1M.

8 El contenido de C total y soluble de las muestras de planta se analizó mediante oxidación con
9 K₂Cr₂O₇ en presencia de H₂SO₄ a 150° C y posterior determinación colorimétrica (Nelson y
10 Sommers, 1996). La determinación de lignina se realizó mediante hidrólisis ácida. Se realizó el
11 análisis de polifenoles, mediante la extracción con H₂O a 100 ° C por 1 hora (Corbeels, 2003), y la
12 determinación por colorimetría usando el reactivo Folin-Ciocalteu.

13

14 **Índices de eficiencia de uso de nutrientes y modelo de descomposición de restos**

15 Se calcularon tres índices de eficiencia de uso de nutrientes en la producción de biomasa:

16 -Eficiencia de uso en producción total de biomasa (EUN₁) = kg materia seca de biomasa total
17 aérea producida por kg de nutriente total absorbido.

18 -Eficiencia de uso en producción total de trozas (EUN₂) = kg materia seca de biomasa total de
19 trozas comerciales por kg de nutriente total absorbido.

20 -Coeficiente de utilización biológica (CUB) = kg de materia seca de madera producida (trozas
21 comerciales) por kg de nutrientes presentes en trozas.

22

1 Se calculó la tasa de descomposición de los diferentes restos de cosecha a partir de la biomasa
2 remanente luego de determinado tiempo usando un modelo de disminución exponencial del tipo
3 $P/P_{\text{inic}} = e^{-kt}$, siendo P/P_{inic} la fracción de material remanente al tiempo t medido en años y k la
4 constante de descomposición. A partir de este modelo se calculó la vida media en años de las
5 diferentes fracciones.

6

7 **Resultados y Discusión**

8 **Extracción de nutrientes**

9 *E. globulus*

10 El Cuadro 2 presenta la producción de biomasa de cada componente de cosecha (trozas, corteza,
11 ramas y hojas); así como sus concentraciones de nutrientes y cantidades absolutas extraídas por
12 la plantación de *E. globulus*.

13

14

1 Cuadro 2. Producción de biomasa aérea, concentración y extracción de nutrientes de los
 2 diferentes componentes de cosecha de una plantación de *E. globulus* de 10 años de edad. Valores
 3 promedio de 24 árboles. (Los valores entre paréntesis corresponden a los desvíos Standard).

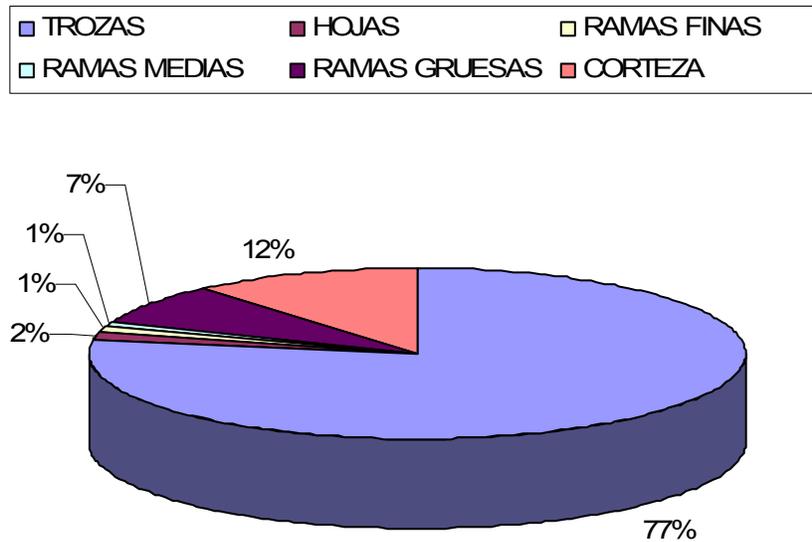
Componente	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹			g kg ⁻¹					kg ha ⁻¹		
Trozas	106.7 (27.7)	0.4 (0.14)	0.05 (0.01)	0.4 (0.07)	1.3 (0.23)	0.2 (0.04)	43.8 (14.9)	5.4 (1.1)	34.6 (7.1)	138.3 (24.5)	25.8 (5.16)
Hojas	2.3 (1.0)	13.5 (0.80)	0.7 (0.14)	4.5 (0.76)	13.0 (1.80)	1.0 (0.12)	31.7 (14.4)	1.8 (0.8)	10.3 (4.7)	29.6 (11.6)	2.3 (1.0)
Ramas finas	1.3 (0.6)	6.7 (0.9)	0.07 (0.01)	4.6 (0.85)	16.4 (2.34)	0.9 (0.14)	8.8 (4.2)	0.1 (0.04)	6.3 (3.4)	21.0 (10.2)	1.1 (0.6)
Ramas medias	1.5 (0.6)	4.2 (0.4)	0.19 (0.03)	4.5 (0.8)	9.9 (1.4)	1.7 (0.42)	6.3 (2.6)	0.3 (0.1)	6.9 (3.5)	14.6 (6.6)	2.5 (1.2)
Ramas gruesas	10.0 (4.4)	1.2 (0.2)	0.05 (0.02)	3.5 (0.76)	7.9 (1.51)	0.9 (0.15)	11.1 (4.8)	0.5 (0.2)	34.6 (17.3)	78.3 (37.6)	8.9 (3.9)
Corteza	15.8 (4.7)	2.3 (0.2)	0.25 (0.05)	5.5 (1.43)	30.0 (2.44)	2.4 (0.53)	36.3 (10.6)	4.0 (1.2)	87.1 (30.3)	479.6 (151.6)	37.9 (13.1)
Total	137.5						138.0	12.1	179.8	761.4	78.5
Cosecha											

4
 5 Como fue mencionado anteriormente, el incremento medio anual (IMA) del bosque fue de 12.7
 6 m³ ha⁻¹ año⁻¹, el cual se considera dentro del promedio de la especie para plantaciones realizadas
 7 hace 10 o más años en el litoral uruguayo. Los crecimientos para *E. globulus* actuales son
 8 significativamente superiores, dado el avance tanto genético como silvícola que se ha logrado con
 9 la implantación de orígenes y clones adaptados a la zona, además de técnicas de preparación de
 10 suelos y fertilización.

1 Como se observa, el total de biomasa producida por el bosque es de 137.5 Mg ha^{-1} , de los cuales
2 el 77 % (107 Mg ha^{-1}) corresponden a la biomasa de las trozas, y por lo tanto fue exportado como
3 producción comercial, mientras que el restante 23 % (31 Mg ha^{-1}) lo constituyen los residuos de
4 la cosecha dejados en el sitio (corteza, ramas finas, medias, gruesas y hojas). La proporción de
5 trozas fue mayor si se la compara con la de otras especies: 72 % para *E. maidenii* en este mismo
6 estudio, y 61 % para *E. dunnii* (Hernández, com. pers.), aunque estos autores cosecharon hasta
7 diámetros de 8 cm como producción comercial, sensiblemente mayor al de nuestro estudio (5
8 cm). A la edad de cosecha comercial *E. globulus* es la especie que presenta menor proporción de
9 restos, siendo una característica de la especie la de tener una copa muy pequeña
10 (independientemente del manejo realizado).

11
12 La Figura 2 nos muestra la distribución de los distintos componentes del bosque, la mayor parte
13 de los residuos corresponden a los materiales leñosos (21 % en total: 12 % corteza y 9 % ramas),
14 mientras que sólo el 2 % lo representan las hojas.

15

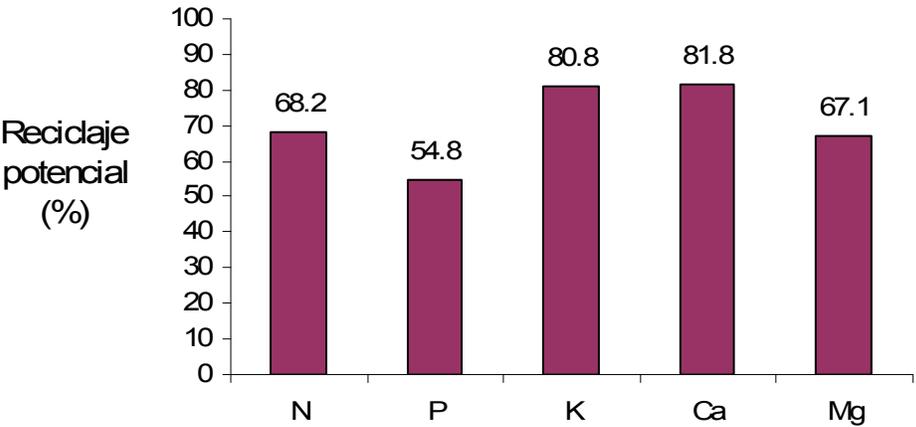


1
 2 Figura 2. Distribución porcentual de la biomasa aérea total en sus diferentes componentes para
 3 una plantación de *E. globulus*.

4
 5 Los nutrientes varían en su concentración según el componente del árbol considerado, siendo las
 6 trozas el componente que presenta para todos los nutrientes las menores concentraciones (Cuadro
 7 2). Las hojas muestran las mayores concentraciones para N (13.5 g kg^{-1}) y P (0.74 g kg^{-1}),
 8 mientras que corteza presenta los mayores valores para Mg (2.4 g kg^{-1}) y particularmente Ca
 9 (30.0 g kg^{-1}). Por último el K presenta valores similares entre los distintos componentes de los
 10 residuos, siendo igualmente la corteza quien tiene la mayor concentración (5.5 g kg^{-1}).
 11 El Ca es el nutriente con mayor variabilidad dentro del árbol con concentraciones que van desde
 12 un máximo de 30.0 g kg^{-1} en la corteza hasta valores 24 veces inferiores en trozas (1.3 g kg^{-1}). Por
 13 su parte el P presenta valores similares para los distintos componentes con excepción de hojas en
 14 donde los valores son superiores.

1 Al analizar las cantidades totales de nutrientes absorbidas por los árboles se ven elevados niveles
2 de extracción. El Ca presenta los valores de extracción mayores (algo más de 760 kg), aunque
3 sólo un 18.2 % es exportado por las trozas, permaneciendo el resto en los distintos residuos, sobre
4 todo en corteza (63 %). Por su parte el P es quien presenta los menores niveles totales de
5 extracción (unos 12 kg), aunque al mismo tiempo es el nutriente con mayor exportación por parte
6 de las trozas (45 %), seguido por el Mg (33 %), N (32 %), K (19 %) y Ca (18 %), (Figura 3).
7 Por lo tanto, para los nutrientes considerados y en esta especie de *Eucalyptus*, tomando los 10
8 años del turno, se exporta en todos los casos menos del 46% del total de nutrientes extraídos;
9 siendo las tasas anuales promedio de exportación por hectárea de 4.4 kg de N, 0.5 kg de P, 3.5 kg
10 de K, 13.8 kg de Ca y 2.6 kg de Mg.

11



12

13 Figura 3. Proporción de los nutrientes potencialmente reciclables a través de los restos de cosecha
14 de una plantación de *E. globulus*.

15

1 Mientras tanto para los residuos, las fracciones en donde se encontraba la mayor proporción de
2 los nutrientes fueron corteza y hojas. En la primera estaba el 26 % del total de N extraído, el 33
3 % del P, el 48 % del K, el 63 % del Ca y el 48 % del Mg, mientras que en hojas se encontró el 23
4 % del total del N, el 15 % del total de P, el 6 % de K, 4 % de Ca y 3 % de Mg. Las ramas (en sus
5 tres niveles de diámetro) presentan contenidos bajos de K, excepto ramas gruesas (mayores a 2
6 cm), donde está un 19 % del total extraído. Debe tenerse en cuenta que en las ramas se incluía la
7 corteza correspondiente, por lo que su contenido en nutrientes es relativamente importante
8 comparado con los materiales leñosos como las trozas.

9 Resumiendo, todos los nutrientes presentaron un porcentaje de retorno mayor al 55 %, siendo los
10 nutrientes K y Ca los de mayor retorno, este último es explicado por su alta proporción en la
11 corteza. Los porcentajes de reciclaje potencial se encuentran por lo general, dentro de los rangos
12 mencionados por Vaz de Arruda Silveira et al. (2002) para *E. Urograndis* y *E. grandis*, a
13 excepción del K que presenta un valor algo superior (8 %) y el Mg que presentó un valor 20 %
14 menor respecto a lo mencionado por estos autores.

15 Respecto a los porcentajes de nutrientes en las diferentes partes de la planta, existe concordancia
16 con los rangos presentados en el trabajo de Judd et al. (1996), excepto para Ca, ya que los
17 porcentajes encontrados en nuestro estudio en corteza y hoja, y en cierta medida en la madera,
18 superan los rangos citados por estos autores. Respecto a Mg fueron encontrados porcentajes en la
19 madera algo superiores al valor máximo de los rangos indicados citados por este autor.

20 En el Cuadro 3 se indican los nutrientes extraídos para trozas, corteza y otros restos, y dos
21 alternativas de cosecha: con o sin descortezado en el sitio. Se puede observar claramente la
22 importancia del descortezado en el propio sitio de la cosecha, lo cual indica que en caso contrario
23 se produce un aumento porcentual de la exportación de nutrientes del 63 % para Ca, 49 % para K,
24 48 % para Mg, 33 % en P y 26 % en N.

1
 2 Cuadro 3. Efecto del descortezado de las trozas en el sitio sobre la exportación de nutrientes para
 3 una plantación de *E. globulus*.

Componente	Biomasa Aérea	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Trozas	107	44	5	35	138	26
Corteza	16	36	4	87	480	38
Otros restos	15	58	3	58	144	15
Total	138	138	12	180	761	79
	%			%		
Exportación (sin corteza)	78	32	45	19	18	33
Exportación (con corteza)	89	58	78	68	81	81
Relación exportación (con corteza/ sin corteza)	1.1	1.8	1.7	3.5	4.5	2.5

4
 5 Santana et al. (1999) en estudios realizados en *E. grandis* y *E. saligna* en 5 sitios de San Pablo
 6 (Brasil) mencionan que el descascarado en el campo evita la exportación del 58 % del Ca, 47 %
 7 del Mg, 27 % del P, 22 % del K y 14 % del N. En dicho estudio el efecto del sitio fue más
 8 importante que la diferencia en material genético. Por su parte Laclau et al. (2000), evaluando
 9 clones de *Eucalyptus* en el Congo, destacan también la importancia de dejar la corteza en el sitio,
 10 lo cual reduce la exportación de Ca y Mg en más del 50 %.

11
 12

1 *E. maidenii*

2 En el Cuadro 4 se observa la producción de biomasa de cada componente de cosecha (trozas,
3 corteza, ramas y hojas), concentración de nutrientes y las cantidades absolutas extraídas por la
4 plantación de *E. maidenii* en el sitio 2.

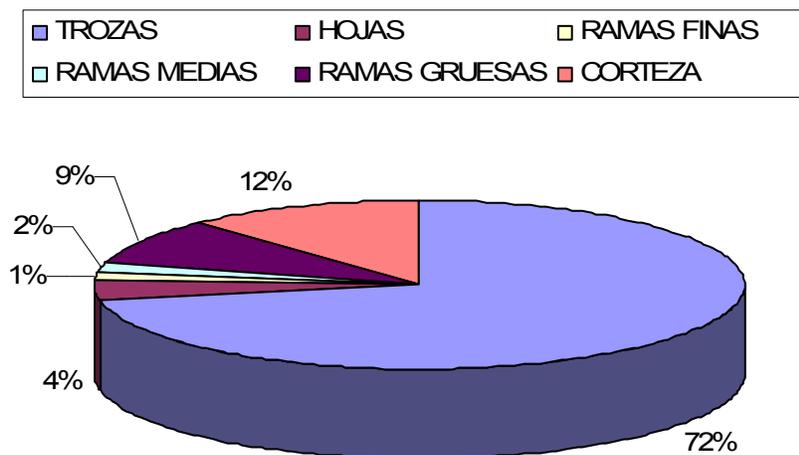
5
6 Cuadro 4. Producción de biomasa aérea, concentración y extracción de nutrientes de los
7 diferentes componentes de cosecha de una plantación de *E. maidenii* de 10 años de edad. Valores
8 promedio de 24 árboles. (Los valores entre paréntesis corresponden a los desvíos Standard).

Componente	Biomasa	N	P	K	Ca	Mg	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹	g kg ⁻¹					kg ha ⁻¹				
Trozas	199.2 (65.1)	0.4 (0.16)	0.08 (0.02)	0.4 (0.09)	1.6 (0.43)	0.3 (0.05)	90.8 (36.3)	12.9 (3.2)	65.2 (14.7)	321.7 (86.5)	49.2 (8.2)
Hojas	11.3 (4.5)	12.7 (0.93)	0.74 (0.11)	4.5 (0.72)	12.2 (2.02)	1.0 (0.20)	144.6 (60.5)	8.3 (3.4)	50.4 (19.6)	136.3 (54.2)	11.3 (4.7)
Ramas finas	4.1 (1.7)	6.3 (0.91)	0.07 (0.01)	4.5 (0.58)	15.9 (2.43)	1.1 (0.30)	26.3 (12.6)	0.3 (0.14)	18.3 (7.6)	64.6 (30.6)	4.3 (2.3)
Ramas medias	4.5 (1.9)	4.0 (0.42)	0.22 (0.05)	4.3 (0.51)	9.6 (1.80)	2.2 (0.25)	17.9 (7.2)	0.9 (0.36)	19.3 (8.8)	42.5 (18.8)	9.9 (4.1)
Ramas gruesas	24.7 (10)	1.0 (0.16)	0.03 (0.01)	3.2 (0.57)	7.2 (1.37)	1.1 (0.27)	25.0 (9.5)	0.8 (0.37)	80.4 (42)	177.9 (83.5)	27.1 (12.7)
Corteza	33.4 (9.5)	2.5 (0.24)	0.21 (0.03)	5.8 (1.06)	36.1 (2.97)	2.6 (0.42)	82.5 (24.1)	6.9 (2.2)	190.8 (48)	1196.3 (312.4)	86.3 (25.6)
Total	277.2						387.1	30.1	424.5	1939.2	188.1
Cosecha											

1 El incremento medio anual (IMA) del bosque de *E. maidenii* fue de $22.1 \text{ m}^3 \text{ ha}^{-1} \text{ año}^{-1}$,
2 sensiblemente superior al estimado para *E. globulus* (casi el doble), siendo el total de biomasa
3 producida por el bosque de 277 Mg ha^{-1} , de los cuales el 72 % (199 Mg ha^{-1}) corresponde a la
4 biomasa de las trozas exportándose entonces como producción comercial. El 28 % restante (78
5 Mg ha^{-1}) corresponde a los residuos de la cosecha dejados en el sitio (corteza, ramas finas,
6 medias, gruesas y hojas). La primera diferencia importante que se puede resaltar al comparar
7 estos datos con los del Cuadro 2 es la menor proporción de biomasa correspondiente a trozas
8 comerciales en *E. maidenii* con respecto a *E. globulus*, estando esto asociado a una mayor
9 proporción de copa y volumen foliar en este caso.

10 La Figura 4 indica que, al igual que para la especie anterior, la mayor proporción de los residuos
11 corresponden a materiales leñosos (24 % en total: 12 % corteza y 12 % ramas), mientras que sólo
12 el 4% lo representan las hojas.

13



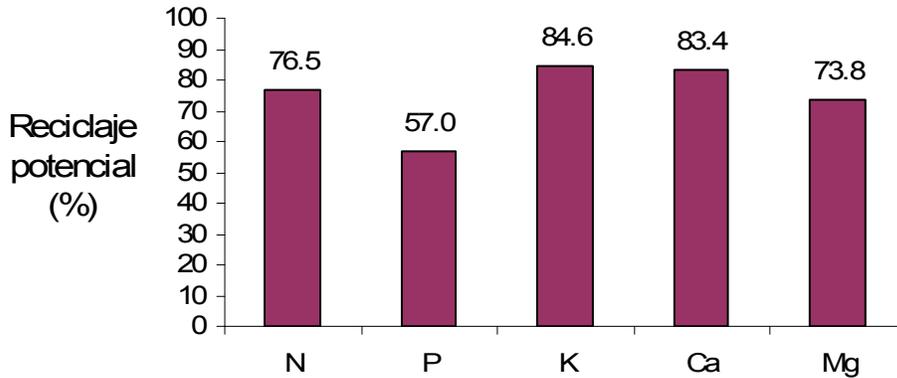
14
15 Figura 4. Distribución porcentual de la biomasa aérea total en sus diferentes componentes para
16 una plantación de *E. maidenii*.

1
2 También se observa en este caso que los nutrientes varían en su concentración según el
3 componente del árbol considerado, siendo igualmente las trozas el componente que presenta para
4 todos los nutrientes las menores concentraciones. Las hojas son el componente que presenta las
5 mayores concentraciones para N (12.7 g kg^{-1}) y P (0.7 g kg^{-1}), mientras que la fracción corteza
6 presenta los valores más altos para Mg (2.6 g kg^{-1}) y sobre todo Ca (36.0 g kg^{-1}); para el K se
7 observan valores más o menos parecidos entre los distintos componentes de los residuos (como
8 también ocurría en *E. globulus*), siendo igualmente la corteza quien tiene la mayor concentración
9 (5.8 g kg^{-1}).

10 Se observan además otros comportamientos similares a los vistos para la especie anterior (a pesar
11 de ser especies distintas creciendo sobre suelos diferentes), como ser que el Ca es el nutriente con
12 mayor variabilidad dentro del árbol con un rango de concentraciones que van desde un máximo
13 de 36.0 g kg^{-1} para la corteza hasta valores 23 veces inferiores en trozas (1.6 g kg^{-1}). Además, el P
14 presenta valores más o menos similares entre las distintas componentes con excepción de hojas,
15 en donde los valores son sensiblemente superiores.

16 Igualmente se pueden ver elevadas extracciones de los distintos nutrientes por parte de los
17 árboles. El Ca es también acá quien presenta los mayores valores de extracción (más de 1900 kg),
18 aunque menos del 17 % es exportado por las trozas, permaneciendo el resto en los distintos
19 residuos, sobre todo en corteza (62 %).

20 Al mismo tiempo el P es quien presenta los menores niveles totales de extracción
21 (aproximadamente 30 kg), pero es también quien presenta la mayor proporción de exportación en
22 las trozas (43 %), seguido por el Mg (26 %), N (24 %), Ca (17 %) y K (15 %), (Figura 5).



1
 2 Figura 5. Proporción de los nutrientes potencialmente reciclables a través de los restos de cosecha
 3 de una plantación de *E. maidenii*.

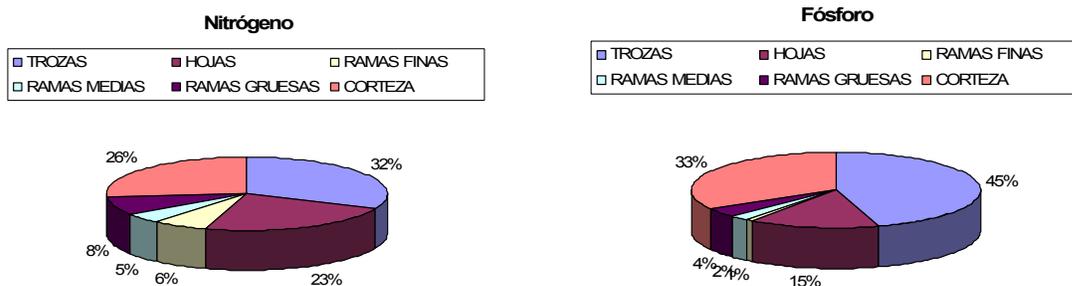
4
 5 Tomando el total de los 10 años del turno, en *Eucalyptus maidenii*, se exporta en todos los casos
 6 menos del 44 % de los nutrientes, es decir que los reciclajes potenciales son mayores al 56 %
 7 (Figura 5), siendo el K y el Ca los nutrientes con mayor retorno potencial. Las tasas anuales
 8 promedio de exportación por hectárea (en trozas) son de 9.1 kg para N, 1.3 kg de P, 6.5 kg de K,
 9 32.2 kg de Ca y 4.9 kg de Mg.

10 Dentro de los residuos, las fracciones en las cuales se encontraba la mayor proporción de los
 11 nutrientes fueron hojas y corteza. En la primera se encontró el 38 % del total de N extraído y el
 12 28 % del P, además del 12 % del K, el 7 % del Ca y el 6 % de Mg; por su parte en la corteza se
 13 halló el 45 % del K, el 62 % del Ca y el 47 % del Mg (es decir los mayores contenidos de bases),
 14 además estaba el 21 % de N y el 23 % del total de P. Las ramas (en sus tres niveles de diámetro)
 15 presentan contenidos bajos de los diferentes nutrientes, con excepción de las ramas gruesas
 16 (mayores a 2 cm) para los nutrientes K con un 19 % y Mg con un 14 % del total extraído.

1 Los contenidos de nutrientes y su distribución entre los distintos componentes del árbol varían
 2 para las distintas especies de *Eucalyptus* (Grove et al., 1996). A modo de ejemplo, Wise y Pitman
 3 (1981) encontraron que para 6 especies de *Eucalyptus* en Australia el porcentaje de los nutrientes
 4 presentes en los troncos de plantaciones de 10 años fue diferente según el nutriente, donde el
 5 menos variable fue el N (43 a 57 %), y el más variable Ca (de 9 a 61 %); valores intermedios
 6 fueron encontrados para P, K y Mg. Los autores destacan también los elevados contenidos de Ca
 7 en las especies de corteza lisa, donde llega a constituir entre el 42 y 47 % del total de los
 8 nutrientes de la planta.

9 En nuestro caso encontramos diferencias entre los distintos nutrientes y su distribución para los
 10 distintos componentes de cada especie solamente en las proporciones de N y P en las hojas,
 11 pudiéndose explicar por la menor proporción de hojas en *E. globulus* respecto a *E. maidenii* (1.6
 12 % y 4% de la biomasa aérea total, respectivamente). Se afectaron así las proporciones de N en
 13 hojas para ambas especies (23 % en *E. globulus* respecto a 38 % en *E. maidenii*) y P (15 % en *E.*
 14 *globulus* y 28 % en *E. maidenii*), (Figuras 6 y 7).

15

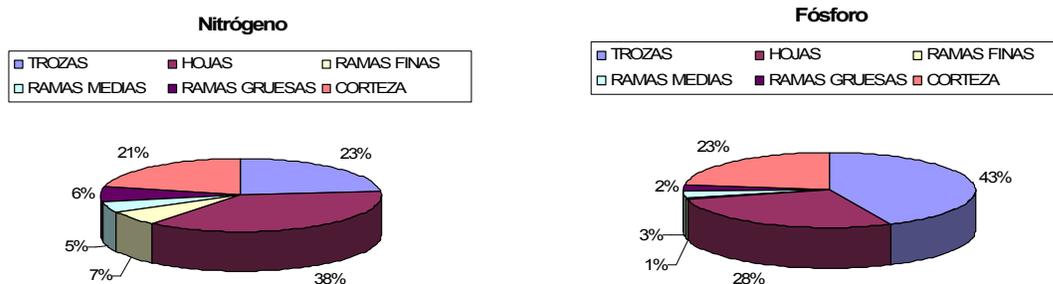


16

17 Figura 6. Distribución del N y P en distintos componentes de cosecha de *E. globulus*

18

19



1

2 Figura 7. Distribución del N y P en distintos componentes de cosecha de *E. maidenii*

3

4 Respecto a la importancia del descortezado en el sitio de cosecha para esta especie, se puede
 5 determinar que en caso de no hacerse implica un aumento porcentual del 61 % para Ca, 46 %
 6 para Mg y K, 23 % para P y 21 % para N (Cuadro 5).

7

8 Cuadro 5. Efecto del descortezado de las trozas en el sitio sobre la exportación de nutrientes para
 9 una plantación de *E. maidenii*.

Componente	Biomasa Aérea	N	P	K	Ca	Mg
	Mg ha ⁻¹			kg ha ⁻¹		
Trozas	199	91	13	65	322	49
Corteza	33	83	7	191	1196	86
Otros restos	45	214	10	169	421	52
Total	277	387	30	425	1939	188
	%			%		
Exportación (sin corteza)	72	24	43	14	17	26
Exportación (con corteza)	84	45	66	60	78	72
Relación exportación (con corteza/ sin corteza)	1.2	1.9	1.5	3.9	4.7	2.8

10

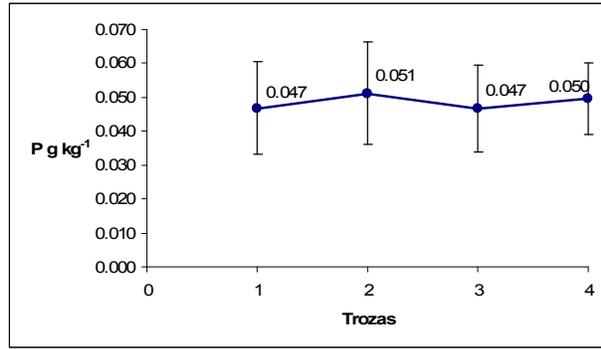
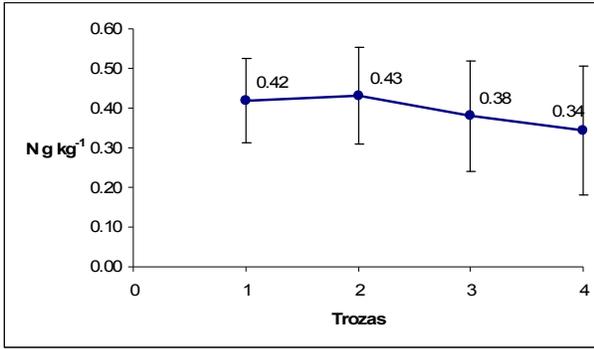
1 **Distribución de la concentración de nutrientes a lo largo del fuste**

2 Cuando se analizan las concentraciones de nutrientes a lo largo del fuste (estudiando cada troza)
3 para *E. globulus* se puede determinar que para los distintos nutrientes la concentración de los
4 mismos es relativamente homogénea a lo largo del fuste, encontrándose para N una muy pequeña
5 disminución en las concentraciones hacia el ápice, y para el K un ligero aumento también hacia el
6 ápice (Figura 8).

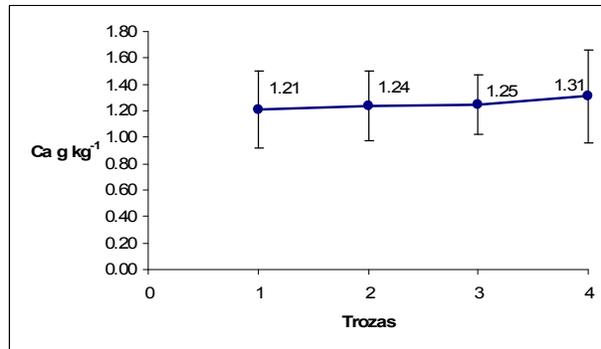
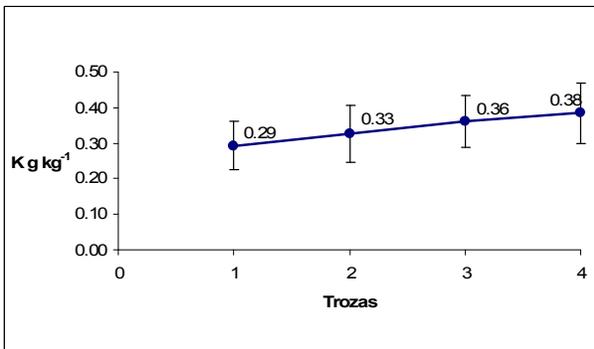
7 Por su parte, para *E. maidenii* el estudio de la distribución de los distintos nutrientes a lo largo del
8 fuste determina que la concentración de los mismos es homogénea en todo el árbol para N, Ca y
9 Mg, con un ligero aumento en las concentraciones hacia el ápice para los nutrientes P y K (Figura
10 9).

11

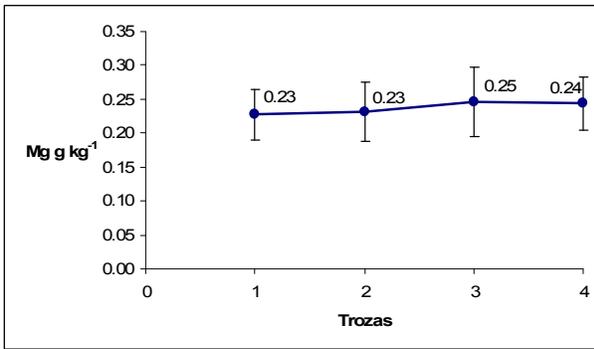
1



2



3



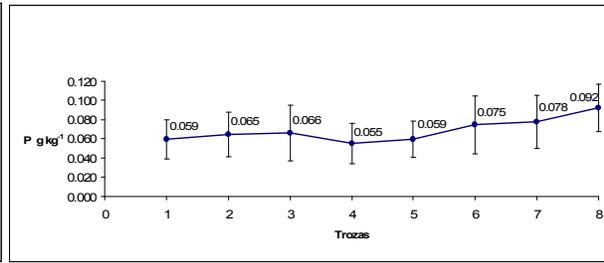
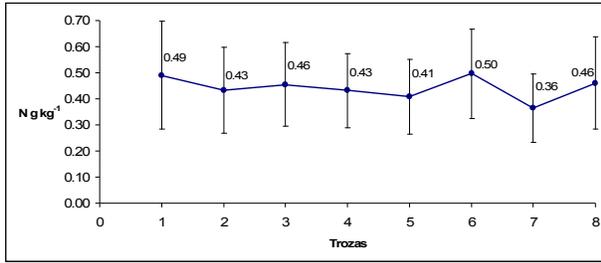
4

5 Figura 8. Distribución de la concentración de nutrientes a lo largo del fuste para *E. globulus*

6

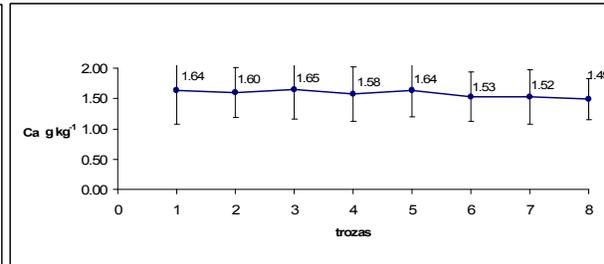
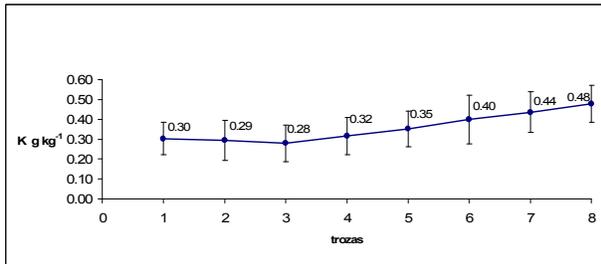
7

8



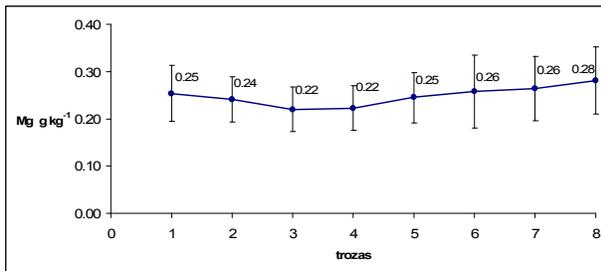
1

2



3

4



5

6 Figura 9. Distribución de la concentración de nutrientes a lo largo del fuste para *E. maidenii*

7

8 Cuando se comparan las concentraciones medias (g kg⁻¹) de cada nutriente entre especies se

9 observa que éstas son mayores en todos los casos en *E. maidenii* respecto a *E. globulus*,

10 particularmente para los nutrientes P y Ca (40 % y 25 % mayor en *E. maidenii* comparado con *E.*

11 *globulus*, respectivamente).

1

2 **Eficiencia de uso de los nutrientes**

3 En el cuadro 6 se presenta la información de eficiencia de uso de los nutrientes para ambas
4 especies.

5 Cuadro 6. Eficiencia en el uso de los nutrientes para plantaciones de *E. globulus* y *E. maidenii*.

Índice (†)	Especie	Eficiencia de uso de los nutrientes				
		N	P	K	Ca	Mg
		kg kg ⁻¹				
EUN ₁	<i>E. globulus</i>	572	6567	439	104	1003
	<i>E. maidenii</i>	404	5201	368	81	831
EUN ₂	<i>E. globulus</i>	420	4819	322	76	736
	<i>E. maidenii</i>	279	3594	254	56	575

6 (†) EUN₁= kg materia seca de biomasa total aérea producida kg⁻¹ de nutriente total absorbido

7 EUN₂= kg materia seca de biomasa total de trozas comerciales kg⁻¹ de nutriente total absorbido

8

9 Los resultados de estos índices muestran que para todos los nutrientes estudiados, la eficiencia de
10 uso fue mayor en *E. globulus* respecto a *E. maidenii*, dado que en todos los casos los kg de
11 materia seca de biomasa aérea total producida, así como de trozas, por kg de nutriente absorbido
12 fue mayor en la primera especie referida. Es importante destacar que del total de biomasa
13 producida en ambos bosques, la madera comercial correspondió al 77 y 72 % del total de biomasa
14 (*E. globulus* y *E. maidenii* respectivamente), explicando diferencias en EUN₂ entre las dos
15 especies.

1 Santana et al. (2000) en estudios realizados en distintas especies de *Eucalyptus* (*grandis*, *saligna*,
2 *urophylla*, *camaldulensis*, *cloesiana* e híbridos) en diferentes estados de Brasil con distintas
3 condiciones climáticas y edáficas, obtuvieron en promedio (sitios y especies) índices de
4 eficiencia en uso de los nutrientes muy similares a los obtenidos en este trabajo para N y P (589 y
5 5319 kg de materia seca de biomasa aérea total kg^{-1} de nutriente total absorbido), y superiores
6 para los nutrientes K, Ca y Mg (822, 513 y 3095 respectivamente), lo cual se explica por ser
7 suelos más pobres en bases a los de Uruguay. Morais et al. (1990) para diferentes especies de
8 *Eucalyptus* (*grandis*, *saligna*, *cloeziana*, *citriodora*) a los 8 años de edad en Brasil, obtuvieron
9 resultados similares a estos para N y P (450 y 6000 kg materia seca de biomasa total aérea
10 producida kg^{-1} de nutriente total absorbido), ligeramente superiores para K y Mg (600 y 1030
11 respectivamente) y superiores para Ca (440). Por su parte Laclau et al. (1999) en plantaciones
12 híbridas de *E. urograndis* en el Congo, encontraron eficiencias de uso similares a las de nuestro
13 trabajo para N (592 kg materia seca de biomasa total aérea producida kg^{-1} de nutriente total
14 absorbido), menores para el P (2000) y mayores para los nutrientes K, Ca y Mg (1275, 780 y
15 1956, respectivamente). Igualmente Herbert (1996), para 5 especies de *Eucalyptus* (*fastigata*,
16 *grandis*, *macarthurii*, *nitens* y *smithii*) a los 7 años de edad, en Sudáfrica, obtuvo resultados
17 similares a los de nuestro trabajo para el N, P y K (487, 6338 y 471 kg de materia seca de
18 biomasa aérea total kg^{-1} de nutriente total absorbido, respectivamente) y superiores para Ca y Mg
19 (406 y 1550 respectivamente).

20
21 Otra forma de evaluar la eficiencia de uso de los nutrientes es estimando los kg de materia seca
22 de trozas comerciales por kg de cada uno de los nutrientes existentes en esta madera (CUB). Los
23 valores del coeficiente de utilización biológica (CUB) para ambas especies se indican en el
24 Cuadro 7.

1

2 Cuadro 7. Coeficiente de utilización biológica para *E. globulus* y *E. maidenii*.

Especie	Eficiencia de uso de los nutrientes				
	N	P	K	Ca	Mg
	kg kg ⁻¹				
<i>E. globulus</i>	1322	10670	1672	418	2239
<i>E. maidenii</i>	1189	8359	1656	336	2197

3

4 Los resultados de este índice indican que para K y Mg la eficiencia de uso en ambas especies es
5 similar, mientras que para los otros nutrientes estudiados (N, P y Ca) la eficiencia de uso fue
6 mayor en *E. globulus* respecto a *E. maidenii*.

7 Freitas Melo et al. (1995) obtuvieron en promedio para *E. saligna* de 7 años en distintos sitios de
8 Río Grande del Sur (Brasil) índices de eficiencia superiores a los de este trabajo para los
9 nutrientes Ca y Mg (931 y 4126 kg de materia seca de madera producida por kg⁻¹ de nutrientes
10 presentes en trozas, respectivamente) e inferiores para los nutrientes P y K (7490 y 933,
11 respectivamente). Dicho trabajo no estudio la eficiencia de uso para el N.

12 Para los tres índices estudiados se observan diferencias intrínsecas entre las dos especies,
13 encontrándose en general, una mayor eficiencia de uso en *E. globulus* respecto a *E. maidenii*. Es
14 por ello que en casi todos los casos los kg de materia seca de biomasa aérea total producida, así
15 como de trozas, por kg de nutriente absorbidos es mayor en la primera especie referida;
16 solamente para K y Mg en el tercer índice estudiado (CUB) la eficiencia de uso es similar en
17 ambas especies.

18

19

1 **Descomposición de restos de cosecha**

2 La Figura 10 muestra la disminución en la biomasa de los distintos componentes de cosecha de *E.*
3 *globulus* en los 24 meses posteriores a la cosecha (setiembre de 2005 a agosto de 2007). Si bien
4 se puede ver una tendencia a la disminución en todos los restos, existen variaciones en las tasas
5 de descomposición de cada uno de ellos. El componente hojas fue quien tuvo la mayor reducción
6 de biomasa, mientras que los otros componentes (corteza, ramas medias y finas) presentaron
7 menores tasas de descomposición.

8 La descomposición acumulada de las diferentes fracciones en los 24 meses luego de la cosecha
9 muestra que fueron degradadas el 68.3 % de las hojas, el 31 % de las ramas finas, el 27.5 % de
10 las ramas medias y tan sólo un 18.6 % de la corteza. El promedio ponderado determina que cerca
11 del 30 % del total de los restos se degradó en los dos años posteriores a la cosecha.

12 Primariamente podrían explicarse estos comportamientos diferentes por la variabilidad en el
13 tamaño de los diferentes componentes, puesto que los componentes con mayor tamaño (en orden
14 decreciente, corteza, ramas medias, ramas finas) son los de más lenta descomposición. Además,
15 la mayor pérdida de peso que sufrieron las hojas en los seis primeros meses podría relacionarse
16 con la degradación de sus componentes más inestables, como compuestos orgánicos solubles o de
17 estructura química más lábil para la degradación microbiana, quedando como remanentes los
18 constituyentes más resistentes a la descomposición. Una estimación de estas sustancias más
19 lábiles es el contenido de C orgánico soluble, el cual era claramente mayor en hojas en
20 comparación al del resto de los componentes (Cuadro 8).

21

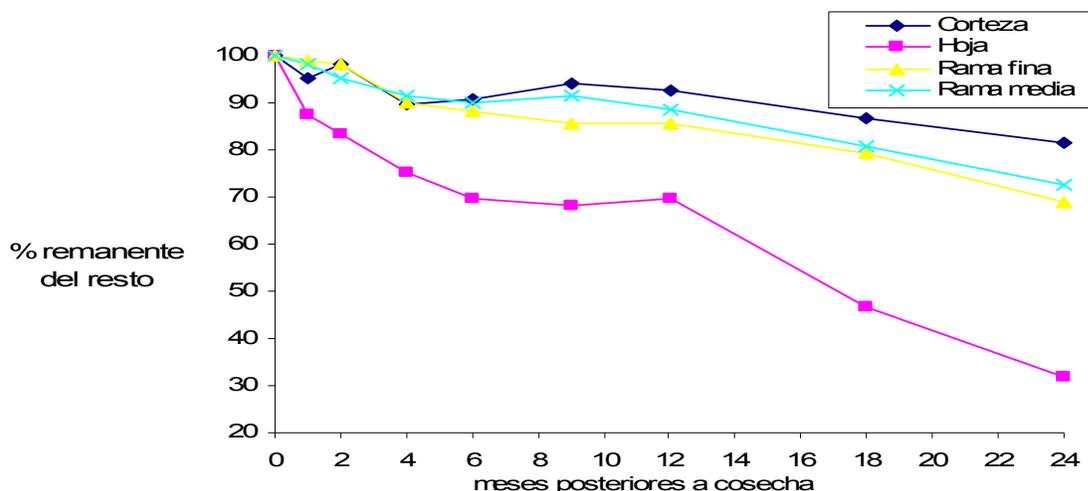
22

23

1 Cuadro 8. Contenido de C total, C soluble, relación C: N, polifenoles y lignina de restos de *E.*
 2 *globulus* inmediatamente después de la cosecha, y al año de la misma.

Componente	----- Año 0 -----					----- Año 1 -----		
	C total	C soluble	C:N	Polifenoles	Lignina	C soluble	Polifenoles	Lignina
	----- g kg ⁻¹ -----			g kg ⁻¹	%	g kg ⁻¹	g kg ⁻¹	%
Corteza	462	84	243	41.4	36.2	28	29.3	42.8
Hoja	569	143	42	91.4	30.6	47	17.3	39.5
Rama fina	517	66	144	67.2	28.5	34	16.1	31.1
Rama media	493	28	411	25.8	24.4	17	6.6	25.9

3
 4 La Figura 10 muestra además una tendencia hacia un aumento en la velocidad de descomposición
 5 en el segundo año de la investigación, lo que podría interpretarse como una aceleración en la
 6 descomposición fomentada por la degradación ocurrida previamente, además de la importante
 7 pérdida de polifenoles para todos los restos en el primer año post cosecha.



9
 10 Figura 10. Evolución de la biomasa de corteza, hojas, ramas finas y ramas medias luego de la
 11 cosecha de *E. globulus*

1
2 Además, como fue expresado anteriormente, las precipitaciones en el segundo año del estudio
3 fueron mucho mayores respecto al primer año (2025 mm en el segundo año, 1275 mm en el
4 primer año). Estas condiciones climáticas específicas explican también en parte el incremento en
5 la descomposición de todos los restos en el último año del estudio.
6 Mediante el ajuste del modelo de decrecimiento exponencial de la biomasa para cada
7 componente de cosecha, se encontraron constantes de descomposición diferentes para cada resto
8 (Cuadro 9). La constante de descomposición anual de hojas fue similar a la reportada por
9 Rezende et al. (2001) para *E. grandis* en experimentos de incubación en condiciones controladas
10 en Brasil ($k=0.59 \text{ año}^{-1}$). Hernández et al. (com. pers.), obtuvieron para todas las fracciones
11 mayores % de pérdidas a los 24 meses post cosecha de *E. dunnii*, respecto a los obtenidos en este
12 trabajo para *E. globulus*. Distintos experimentos de incubación en condiciones controladas de
13 laboratorio (Sánchez, com. pers.) determinaron una mayor perdurabilidad de todos los restos de
14 *E. globulus* respecto a otras especies (*E. grandis*, *E. dunnii*). En cuanto a la vida media calculada,
15 resulta evidente que el componente de cosecha de más lenta degradación es la corteza.
16
17
18
19
20
21
22
23

1 Cuadro 9. Pérdida porcentual de biomasa en el período de dos años, constante de descomposición
 2 (k , año⁻¹), r^2 del modelo y vida media de los restos de cosecha de *E. globulus*.

Componente	% pérdida	k (año ⁻¹)	r^2	$t_{1/2}$ (años)
Corteza	18.6	0.08	0.90	8.49
Hoja	68.3	0.50	0.94	1.40
Rama fina	31	0.17	0.96	4.07
Rama media	27.5	0.14	0.95	4.81

3
 4 Los valores de descomposición observados se refieren a restos en contacto con el suelo. No
 5 obstante, el manejo posterior de los restos previo a la reforestación también puede afectar la tasa
 6 de descomposición, siendo complejo estimar qué proporción de los restos de cosecha quedarán
 7 directamente sobre el suelo y qué proporción lo hará separada de éste por otra capa de restos, lo
 8 que retrasaría la descomposición.

9 Si bien para todas las fracciones el ajuste del modelo es muy bueno ($R^2 > 0.9$), en todos los casos
 10 las líneas de tendencias del mismo al final del período (24 meses) sobreestiman ligeramente la
 11 perdurabilidad de los restos. Esto puede observarse en la Figura 10, en donde la degradación de
 12 los mismos en el segundo año se ve incrementada respecto al primer año, lo cual puede deberse a
 13 la degradación ocurrida previamente, además de las condiciones climáticas específicas de los
 14 años del experimento.

15 Se observaron distintos contenidos iniciales de C total en los diferentes componentes, la fracción
 16 hojas tenía las más altas concentraciones, mientras que la corteza presentó los contenidos más
 17 bajos (Cuadro 8). Datos reportados por Corbeels et al. (2003) en un estudio de mineralización de
 18 hojas de *Eucalyptus grandis* en Australia, también indican alta concentración de C en hojas. Los

1 contenidos de C soluble también mostraron variaciones entre los diferentes componentes, siendo
2 en hoja donde se ven los mayores contenidos, mientras que en las ramas más gruesas están las
3 menores concentraciones.

4 La relación C: N de los restos que iniciaron su proceso de descomposición presentó valores
5 extremadamente altos para ramas (en sus dos tamaños) y corteza (Cuadro 8).

6 Como fue mencionado, la fracción que presenta las mayores concentraciones de N (hojas, 13.5 g
7 kg^{-1} , Cuadro 2), y a la vez una relación C: N más baja (Cuadro 8), fue quien tuvo los mayores
8 porcentajes de descomposición. Trinsoutrot et al. (2000) concluyeron que para relaciones C: N
9 mayores a 25 el efecto neto observado es de inmovilización, mientras que relaciones C: N
10 inferiores a 25 promueven mineralización neta de N. Las hojas fueron el único componente que
11 presentó una relación C: N medianamente cercana a este valor, puesto que los otros restos
12 presentaron relaciones mucho más altas, que inducirían una inmovilización neta de N al ser
13 incorporados al suelo. El contenido de N y la relación C: N se han considerado muy importantes
14 en la velocidad de descomposición de los materiales vegetales (Burgess et al., 2002), dado que
15 los microorganismos, si bien basan su actividad en la disponibilidad de C, necesitan cierta
16 cantidad de los demás nutrientes, y ante la escasez de los mismos se enlentece la descomposición
17 (Mary et al., 1996). Esto pasa a ser muy importante para restos de gran volumen y poco contacto
18 con el suelo, ya que cuando los restos son incorporados el N mineral del suelo es inmovilizado
19 por la biomasa microbiana, y de este modo el suelo provee el N necesario para el crecimiento de
20 la misma (Ambus and Jensen, 2001).

21 Los resultados de este trabajo concuerdan con lo expresado ya que las hojas que fueron quienes
22 se degradaron en mayor proporción durante el estudio, son las que presentan menores relaciones
23 C: N, siendo entonces probablemente las proveedoras del N necesario a los microorganismos
24 durante la descomposición.

1 Diversos estudios (Lovett et al., 2004; Verkaik et al., 2006) determinan que los polifenoles
2 reducen la actividad microbiana además de producir cambios en la comunidad de los
3 microorganismos, ya sea por toxicidad o por inhibición, lo que traería como consecuencia una
4 disminución en la degradación de los restos. Durante el primer año del estudio de degradación
5 post cosecha se perdieron gran parte de los polifenoles, lo que podría explicar en parte el
6 importante aumento en la descomposición que tuvieron todos los restos en el segundo año de la
7 investigación. Además, el Cuadro 8 muestra el incremento porcentual de lignina en el primer año
8 posterior a la cosecha para todos los restos, lo cual se explica por la mayor degradación de los
9 componentes más inestables, como compuestos orgánicos solubles; además de las pérdidas de los
10 polifenoles; quedando por tanto como remanentes los materiales más resistentes a la
11 descomposición, como lo es la lignina.

12 Al estudiar la evolución del contenido de los distintos nutrientes en los distintos componentes a lo
13 largo de los dos primeros años posteriores a la cosecha se observan comportamientos disímiles.
14 En términos generales se ve en el primer año una disminución de las cantidades de P, K y Mg en
15 los restos; mientras que la disminución es menor en las cantidades de N y Ca (Figura 11). En el
16 segundo año aumenta la descomposición de los restos y por tanto también ocurre una
17 disminución general en las cantidades totales de todos los nutrientes.

18 En el caso del N, en el componente corteza, luego de una disminución en el primer mes,
19 incrementa la cantidad total, lo que indica que estaría ocurriendo inmovilización neta de N por
20 parte de los microorganismos del suelo, debido a la pérdida proporcionalmente mayor de C y
21 otros nutrientes (Figura 11.a). Este proceso de inmovilización sería más importante que las
22 escasas pérdidas de biomasa del material. Esto puede comprobarse por el hecho de que las
23 concentraciones en sus restos son mayores en los análisis posteriores respecto a los realizados al
24 momento de la cosecha (datos no publicados). A partir del primer año la descomposición de estos

1 restos es mayor, lo que lleva a disminuir los contenidos totales de este nutriente. Para las
2 fracciones hoja, ramas finas y medias, las concentraciones de N se mantienen en los restos más o
3 menos constantes a lo largo de los dos años, siendo la degradación de la biomasa en cada caso
4 quien determina la disminución en las cantidades totales de este nutriente. Corbeels et al. (2003),
5 comparando la mineralización neta de N de hojas de eucalyptus y residuos de leguminosas,
6 reportaron pequeñas cantidades de N inmovilizado por hojas de eucalyptus (C: N=56) aplicadas
7 sobre la superficie del suelo. Por otra parte Rezende et al. (2001) reportaron escasa pérdida de N
8 en las primeras etapas de la mineralización de hojas de eucalyptus en estudios realizados durante
9 un año en Brasil, lo que se asemeja a los resultados de este estudio, en donde las concentraciones
10 en los restos se mantienen prácticamente constantes a lo largo de todo el estudio.

11 Para el P mientras tanto, se observa una lenta disminución en las cantidades totales por hectárea
12 en el primer año en casi todas las fracciones. En nuestro estudio se observó una pérdida de P de
13 las hojas, a pesar de que su concentración en las mismas sufrió un aumento en los primeros
14 muestreos (datos no presentados), para las ramas (finas y medias) las concentraciones se
15 mantienen constantes con lo que las pérdidas de nutriente se explican por la propia degradación
16 de la fracción (Figura 11.b). La corteza por su parte presenta un comportamiento distinto con una
17 disminución en las cantidades totales en los primeros 6 meses, que se explica por una ligera
18 disminución en la concentración de P en sus restos que pasa del 0.05 g kg^{-1} en el inicio del
19 experimento al 0.04 g kg^{-1} en el resto de las evaluaciones (datos no presentados). Esta
20 disminución en la concentración de P en corteza podría explicarse a través de pérdidas de formas
21 solubles del nutriente, puesto que por sí sola la descomposición de restos es muy pequeña como
22 para justificar esta disminución. En el segundo año la disminución del nutriente acompaña la
23 degradación de los restos en todos los casos. Es importante destacar que todas las fracciones
24 presentan muy pequeñas concentraciones de este nutriente (entre 0.9 y 0.04 g kg^{-1} , según la

1 fracción y muestreo).

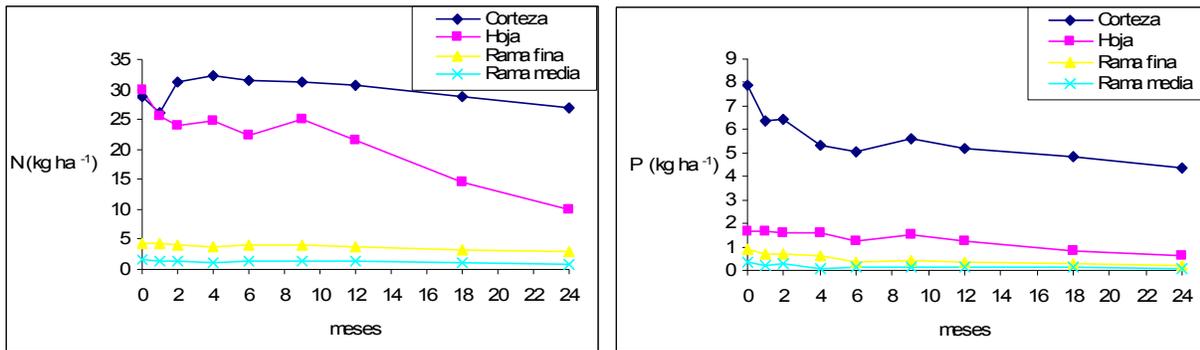
2 La pérdida de K de todas las fracciones fue muy rápida, perdiéndose alrededor del 80 % del K
3 contenido en hoja y corteza en los cuatro primeros meses del período estudiado (Figura 11 c). El
4 K se encuentra en forma iónica (K^+) cumpliendo funciones osmóticas, sin formar parte de las
5 estructuras orgánicas de las plantas. Esta característica provoca consecuentemente la facilidad de
6 disolución y remoción del mismo por el agua de lluvia (O'Connell y Grove, 1996).

7 Para el Ca, las cantidades contenidas en las diversas fracciones fueron muy altas a lo largo de los
8 24 meses de evaluación, destacándose particularmente la corteza, cuyas concentraciones
9 superaron los 30 g kg^{-1} en todos los muestreos (Figura 11 d). Todas las fracciones mantuvieron o
10 aumentaron ligeramente sus concentraciones para este nutriente con el pasar del tiempo,
11 indicando esto que la pérdida de este nutriente fue menor respecto a la de biomasa. El Ca se
12 encuentra en los vegetales formando parte de estructuras, siendo un importante componente de
13 paredes celulares y membranas, estando en forma libre en una mínima proporción (Marshner,
14 2003). Este hecho explica el aumento de concentración ya que primariamente se pierden los
15 nutrientes solubles. Consecuentemente, el Ca se redujo en los residuos en forma significativa
16 sólo en hojas, en donde al final del estudio estaba presente el 27 % del Ca inicial. Por su parte
17 tanto en corteza como en ramas (finas y medias) al final del experimento estaba presente cerca
18 del 85 % del Ca inicial.

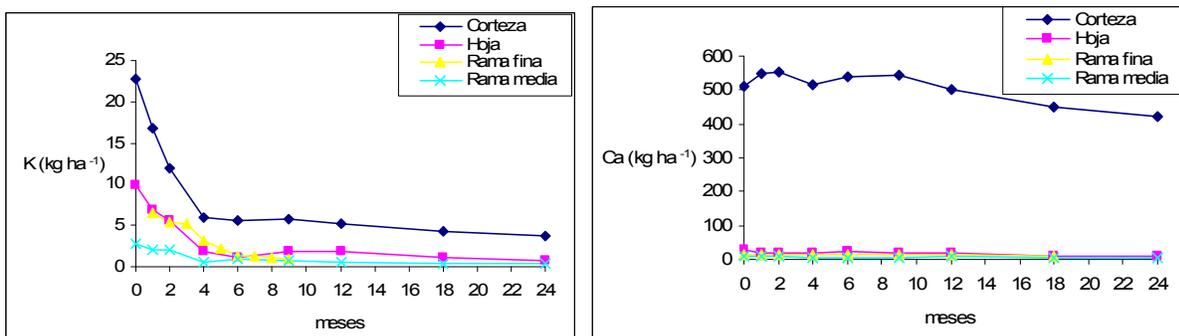
19 Por último, para Mg las mayores concentraciones se encuentran en la corteza (2.4 g kg^{-1}),
20 teniendo los demás componentes cantidades sensiblemente menores de este elemento. Para todos
21 los residuos la pérdida de Mg ocurrió en forma bastante constante a partir de la cosecha (Figura
22 11 e). Este comportamiento se explica porque las concentraciones de las distintas fracciones
23 permanecen más o menos constantes, por lo que la evolución de la cantidad de Mg de los restos

1 se relaciona estrechamente con la pérdida de biomasa. Solamente en la corteza se producen
 2 pérdidas mayores de Mg que pasa probablemente a formas minerales solubles. En forma
 3 coincidente O'Connell y Grove (1996), quienes estudiaron el ciclaje de nutrientes en bosques de
 4 eucaliptos de Australia, consideran al Mg como un elemento que no es liberado hacia el medio,
 5 sino que su pérdida depende de la degradación celular de los residuos.

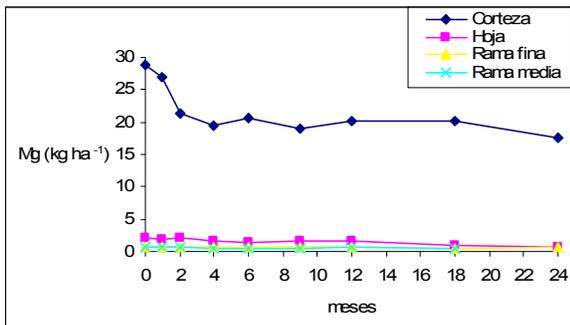
6



7



8



9 Figura 11. Evolución de los contenidos promedio de N (a), P (b), K (c), Ca (d) y Mg (e) en
 10 diferentes restos de cosecha de *E. globulus* durante el proceso de descomposición.

11

1 **Conclusiones**

2 En la plantación de *E. globulus* sobre un total de 138 Mg ha⁻¹ de biomasa, donde el 77 %
3 corresponde a las trozas comerciales la exportación de nutrientes en las mismas fue variable
4 según el nutriente en cuestión, no superando en ningún caso el 45 % del total de los nutrientes
5 presentes en el bosque (rango 18-45 %). Para *E. maidenii* cuya biomasa total fue 277 Mg ha⁻¹,
6 correspondiendo el 72 % a la madera comercial, la exportación de nutrientes estuvo en el rango
7 15-43 %. Si el descortezado no se realiza en el lugar de la cosecha los porcentajes aumentan a un
8 rango entre 58 y 81 % de exportación para *E. globulus* y entre 45 y 78 % para *E. maidenii*,
9 dependiendo del nutriente. Esto indica la importancia de mantener en el campo el material no
10 utilizado industrialmente, puesto que tendremos así una potencial contribución de nutrientes a lo
11 largo del tiempo, además de proteger al suelo contra la erosión.

12 Dentro de los diferentes residuos de cosecha, la corteza presentó la mayor proporción de Ca, Mg
13 y K para ambas especies; mientras que N y P se encontraban en altas proporciones en las hojas.
14 El Ca presentó la extracción absoluta más elevada, aunque solo una pequeña porción fue
15 exportada en las trozas (18 % en *E. globulus* y 17 % *E. maidenii*); mientras que P es quien
16 presentó la menor extracción absoluta, aunque al mismo tiempo tuvo la mayor exportación en
17 trozas (45 % en *E. globulus* y 43 % en *E. maidenii*).

18 Para todos los nutrientes estudiados, la eficiencia de uso de éstos fue mayor en *E. globulus*
19 respecto a *E. maidenii*.

20 La velocidad de descomposición de los componentes de cosecha de *E. globulus* varió según el
21 material considerado. En los 2 años se descompuso cerca del 30 % del total de los mismos. La
22 mayor tasa de descomposición se observó en hojas (68.3 % en 24 meses). Este comportamiento
23 podría explicarse por la variabilidad en el tamaño, donde los componentes más gruesos (corteza,

1 ramas medias, ramas finas) son los de más lenta descomposición. Además, la gran pérdida de
2 peso de hojas en los seis primeros meses se podría relacionar con la degradación de sus
3 componentes más inestables (C soluble), cuyas concentraciones fueron mayores en esta fracción.
4 En el transcurso de la descomposición quedan remanentes los constituyentes más resistentes,
5 como la lignina. También las diferencias en las tasas de descomposición de los restos puede
6 explicarse por la relación C: N, la cual era muy elevada para ramas y corteza, comparada con la
7 de hojas.

8 En los dos años de estudio se liberaron a partir de los restos de cosecha de *Eucalyptus globulus*
9 un total de 24.4 kg ha⁻¹ de N, 5.4 kg ha⁻¹ de P, 36.4 kg ha⁻¹ de K, 111.3 kg ha⁻¹ de Ca y 12.8 kg
10 ha⁻¹ de Mg. Si bien en este trabajo se cuantificó la pérdida de nutrientes desde los residuos de
11 cosecha, no puede asegurarse que estos estuviesen totalmente disponibles para la reforestación,
12 que generalmente se realiza en el correr del año siguiente a la tala. En el N pueden producirse
13 pérdidas durante la descomposición de los residuos, así como también de formas minerales
14 resultantes de los procesos de mineralización, con lo cual el reciclaje no es totalmente eficiente.
15 El P mientras tanto podrá estar disponible dependiendo de procesos biológicos y químicos
16 complejos, por lo que resulta difícil predecir qué cantidad podrá estar efectivamente disponible al
17 momento de la reforestación. Al mismo tiempo los cationes (K, Ca y Mg) vuelven al suelo,
18 pudiendo sobre todo el K ser reutilizado en forma casi inmediata. La lenta descomposición de
19 algunos restos no tiene que considerarse un hecho negativo desde el punto de vista de la
20 reutilización de los nutrientes, ya que puede permitirle al bosque absorberlos en el mediano y
21 largo plazo, a medida que las plantas vayan creciendo.

22 Además del aporte de nutrientes, los residuos forestales suministran materia orgánica que mejora
23 las características físicas del suelo; reducen pérdidas por lixiviación, volatilización y erosión
24 (eólica e hídrica) dada la liberación gradual de nutrientes y la protección contra el impacto de la

- 1 gota de lluvia; mantienen la actividad biológica del suelo, dadas las reducciones de evaporación;
- 2 reducen la reinfestación por malezas; entre otras.
- 3
- 4
- 5

1 **Referencias Bibliográficas**

- 2 Ambus, P. and Jenssen, E.S. 2001. Crop residue management strategies to reduce N losses –
3 Interaction with crop N supply. *Comm. Soil Sci. Plant Anal.* 32: 981-966.
- 4 Berg, B. and McClaugherty, C. 1989. Nitrogen and phosphorus release from decomposing litter
5 in relation to the disappearance of lignin. *Can. Jou. Bot.* 67:1148-1155.
- 6 Binkley, D. 1993. *Nutrición forestal. Prácticas de manejo.* 518 p. Editorial Limusa, Barcelona,
7 España.
- 8 Burgess, M.S.; Mehuys, G.R. and Madramootoo, C.A. 2002. Nitrogen dynamics of decomposing
9 corn residue components under three tillage systems. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 66:1350-1358.
- 10 Corbeels, M.; O'Connell, A.M.; Grove, T.S.; Mendham, D.S. and Rance, S.J., 2003. Nitrogen
11 Release from eucalypt leaves and legume residues as influenced by their biochemical quality and
12 degree of contact with soil. *Plant and Soil* 250:15-28.
- 13 DNM.1995. *Normales climatológicas 1961-1990.* Dirección Nacional de Meteorología,
14 Montevideo, Uruguay.
- 15 DSF- MAP. 1976. *Carta de Reconocimiento de Suelos del Uruguay.* Dirección de Suelos y
16 Fertilizantes. Ministerio de Agricultura y Pesca. Montevideo. Uruguay.
- 17 Ericsson, T., 1995. Nutrient dynamics and requirements of forest crops. *Journal of Forestry*
18 *Science.* pp 133- 168.
- 19 Frederick, D.J.; Madgwick, H.A.I.; Jurgensen, M.F. and Oliver, G.R. 1985. Dry matter content
20 and nutrient distribution in an age series of *Eucalyptus regnans* plantations in New Zealand. *N. Z.*
21 *J. For. Sci.* 15:158-179.

1 Freitas Melo, V.; Ferreira de Novais, R.; Félix de Barros, N.; Ferreira, M.; Da Costa, L. 1995.
2 Balanço nutricional, eficiência de utilização e avaliação da fertilidade do solo em P, K, Ca e Mg
3 em plantios de Eucalipto no Rio Grande do Sul. IPEF, Piracicaba (48/49). pp 8- 16.

4 Gonçalves, J.L.M.; Poggiani, F.; Stape, J.L.; Serrano, M.I.P.; Mello, S.L.M.; Mendez, K.C.F.S.;
5 Jorge, L.A.C. 1997. Efeito de práticas de cultivo mínimo e intensivo do solo sobre a ciclagem de
6 nutrientes, fertilidade do solo, configuração do sistema radicular e nutrição mineral de
7 povoamentos de *Eucalyptus grandis*. Piracicaba. Relatório final de Pesquisa, FAPESP, processo
8 Nº 1994/4248-4.

9 Goya, J.F.; Frangi, J.L.; Dalla Tea, F.; Marco, M.A.; Larocca, F. 1997. Biomasa, productividad y
10 contenido de nutrientes en plantaciones de *Eucalyptus grandis* en el noreste de la Provincia de
11 Entre Ríos. XII Jornadas Forestales de Entre Ríos. Concordia. pp III 1-18.

12 Grove, T.S.; Thomson, B.D.; Malajczuk, N. 1996. Nutritional physiology of Eucalyptus: uptake,
13 distribution and utilization. In Attiwill, P.M. and Mark, A.A. eds. Nutrition of Eucalypts. CSIRO
14 Publishing, Australia. pp77-108.

15 Herbert, M.A. 1992. Nutrition of *Eucalyptus* in South Africa. ICFR. Bulletin Series 27/92.

16 Herbert, M.A. 1996. Fertilizers and eucalypt plantations in South Africa. In: Attiwill, P.M. and
17 Mark, A.A. eds. CSIRO Publishing, Australia. pp 303-325.

18 Judd, T.S.; Attiwill, P.M.; Adams, M.A. 1997. Nutrient concentrations in *Eucalyptus*: A synthesis
19 in relation to differences between taxa, sites and components. In Attiwill, P.M. and Mark, A.A.
20 eds. Nutrition of Eucalypts. CSIRO Publishing, Australia. pp123- 153.

21 Kraus T.E.; Dahlgren R.; Zasoski, R. 2003. Tannins in nutrient dynamics of forest ecosystems.
22 Plant and Soil 256: 41–66.

- 1 Laclau, J.P.; Bouillet, J.P.; Ranger, J. 1999. Dynamics of biomass and nutrient accumulation in a
2 clonal plantation of *Eucalyptus* in Congo. *Forest Ecology and Management* 128 (2000): 181- 196.
- 3 Lovett, G.M.; Weathers K.C.; Arthur M.A.; Schultz, J.C. 2004. Nitrogen cycling in a northern
4 hardwood forest: Do species matter? *Biogeochemistry* 67: 289–308.
- 5 Marshner, H. 2003. Mineral nutrition of higher plants. pp 229-299. Academic Press, London.
- 6 Mary, B.; Recous, S.; Darwis, D. and Robin, D. 1996. Interactions between decomposition of
7 plant residues and nitrogen cycling in soil. *Plant and Soil* 181:71-82.
- 8 Ministerio de Agricultura y Pesca - Dirección de Suelos y Fertilizantes. 1976. Carta de
9 Reconocimiento de Suelos del Uruguay. Montevideo, Uruguay, v.1 y v.3.
- 10 Møller, I.S. 2000. Calculation of biomass and nutrient removal for different harvesting
11 intensities. *New Zealand Journal of Forestry Science* 30:29-45.
- 12 Morais, E.J.; Barros, N.F.; Novais, R.F. and Brandi, R.M. 1990. Biomassa e eficiência nutricional
13 de espécies de eucalipto em duas regiões bioclimáticas de Minas Gerais. *Revista Brasileira de*
14 *Ciência do Solo* 14:353-362.
- 15 Nelson, D.W. and Sommers, L.E. 1996. Total carbon, organic carbon, and organic matter. pp 961
16 – 1010 In D.L. Sparks, A.L. Page, P.A. Helmke, R.H. Loeppert, P.N. Soltanpour, M.A.
17 Tabatabai, C.T. Johnson y M.E. Summer (Eds.). *Chemical Methods*. ASA and SSSA, Madison
18 WI.
- 19 Norris, C.H.; Stuart, R. And Friemond, S. 1994. Plantation residue management. ICFR Anual
20 Research Report.

1 O'Connell, A.M. and Grove, T.S. Biomass production, nutrient uptake and nutrient cycling in the
2 Jarrah (*Eucalyptus marginata*) and Karri (*Eucalyptus diversicolor*) forests of South-Western
3 Australia. In Nutrition of Eucalypts. CSIRO Publishing. Australia. pp 155-189.

4 Pérez-Batallón, P.; Ouro, G.; Macías, F. and Merino, A. 2001. Initial mineralization of organic
5 matter in a forest plantation soil following different logging residue management techniques.
6 Ann. For. Sci. 58:807-818.

7 Rezende, J.L.P.; Garcia, Q.S. and Scotti, M.R. 2001. Laboratory decomposition of *Dalbergia*
8 *nigra* All. ex Benth and *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden leaves in forest and eucalypt
9 plantation soils. Acta Bot. Bras. 15:305-312.

10 Santana, R.C.; Barros, N.F. and Neves, J.C.L. 1999. Biomassa e conteúdo de nutrientes de
11 procedências de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus saligna* em alguns sitios florestais do Estado de
12 São Paulo. Scientia Forestalis 56:155-169.

13 Santana, R.C.; Barros, N.F. and Comerford, N.B. 2000. Above-ground biomass, nutrient content,
14 and nutrient use efficiency of eucalypt plantations growing in different sites in Brazil. New
15 Zealand Journal of Forestry Science 30:225-236.

16 Smith, C.T.; Lowe, A.T. and Beets, P.N. 1994. Nutrient accumulation in second-rotation *Pinus*
17 *radiata* after harvest residue management and fertilizer treatment of coastal sand dunes. N. Z. J.
18 For. Sci. 24:362-389.

19 Spangenberg, A.; Grimm, U.; Silva, J. R. S.; Fölster, H. 1996. Nutrient store and export rates of
20 *Eucalyptus urograndis* plantations in eastern Amazonia (Jari). Forest ecology and management,
21 v. 80, p.225-234.

- 1 Soil Survey Staff. 1999. Soil Taxonomy. A basic system of soil classification for making and
2 interpreting soil surveys. 2nd. Ed. USDA Agric. Handb. N° 436. U.S. Gov. Print Office,
3 Washington, DC.
- 4 Trinsoutrot, S.; Recous, B.; Linères, M.; Chèneby, D.; Nicolardot, B. 2000. Biochemical Quality
5 of Crop Residues and Nitrogen Mineralization Kinetics under Nonlimiting Nitrogen Conditions.
6 Soil Sci. Soc.Am.J.64:918-926.
- 7 Turvey, N.D. and Smethurst, P.J. 1994. Nutrient concentration in foliage, litter and soil in
8 relation to wood production of 7- to 15-year-old *Pinus radiata* in Victoria, Australia. Australian
9 Forestry 57:157-164.
- 10 Vaz de Arruda Silveira, R.L.; Higashi, E.N. 2002. Nutrição e adubação de *Eucaliptus*: viveiro e
11 campo. 1er. Curso de Capacitação em nutrição mineral e adubação de *Eucaliptus*: viveiro e
12 campo. Piracicaba, 22-24 de maio de 2002.
- 13 Verkaik, E.; Jongkind, A.G.; Berendse, F. 2006. Short-term and long-term effects of tannins on
14 nitrogenmineralisation and litter decomposition in kauri (*Agathis australis* (D. Don) Lindl.)
15 forests. Plant Soil (2006) 287:337–345.
- 16 Wise, P.K., and Pitman, M.G. 1981. Nutrient removal and replacement associated with short-
17 rotation eucalypt plantations. Aust. For. 44:142-152.