

Efecto de la silvicultura en la extracción de nutrientes a lo largo del turno en plantaciones de tres especies de crecimiento rápido en el norte de España

R. Rodríguez-Soalleiro^{1*}, M. Balboa², J. G. Álvarez-González²,
A. Merino³ and F. Sánchez¹

¹ Departamento de Producción Vegetal. Escuela Politécnica Superior.
Universidad de Santiago de Compostela. E-27002 Lugo. España

² Departamento de Ingeniería Agroforestal. Escuela Politécnica Superior.
Universidad de Santiago de Compostela. E-27002 Lugo. España

³ Departamento de Edafología y Química Agrícola. Escuela Politécnica Superior.
Universidad de Santiago de Compostela. E-27002 Lugo. España

Resumen

Se realiza en el presente trabajo una simulación de diferentes regímenes selvícolas para tres especies de crecimiento rápido de importancia comercial en el norte de España. A partir de modelos de crecimiento y de la desagregación de las variables dasométricas de masa se determina la composición en distintas fracciones de biomasa y las acumulaciones totales de nutrientes en la biomasa arbórea a lo largo del turno, lo que permite evaluar las cantidades totales extraídas y devueltas al suelo mediante los restos de corta. Se comprueban los altos valores de extracción anual de nutrientes en eucaliptares y la relativa frugalidad de pino pinaster. Se demuestran las ventajas que desde un punto de vista de la economía de nutrientes tienen los regímenes de claras fuertes en los pinares, así como los negativos efectos que conlleva el habitual aprovechamiento de madera y corteza en todas las especies, y que resulta especialmente relevante en los eucaliptares.

Palabras clave: *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster*, *Pinus radiata*, sostenibilidad, extracción de nutrientes.

Abstract

Effect of silviculture on the nutrient exports along the rotation in tree fast-growing plantation species of northern Spain

This paper deals with the evaluation of the amount of nutrients removed and reincorporated after clearcut or thinning in the tree main commercial species of northern Spain: *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster* and *Pinus radiata*. A simulation of different silvicultural alternatives was done using stand growth models integrated with control functions which allow to cope with an individual-tree level of detail and a determination of the components of the total aboveground biomass. The high annual rates of extraction in the eucalypts plantations and the adaptation of maritime pine to poor sites where low amounts of nutrients were removed are demonstrated. Heavy thinning silvicultural regimes give a better nutrient economy for pines. The harvest of no debarked wood is very important for the amount of extractions, particularly in eucalypts.

Key words: *Eucalyptus globulus*, *Pinus pinaster*, *Pinus radiata*, silviculture, sustainable forestry, nutrients extraction.

Introducción

La creciente demanda de materia prima industrial ha dado lugar a una rápida expansión de plantaciones de especies de crecimiento rápido en el arco atlántico del sur de Europa. Las especies comerciales más importantes son el pino gallego o marítimo (*Pinus pi-*

naster Ait.), el pino insigne (*Pinus radiata* D. Don) y el eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*). En la actualidad los inventarios forestales estiman 1,5 millones de hectáreas de bosques procedentes originalmente de plantaciones en el norte de España.

El pino gallego, que vuelve a ser actualmente la especie más plantada en Galicia, tiene una especial relevancia productiva en esta comunidad y en Asturias. La silvicultura practicada es muy variada, y las formas de masa existentes pueden proceder tanto de plantaciones

* Autor para la correspondencia: roquers@lugo.usc.es
Recibido: 02-09-03; Aceptado: 03-02-04.

como de regeneración natural. Los turnos aplicados oscilan en general entre 30 y 45 años, destinándose la madera a las industrias de tablero, aserraderos o para la producción de chapa.

Eucalyptus globulus ocupa en Galicia más del 20% de la superficie arbolada en masas puras o mezclado con *Pinus pinaster* (DGCN, 2000). Las existencias son de alrededor de 35 millones de m³, y la madera producida se emplea para producir pasta de papel (53%), tableros (36%) y madera aserrada (11%) (Bermúdez y Touza, 2000).

Las plantaciones de esta especie suelen tratarse a monte bajo con rotaciones cortas, por lo general de 12 a 15 años. Su productividad depende fundamentalmente de la calidad de estación y de las sucesivas rotaciones de corta a que haya sido sometida la masa, pero también pueden influir otras operaciones selvícolas, como el tipo de preparación del terreno, el control de la vegetación adventicia o tratamientos de fertilización. El rango general de productividad oscila entre 10 y 40 m³ ha⁻¹ año⁻¹, con una media de 20 m³ ha⁻¹ año⁻¹.

La selvicultura de pino radiata se practica particularmente en las comunidades vasca y gallega, y rinde una producción global de madera de unos 3,5 millones de m³, con una productividad variable entre 10 y 25 m³ ha⁻¹ año⁻¹ (Sánchez Rodríguez, 2001). Los turnos de corta han tenido una tendencia creciente en los últimos años, paralela a la realización de claras más fuertes y a favorecer la aplicación de la madera al aserrado y al desenrollo. Las piezas de menor dimensión tienen su destino principal en la producción de tableros.

Por otro lado, los suelos forestales del noroeste de España son fuertemente ácidos y presentan bajas concentraciones de Ca, Mg, K y P extraíbles. Las bajas reservas de nutrientes en los suelos se atribuyen al lavado por elevadas precipitaciones, a la escasa liberación de nutrientes por alteración de las rocas y a su tendencia a fijar el P de forma no asimilable por las plantas por distintos compuestos de Fe y Al.

En el caso del K se produce liberación por alteración de silicatos, pero debido a su carácter monovalente es fácilmente lixiviado, y puede sufrir retrogradación al quedar aprisionado entre láminas de arcillas expandibles. En el caso de Ca y Mg el ciclo en suelos silíceos y lavados es similar: existe dificultad de liberación por alteración de silicatos y la adsorción a los coloides del suelo no es fuerte, por lo que el proceso de lavado y descalcificación es intenso. Además, y salvo rocas básicas o ultrabásicas, el Mg se lava con mayor facilidad, por lo que predomina el Ca tanto en la

solución del suelo como en el complejo adsorbente (Gandullo, 1994).

El elevado crecimiento de muchas especies comerciales se atribuye a las favorables condiciones climáticas de la zona, y también a la relativa tolerancia de las tres especies estudiadas a la acidez del suelo. Sin embargo, muchos análisis foliares indican estados nutricionales deficientes en masas maduras, particularmente para *Pinus radiata* y *Eucalyptus globulus* (Brañas *et al.*, 2000; Sánchez Rodríguez *et al.*, 2002). Al mismo tiempo, se han verificado elevadas cantidades de nutrientes extraídas en las cortas comparadas con las disponibles en el suelo, muy particularmente si la profundidad es escasa y la pedregosidad alta. Ello ha apoyado la idea de no retirar los restos de corta, e incluso se han sugerido diferentes posibles respuestas tras su incorporación al suelo (Ouro *et al.*, 2001; Brañas *et al.*, 2000; Merino *et al.*, 2003; Zas y Serrada, 2003).

La obtención de valores numéricos que expliquen el ciclo completo de distintos nutrientes en el suelo es un proceso complejo. Deben considerarse los procesos de alteración de la roca, mineralización de la materia orgánica y deposición por precipitación que, entre otros, suponen entradas al sistema, así como la lixiviación y la extracción de nutrientes, que constituyen salidas. En suelos en pendientes la existencia de migraciones oblicuas complica la realización de los balances.

Los regímenes de tratamiento que se aplican en la selvicultura intensiva deben ser tales que se mantenga el capital nutritivo del suelo y la disponibilidad de nutrientes para conseguir mantener la productividad a largo plazo. Las cortas provocan pérdidas de nutrientes derivadas de la propia extracción de distintas fracciones de biomasa, de la volatilización en caso de quema de restos y de procesos de erosión o percolación que pueden resultar derivados, si bien el primer componente es normalmente el más importante cuantitativamente (Judd, 1996; Turner y Lambert, 1996), pudiendo ser comparable a las reservas de nutrientes en el suelo. Al existir grandes diferencias en la concentración de nutrientes entre los órganos vegetales, el tipo de explotación realizado repercute en las cantidades finalmente extraídas.

El objetivo de este trabajo es la determinación de las cantidades de nutrientes extraídas a lo largo de una rotación de corta para las principales especies comerciales del norte de España, mediante la integración de distintos modelos de crecimiento y producción de biomasa. Se consideran distintas opciones en cuanto a calidad de estación, duración del turno y tratamientos selvícolas usuales, así como tres posibilidades de ex-

tracción de fracciones de biomasa en los aprovechamientos. Se valoran los resultados respecto a la repercusión producida, y se proponen los tratamientos más adecuados para lograr una producción sostenible.

Material y Métodos

Modelos de crecimiento y producción empleados

La simulación de nutrientes extraídos en las cortas realizadas a lo largo de la rotación se ha efectuado a partir de modelos de crecimiento, de contenido en biomasa y de los valores medios de concentraciones de nutrientes en las distintas fracciones de la biomasa arbórea.

Para el caso de *Pinus pinaster* y *Pinus radiata* se emplearon modelos dinámicos de rodal, que permiten predecir la evolución en el tiempo de tres variables de estado básicas: la densidad (N), el área basimétrica (G) y la altura dominante (h_{dom}), para un rango amplio de regímenes de clara. La estructura de los modelos se ha descrito por Alvarez González *et al.* (1999) y por Rodríguez Soalleiro *et al.* (2002). En el caso del eucalipto se han empleado las tablas de producción para distintos espaciamientos iniciales (Fernández en Madrigal *et al.*, 1999), elaboradas a partir de un modelo clásico de carácter estático.

Aplicando funciones de salida a partir del modelo de rodal, se predijo para cada edad la distribución diamétrica completa, para lo que se empleó la función de distribución de Weibull fijándose el parámetro de situación (a) en 5 cm y calculándose los dos parámetros restantes por el método de los momentos. Para las tres especies resultó necesario el ajuste de una ecuación de regresión entre el diámetro medio y el diámetro medio cuadrático (d_g), con el fin de poder emplear los valores de d_g que se derivan de las variables de estado.

El siguiente paso en el proceso de integración de los modelos de crecimiento fue la estimación de una relación altura-diámetro generalizada, para lo que se empleó la ecuación propuesta por Schröder y Alvarez (2001) ajustada a cada especie. La consideración como variables independientes de h_{dom} y d_g permite su utilización para cualquier edad y, en definitiva, estimar la altura correspondiente al diámetro marca de clase.

El uso encadenado de todas estas ecuaciones permitió definir la evolución de un rodal estándar correspondiente a una determinada calidad, estableciendo los estados antes y después de clara en el caso de

los pinares. Por diferencia entre esos dos se determinó la masa extraída, que se fue acumulando a lo largo de toda la rotación hasta alcanzar la corta final.

Determinación de los componentes de la biomasa arbórea y contenido de nutrientes

Con el fin de obtener las ecuaciones de estimación de la biomasa arbórea, para cada especie considerada se partió de un total de 56 pies bien repartidos por clases diamétricas localizados en siete plantaciones distribuidas por toda Galicia.

Los árboles se apearon y fraccionaron en madera (hasta 7 cm de diámetro con corteza), ramas gruesas (ramas con corteza de 2 a 7 cm de diámetro), ramas finas (entre 0,5 y 2 cm de diámetro), ramillos y hojas. El procedimiento de determinación del peso seco de cada componente se indica en Merino *et al.* (2003).

Las ecuaciones de predicción se ajustaron de forma simultánea, asegurando la compatibilidad entre la determinación por separado de cada componente y la estimación de la biomasa total, para lo que se empleó el sistema de tres pasos denominado regresión Zellner (1962) o SUR (*seemingly unrelated regression*), incluido en el paquete estadístico SAS STAT (SAS Institute, 1999). Las ecuaciones empleadas son del tipo:

$$\begin{aligned} M &= a_0 d^{a_1} h^{a_2} & C &= a_0 d^{a_1} h^{a_2} \\ C &= a_0 d^{a_1} & Rg &= a_0 + a_1 d^2 h \\ Rg &= a_0 + a_1 d^2 h & Rf &= a_0 d^{a_1} g^{a_2} \\ Rf &= a_0 d^{a_1} h^{a_2} & Rll &= a_0 d^{a_1} g^{a_2} \\ Rll &= a_0 d^{a_1} & A &= a_0 d^{a_1} g^{a_2} \\ A &= a_0 d^{a_1} & & \end{aligned}$$

En ellas M es la fracción de madera, C la de corteza, Rg ramas gruesas, Rf ramas finas, Rll ramillos y A las acículas (pinos) u hojas de eucalipto. Las variables independientes son d (diámetro), h (altura) y g (área basimétrica).

La aplicación de estas ecuaciones a cada estado del rodal en el tiempo permitió determinar las extracciones de biomasa realizadas en las cortas parciales y en la corta final, así como las fracciones devueltas al suelo con motivo de las distintas intervenciones.

Por último, la consideración de la concentración media de N, P, K, Ca y Mg en cada componente permitió calcular en cada momento la cantidad total de nutrientes que se extrajeron o permanecieron en la biomasa. Dichas concentraciones se establecieron para las tres especies empleando la misma metodología expuesta por Brañas *et al.* (2000), mostrándose en la tabla 1 los

Tabla 1. Concentraciones de nutrientes en fracciones de la biomasa aérea

	N			P			K			Ca			Mg		
	Eg	Pr	Pp	Eg	Pr	Pp	Eg	Pr	Pp	Eg	Pr	Pp	Eg	Pr	Pp
Hojas	14.8	14.3	15.2	0.55	0.86	0.53	3.8	5.47	3.4	6.34	1.69	1.46	1.84	0.75	1.04
Ramillos	6.1	5.1	6.9	0.35	0.45	0.34	3.9	2.82	2.5	8.16	1.38	2.68	1.49	0.62	0.95
Ramas finas	3.9	3.2	4.5	0.20	0.35	0.21	2.2	2.05	1.7	3.29	0.69	2.52	0.92	0.47	0.74
Ramas gruesas	3.5	1.8	2.7	0.18	0.22	0.11	1.7	1.46	0.9	2.21	0.55	1.48	0.78	0.40	0.59
Corteza	4.5	3.0	3.7	0.20	0.14	0.11	2.5	1.91	0.9	6.63	1.08	0.93	2.44	0.55	0.41
Madera	1.6	0.8	1.5	0.09	0.11	0.06	0.7	0.71	0.7	0.60	0.32	0.53	0.18	0.20	0.26

Se indican concentraciones en mg g⁻¹, para las especies *Eucalyptus globulus* (Eg), *Pinus radiata* (Pr) y *Pinus pinaster* (Pp).

valores medios empleados en este trabajo. Se partió de datos obtenidos en 10 parcelas de cada especie con edades próximas a la de corta en el caso de eucalipto, y en el intervalo de 20 a 40 años para los pinos.

A falta de un conjunto de datos extenso, se ha considerado en los cálculos que el nivel de nutrientes de las diferentes fracciones de biomasa arbórea es independiente de la edad del arbolado y de la calidad de estación, a pesar de que algunos autores han encontrado diferencias de concentración derivadas de la densidad o de otras condiciones del rodal (Barron-Gafford *et al.*, 2003; Ranger *et al.*, 1995).

Se considerada válida esta suposición dado que las densidades habituales en la gestión forestal no implicarían grandes diferencias de niveles de nutrientes en la biomasa arbórea, y las extracciones derivadas de aprovechamientos simulados se concentran en un rango de edades suficientemente avanzado para que las variaciones de las concentraciones puedan considerarse inferiores a la que pueda producirse de una masa a otra.

Por otro lado, se han omitido las simulaciones con las calidades extremas, por lo que la variación del índice de sitio se sitúa dentro de un rango medio para cada especie (calidad media-alta y media-baja). Para el eucalipto, el modelo considerado establece una edad de referencia de 10 años y las dos calidades empleadas en la simulación fueron 17 m y 23 m. Para ambas especies de pino la edad de referencia es de 20 años y las calidades empleadas fueron 13 y 17 m para *Pinus pinaster* y, 17 y 21 m para *Pinus radiata*.

Regímenes de selvicultura y aprovechamiento simulados

Para el caso de los pinos se simuló la evolución de las principales variables de masa para dos regímenes selvícolas diferentes: una selvicultura de alta densi-

dad y otra de densidad más reducida. La primera se caracteriza por una mayor densidad inicial (de 2.100 a 2.500 pies por ha) y realización de claras débiles y numerosas (de 3 a 4), que mantienen el índice de Hart antes de clara en valores de 0,16-0,18 para pino del país y de 0,13 a 0,15 para pino radiata, con producción preferente de madera de pequeña dimensión orientada a trituración. La segunda presenta una densidad inicial de 1.250 a 1.300 pies, se aplican dos extracciones fuertes que mantienen el índice de Hart antes de clara en valores de 0,20-0,22 para pino radiata y de 0,22 a 0,24 para pino del país, con producción preferente de madera de sierra. Los regímenes simulados corresponden con la densidad alta y baja presentada por Sánchez Rodríguez (2001) y con las alternativas de selvicultura 1 y 3 establecidas por Rodríguez Soalleiro (1995).

En el caso del eucalipto, la selvicultura normalmente practicada no incluye la realización de claras, por lo que el nivel de densidad se reduce a considerar el marco inicial de plantación, habiéndose simulado los marcos de 2,5 × 2,5 y 3 × 3 m. El modelo empleado predice una mortalidad natural que da lugar a la lógica reducción de la densidad a lo largo del turno, y considera pequeñas disminuciones de la altura dominante en función del espaciamiento inicial, a razón de 0,4 m en h_{dom} por cada 0,5 m de reducción del marco de plantación (Fernández en Madrigal *et al.*, 1999).

Por último, se han establecido tres posibles alternativas referentes al sistema de aprovechamiento y de manejo de restos de corta:

1. Extracción exclusiva de la fracción de madera, con descortezado en monte y esparcido de los restos de corteza.

2. Extracción del monte de madera y corteza, de forma que esta última fracción no queda esparcida en el área de corta, sistema más general de aprovechamiento forestal en toda la zona.

3. Extracción de madera, corteza y la fracción de ramas gruesas para aprovechar por la industria de trituración de madera.

Resultados y Discusión

Comparación entre especies y calidades de estación

En la tabla 2 se indican las extracciones medias anuales de nutrientes, evaluadas a lo largo de todo el turno, para el caso más habitual de aprovechamiento de madera y corteza. De los valores indicados se deducen las elevadas tasas de extracción de P en el caso de *Pinus radiata* comparadas con *Eucalyptus globulus* y *Pinus pinaster*. Para eucalipto la tasa media de extracción es 2/3 en relación a radiata, siendo de 1/3 en el caso de pino pinaster.

Este resultado indica que el pino de Monterrey es relativamente exigente respecto a este nutriente comparado con las otras dos especies, aspecto puesto de manifiesto con anterioridad por diversos autores (Madgwick *et al.*, 1977; Raison *et al.*, 1982; etc.). Si a ello unimos su baja disponibilidad en el suelo, cabe esperar una situación generalizada de deficiencia foliar en P, tal y como ha sido encontrada en los pinares adultos de esta especie (Sánchez Rodríguez *et al.*, 2002) y ratifica la importancia de este elemento para la nutrición y el crecimiento de las plantaciones.

Para el resto de nutrientes analizados, las extracciones en eucaliptares superan enormemente a la correspondiente a pinos, sobre todo en el caso del Ca, en que se obtienen niveles medios de extracción cuatro veces mayores. *Pinus radiata* presenta extracciones generalmente más altas que *Pinus pinaster*, salvo en lo que respecta al Ca, para el que los valores son si-

milares. Los resultados demuestran el carácter frugal de esta última especie, puesta de manifiesto por otros autores con anterioridad (Bará y Toval, 1983; Gandullo y Sánchez Palomares, 1994).

Las cantidades de Ca, K y Mg acumuladas en la biomasa de masas maduras de *Pinus radiata* en Nueva Zelanda son superiores a las encontradas aquí (Madgwick *et al.*, 1977; Webber y Madgwick, 1983), como corresponde a calidades de estación más productivas.

Las extracciones obtenidas para *Eucalyptus globulus* resultan similares a las que se han recogido en la bibliografía. Así Judd (1996) encontró extracciones medias superiores de K, Ca y Mg en plantaciones de 20 años de *Eucalyptus grandis* (17,7; 42,7 y 6,5 kg ha⁻¹ año⁻¹ para extracción de madera y corteza) y del mismo orden para P (1,1 kg ha⁻¹ año⁻¹). La acumulación de nutrientes en la biomasa es similar a los valores que ofrecen Pereira *et al* (1996) para *Eucalyptus globulus* de 11 años, a excepción de la mayor acumulación de Mg (234 kg ha⁻¹) en Portugal. Sin embargo, las proporciones de nutrientes inmovilizados en la madera respecto a la biomasa arbórea son muy superiores al 25% dado como norma por Pereira y Sardiña (1984), resultando ser superiores al 50% en P y K, y al 28% en el caso de Ca y Mg.

La clásica selvicultura de eucalipto en monte bajo, caracterizada por la no realización de claras, implica la no recirculación de nutrientes derivada de restos de cortas parciales. En este sentido, el estado nutricional de las plantaciones sólo sería mejorable mediante fertilizaciones de reposición. Aunque no ha podido evaluarse con los modelos empleados, el proceso natural de caída de tiras de corteza o de poda natural de las ramas inferiores, que resulta intenso en estaciones pobres, es fundamental en la recirculación de nutrientes y por tanto en el crecimiento de plantaciones a partir de la tangencia de copas (Grove *et al.*, 1996).

Si bien se ha indicado que el eucalipto puede presentar asociaciones micorrícicas que le facilitan la absorción de nutrientes en suelos relativamente pobres (Grove *et al.*, 1996), parece recomendable evitar su plantación en suelos de poca fertilidad, de mayor aptitud para el pino marítimo, lo que no concuerda exactamente con las prácticas forestales habituales en el norte de España. El carácter exigente en fertilidad de las principales especies de eucaliptos maderables, en comparación incluso con *Pinus radiata*, es bien conocido en Nueva Zelanda (Knigh y Nicholas, 1996).

Se observan diferencias muy importantes de acumulación y extracción de nutrientes para las dos cali-

Tabla 2. Extracciones medias anuales de nutrientes a lo largo del turno

Nutriente	<i>Eucalyptus globulus</i>	<i>Pinus radiata</i>	<i>Pinus pinaster</i>
Fósforo (P)	0,7-1,7	1,2-2,4	0,3-0,5
Potasio (K)	5,7-14,1	5,0-9,1	3,0-5,3
Calcio (Ca)	7,9-17,8	2,2-4,0	2,5-4,3
Magnesio (Mg)	2,7-5,9	1,7-3,3	1,2-2,1

Extracciones en kg ha⁻¹ año⁻¹ a lo largo de toda la rotación para las tres especies comerciales de mayor importancia en el norte de España. Se considera aprovechamiento de madera y corteza.

dades de *Eucalyptus globulus* consideradas. Como media para todos los nutrientes, la extracción media anual se reduce en un 52% en la calidad baja respecto a la alta, siempre considerando la extracción de las fracciones de madera y corteza. Dicho porcentaje es del 33% en *Pinus pinaster* y del 22% en *Pinus radiata*. Si bien esos valores tienen una dependencia de las calidades concretas seleccionadas para efectuar la simulación, no se han seleccionado en eucalipto calidades extremas, por lo que debe concluirse que el efecto de la calidad de estación es mucho más intenso en los eucaliptares.

Comparación entre alternativas selvícolas y turnos

En el caso del eucalipto no se producen diferencias substanciales en cantidad total de biomasa o de nutrientes acumulados para los dos espaciamientos iniciales ensayados. Sin embargo, como cabría esperar se produce una cierta variación en las proporciones relativas de los diferentes componentes a favor de las ramas gruesas y hojas para el mayor espaciamiento (los datos de biomasa no se presentan).

Las tasas medias anuales de extracción se incrementan de un 5 a un 10%, según el nutriente considerado, al prolongar el turno de corta de 13 a 16 años, lo que se justifica por no haberse alcanzado a esa edad el turno de máxima renta en especie. Una prolongación del turno mayor, hasta 25 ó 30 años, posiblemente tendría un efecto de reducción de la extracción media de nutrientes; aunque no ha podido simularse, esta opción se enmarcaría en una selvicultura todavía poco experimentada en Galicia. Varios autores han indicado unas tasas anuales de extracción menores en el caso de bosques naturales de eucalipto con turno de corta elevado (unos 80 años), en relación a plantaciones a turno corto, resultando en particular los balances positivos por las deposiciones atmosféricas de nutrientes (Turner y Lambert, 1996).

La distribución de nutrientes extraídos y reciclados en las dos especies de pinos se presenta en las figuras 1 y 2. En este caso los dos regímenes selvícolas ensayados tienen un efecto importante, en dos aspectos diferentes:

1. Las extracciones medias totales son considerablemente menores para la selvicultura de baja densidad. El porcentaje de reducción es de 5,6 a 14,8% en *Pinus pinaster*, y de un 15,0 a un 28,6% en *Pinus radiata*. Es preciso destacar que las mayores reducciones afectan al P, que es el elemento más limitante.

2. La selvicultura aplicada tiene un efecto relevante en la recirculación de nutrientes mediante la descomposición de los restos de cortas intermedias. En *Pinus pinaster* se recicla una cantidad doble de nutrientes si se aplica un régimen de claras fuertes. La respuesta en *Pinus radiata* no es tan notoria, debido a que incluso en el régimen selvícola de claras débiles la intensidad de las claras es apreciable.

Por otro lado, los regímenes de claras débiles suponen unas mayores cantidades de nutrientes inmovilizados durante más tiempo en la biomasa arbórea, de forma que, alcanzado el turno, se produce una extracción instantánea muy intensa, y se aportan mayores cantidades de restos de corta al mismo tiempo.

Con un régimen selvícola de claras fuertes la cantidad total de nutrientes devueltos al suelo a lo largo de toda la rotación es mayor, y además está mejor repartida en el tiempo. Así, y siempre para la opción de aprovechamiento de madera con corteza, del 27 al 30% del total de restos devueltos al suelo a lo largo de la rotación corresponden a las claras en pino pinaster, y del 30 al 45% en pino radiata.

A corto plazo, la liberación de nutrientes por descomposición de acículas y ramillos es muy superior a la de los otros restos leñosos, de mayor relevancia a largo plazo. La reducción de la cantidad de restos ricos en nutrientes de cara a la corta final tiene gran importancia si se desea una liberación gradual de los mismos.

Por otro lado, en numerosas experiencias se ha comprobado un incremento de la descomposición de la materia orgánica y de la disponibilidad de nutrientes tras las claras con aumentos en las concentraciones foliares de la masa principal, causados bien por la mayor disponibilidad en el suelo o por una reducción de la competencia, lo que supondría una mejora del estado nutricional del arbolado (Thibodeau *et al.*, 2000; Horka *et al.*, 1996; Bäumler y Zech, 1999, etc.)

La cantidad total de nutrientes extraídos para una selvicultura de altas densidades con el aprovechamiento tradicional de madera y corteza supera a la que corresponde a selvicultura de baja densidad con aprovechamiento adicional de ramas gruesas en pino pinaster para P y K, y en pino radiata para todos los nutrientes. De todo ello se deriva que la selvicultura practicada tiene una importancia determinante en las extracciones de nutrientes, especialmente la reducción gradual de la densidad en los esquemas progresivos con la ejecución de cortas intermedias, manteniendo la espesura a unos niveles adecuados.

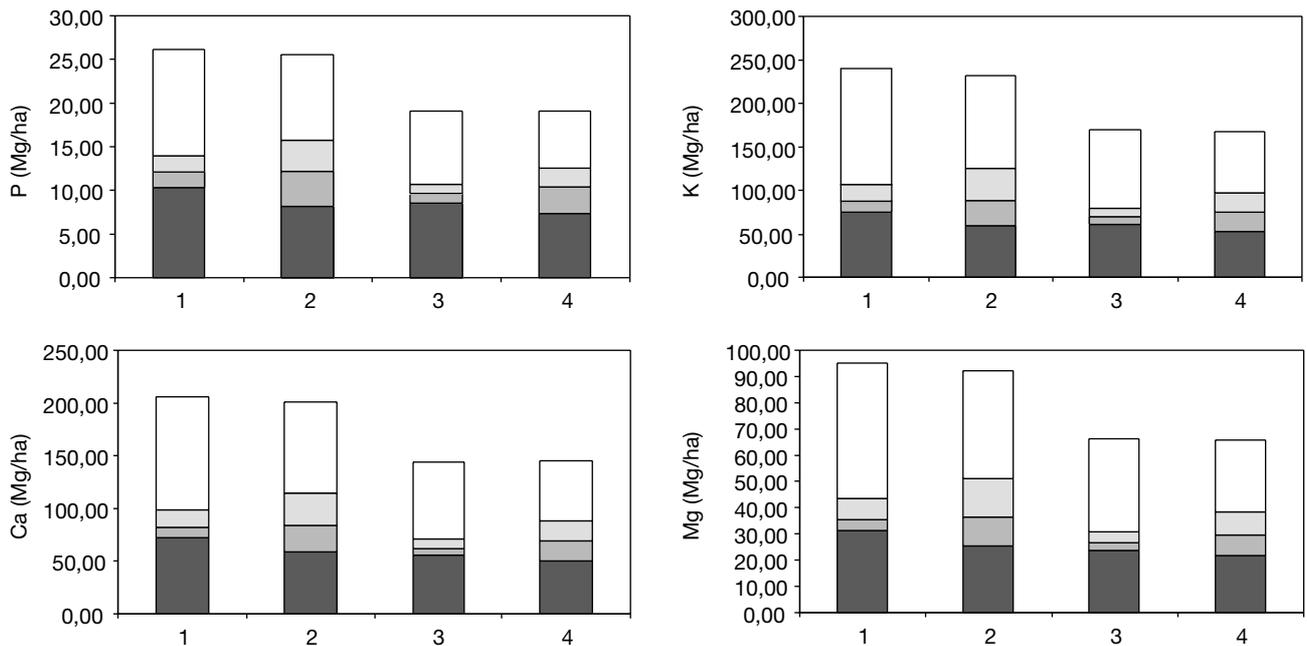


Figura 1. Distribución de nutrientes extraídos y reciclados en pino gallego. Se indican cantidades totales de nutrientes en kg/ha, extraídos en corta final (□), extraídos en las claras (▨), devueltos al suelo como restos de claras (▩) o devueltos al suelo en corta final (■). Los datos corresponden a una rotación de 30 años con aprovechamiento de madera y corteza. Se compara: 1: calidad alta (17) y selvicultura de alta densidad; 2: calidad alta y densidad baja; 3: calidad baja (13) y densidad alta; 4: calidad baja y densidad baja.

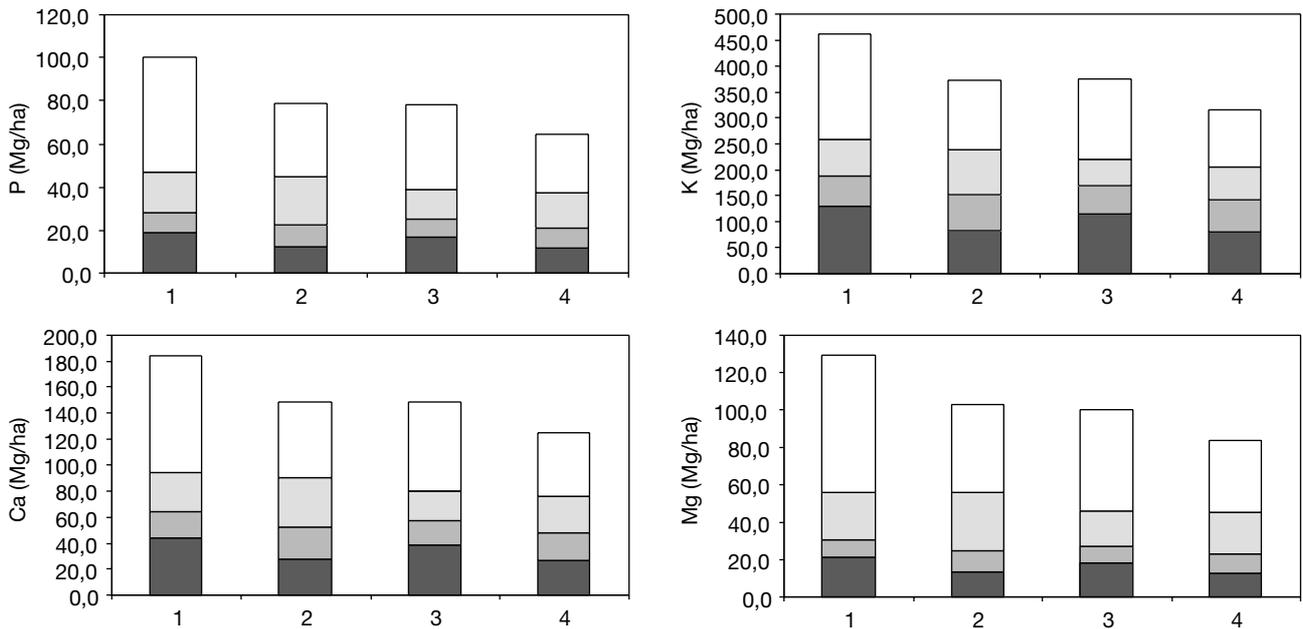


Figura 2. Distribución de nutrientes extraídos y reciclados en pino radiata. Se indican cantidades totales de nutrientes en kg/ha, extraídos en corta final (□), extraídos en las claras (▨), devueltos al suelo como restos de claras (▩) o devueltos al suelo en corta final (■). Los datos se refieren a rotación de 30 años con aprovechamiento de madera y corteza. Se compara: 1: calidad 21 y selvicultura de alta densidad; 2: calidad 21 y densidad baja; 3: calidad 17 y densidad alta; 4: calidad 17 y densidad baja.

Las extracciones medias son muy similares para los turnos ensayados en cada alternativa, si bien en *Pinus pinaster* sigue creciendo la extracción media en el rango general considerado (de 30 a 40 años), mientras que en *Pinus radiata* se aprecia un ligera reducción. Ello tiene una relación directa con el turno de máxima renta en especie. Se concluye que una ligera prolongación del turno no tiene *per se* gran importancia en la extracción de nutrientes realizada en las plantaciones. Por otra parte, una prolongación mucho mayor no sería aconsejable, bien por la proliferación de problemas sanitarios en los pinares o bien por alejarse en demasía del óptimo financiero.

Influencia del tipo de aprovechamiento

El creciente interés por utilizar la biomasa no maderable hace que sea necesario discutir las posibles implicaciones del aprovechamiento de estas fracciones en la economía nutricional del sistema forestal.

En la figura 3 y en las tablas incluidas en el anexo se muestra la acumulación de nutrientes en las distintas fracciones de biomasa aprovechables (madera, cor-

teza, ramas gruesas), así como en el resto de las fracciones (ramas finas, ramillos y acículas), lo que permite considerar cuatro posibilidades distintas de extracción: madera exclusivamente, madera y corteza, madera, corteza y ramas gruesas o bien extracción total de todas las fracciones.

Es en el eucalipto donde la influencia de las fracciones extraídas es más acusada, particularmente en el caso de Ca y Mg, y en particular para la fracción de corteza. Este resultado indica la relevancia que la extracción de la corteza de eucalipto tiene desde el punto de vista nutricional, aspecto ya puesto de manifiesto por muchos autores, y generalizable a todos los eucaliptos de corteza fina (Judd *et al.*, 1996; Herbert, 1996). De la simulación realizada se deriva que una extracción adicional de ramas gruesas queda sobradamente compensada por el esparcido de la corteza en el área de corta, ello para los cuatro nutrientes analizados.

En pino radiata la acumulación de nutrientes en la corteza también resulta importante, particularmente en el caso de Ca y K. La retirada adicional de ramas gruesas queda asimismo compensada por el esparcido de la corteza, para todos los nutrientes. La operación de descortezado en monte sería una práctica aconse-

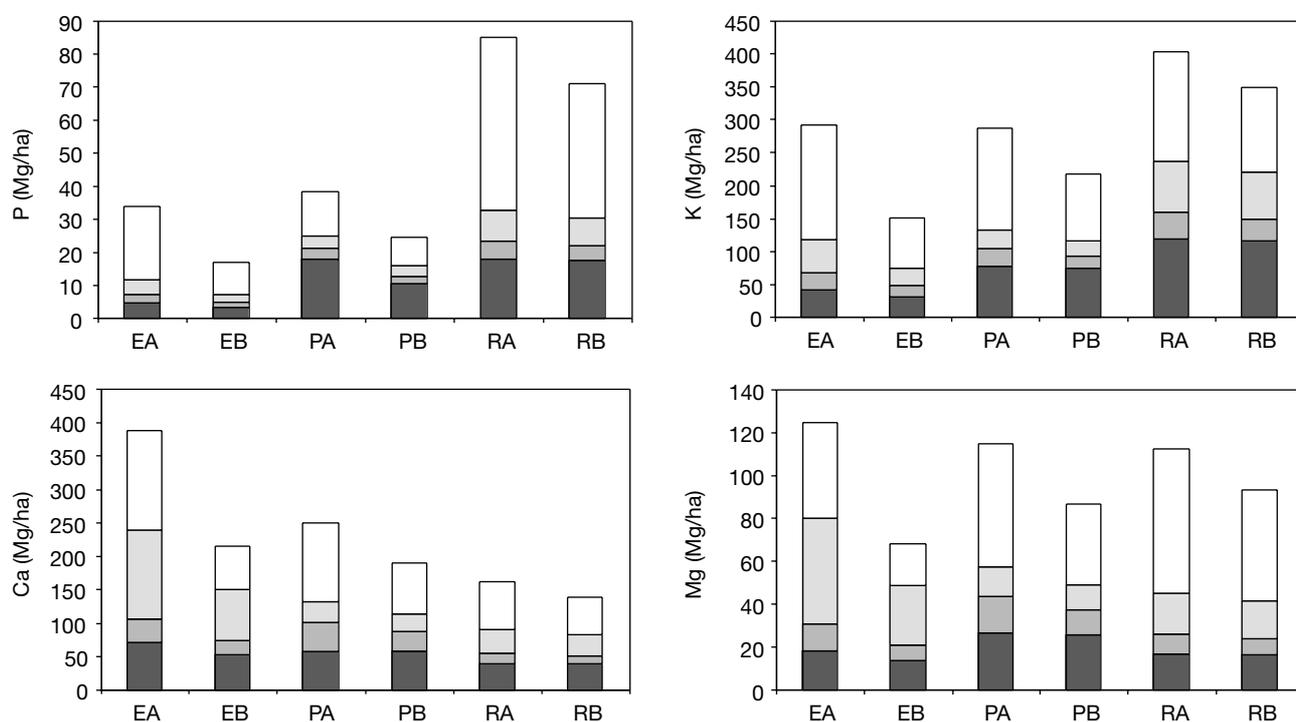


Figura 3. Cantidades de nutrientes acumulados en distintas fracciones de biomasa a lo largo de todo el turno. Se indican cantidades totales de nutrientes en kg/ha: □ para madera, ■ para ramas gruesas, ▒ para corteza y ■ para otros restos, a lo largo de toda la rotación. Se representa para EA y EB (eucalipto, calidad alta y baja), PA y PB (pinaster) y RA y RB (radiata). Se han tomado los valores correspondientes al turno mayor de los considerados (16 años para eucalipto y 40 para los pinos).

jable en eucalipto y pino radiata, siendo esta práctica muy frecuente en los eucaliptares sudafricanos (Herbert, 1996). Para la primera especie, el empleo de cosechadoras conlleva esa operación, aunque en la mayoría de los casos la madera entra en fábrica con corteza, descortezándose en parque, o incluso se emplea madera sin descortezar en el proceso de producción (líneas de tablero MDF que emplean eucalipto).

La importante cantidad de fósforo retirada en el caso de *Eucalyptus globulus* y *Pinus radiata* no se puede reducir sensiblemente con el tipo de aprovechamiento, ya que la mayor parte del P de la biomasa arbórea se localiza en la madera (61,5% en eucalipto y 59,3% en pino radiata). Puesto que el aporte de P por alteración y deposición atmosférica es muy bajo, su suministro debería asegurarse mediante fertilización.

La proporción de nutrientes acumulados en las fracciones de ramas finas, ramillos y acículas es superior en *Pinus pinaster* a las de las otras dos especies, por lo que en este caso los tipos de aprovechamiento simulados tienen menor importancia relativa en la extracción de nutrientes. La corteza presenta una reducida acumulación de nutrientes, pero la retirada de ramas gruesas tiene un efecto importante en la extracción de Ca y Mg. Los datos son indicativos del elevado impacto que la tradicional práctica, hoy día en abandono, de extracción de toda la biomasa del pinar, incluidas las acículas o incluso el mantillo, presentaba de cara a la sostenibilidad del aprovechamiento (Dambrine *et al.*, 2000).

Los cálculos sobre pérdida de nutrientes deben considerar que un tratamiento de quema de los restos de corta puede suponer la pérdida de buena parte de los nutrientes contenidos en las fracciones que quedan en el área de corta, derivado de pérdidas atmosféricas de elementos volátiles y pérdidas por lixiviación y erosión. Así, Judd (1996) indica que con fuegos de elevada intensidad pueden ocurrir pérdidas del 50% de P, y 60% de K, Ca y Mg, mientras que un fuego ligero daría lugar a pérdidas del 20% de cada uno de esos elementos con respecto a las cantidades en los restos de cortas. Se trata por tanto de un efecto importante que puede descompensar una buena elección del régimen selvícola y de las fracciones aprovechadas, si bien actualmente se emplea de forma escasa.

La simulación resulta sensible al conocido efecto de incremento de los porcentajes de nutrientes acumulados en la madera en las mejores calidades, y consiguientemente un mayor porcentaje de nutrientes acumulados en el resto de las fracciones en el caso de las

peores estaciones. Ello indica que la extracción de fracciones como la corteza o las ramas gruesas es más perjudicial en términos relativos en las peores calidades.

Conclusiones

La integración de distintos modelos de crecimiento y evolución de rodales forestales junto con la consideración de modelos predictivos del contenido en biomasa en árboles individuales y las concentraciones de nutrientes en las distintas fracciones permite realizar simulaciones útiles para predecir las extracciones y reincorporaciones de nutrientes debido a operaciones de aprovechamiento a lo largo de todo el turno.

El conocido efecto de dilución de nutrientes, estrategia que puede explicar la capacidad de estas plantaciones para producir biomasa en condiciones de fertilidad pobre no ha podido simularse en este trabajo, por lo que posteriores desarrollos deben encaminarse a considerar la variación de la concentración de nutrientes con la edad, la calidad de estación o incluso la edad del arbolado. Los resultados obtenidos sirven sin embargo a efectos comparativos y permiten extraer conclusiones importantes sobre la influencia de la silvicultura y tipo de aprovechamiento en la dinámica de nutrientes del sistema.

Las extracciones obtenidas concuerdan con otros trabajos realizados en especies de crecimiento rápido e indican la importancia de la extracción de corteza y de la adopción de un régimen de claras adecuado.

Agradecimientos

Este trabajo ha contado con financiación procedente del programa PROFIT y de la Xunta de Galicia, en colaboración con el CIS-Madera. Los modelos usados derivan de la ejecución del proyecto AGL2001-3871-CO2-01, financiado por el Ministerio de Ciencia y Tecnología. Agradecemos a Fernando Basurco y Gabriel Toval por la revisión crítica del manuscrito.

Referencias

- ÁLVAREZ GONZÁLEZ J.G., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., VEGA G., 1999. Elaboración de un modelo de crecimiento dinámico para rodales regulares de *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Invest Agr: Sist Rec For 8(2), 319-334.
- BARÁ S., TOVAL G., 1983. Calidad de estación del *Pinus pinaster* Ait. en Galicia. Comunicaciones INIA. Serie Recursos Naturales 24, Madrid.

- BAEUMLER R., ZECH W., 1999. Soil solution chemistry and impact of forest thinning in mountain forests in the Bavarian Alps. *For Ecol Manage* 108(3), 231-248.
- BARRON-GAFFORD G., WILL R.E., COLTER-BURKES E., SHIVER B., TESKEY R.O., 2003. Nutrient concentrations and contents, and their relation to stem growth, on intensively managed *Pinus taeda* and *Pinus elliottii* stands of different planting densities. *For Sci* 49(2), 291-300.
- BERMÚDEZ ALVITE J., TOUZA M., 2000. Las cifras del tercer inventario forestal en Galicia y su incidencia en la industria de transformación de la madera, CIS-Madera 4, 6-24.
- BRAÑAS J., GONZÁLEZ-RÍO F., MERINO A., 2000. Contenido de nutrientes en biomasa vegetal y suelos de plantaciones de *Eucalyptus globulus* en el norte de Galicia. *Invest Agr: Sist Rec For* 9, 317-335.
- CALVO DE ANTA R., 1992. El Eucalipto en Galicia. *Sus Relaciones con el Medio Natural*, Universidad de Santiago de Compostela, La Coruña.
- DAMBRINE E., VEGA J.A., TABOADA T., RODRÍGUEZ L., FERNÁNDEZ C., MACÍAS F., GRASS J.M., 2000. Bilans d'éléments minéraux dans de petits bassins versants forestiers de Galice (NW Espagne). *Ann For Sci* 57, 23-38.
- D.G.C.N., 2000. Tercer Inventario Forestal Nacional 1997-2006: Galicia, Ministerio de Medio Ambiente, Dirección General de Conservación de la Naturaleza, Madrid.
- ESPAÑOL E., ZAS R., VEGA G., 2000. Contenidos foliares en macro y micronutrientes en nueve especies de eucaliptos en el noroeste español. *Invest Agr: Sist Rec For* 9, 209-217.
- FERNÁNDEZ A., 1982. Evaluación de la Producción y Productividad del monte bajo de eucalipto. Publicaciones del Centro Forestal de Lourizán, Pontevedra.
- GANDULLO J.M., 1994. Climatología y ciencia del suelo, Fundación Conde del Valle de Salazar, E.T.S.I. Montes, Madrid, 404 pp.
- GANDULLO J.M., SÁNCHEZ PALOMARES O., 1994. Estaciones ecológicas de los pinares españoles. M.A.P.A., ICONA, Colección Técnica. Madrid, 188 pp.
- GROVE T.S., THDOMMSON B.D., MALAJCZUK N., 1996. Nutritional physiology of Eucalypts: uptake, distribution and utilization. In Attiwill, P.M., y Adams, M.A., *Nutrition of eucalypts*, CSIRO, Australia, pp. 77-108.
- HERBERT M.A., 1996. Fertilizers and eucalypts in South Africa. In Attiwill, P.M., y Adams, M.A., *Nutrition of eucalypts*, CSIRO, Australia.
- HOKKA H., PENTTILA T., HANELL B., 1996. Effect of thinning on the foliar nutrient status of Scots pine stands on drained boreal peatlands. *Can Jour For Res* 26(9), 1577-1584.
- JUDD T.S., 1996. Simulated nutrient losses due to timber harvesting in highly productive eucalypts forests and plantations. In Attiwill, P.M., y Adams, M.A., *Nutrition of eucalypts*, CSIRO, Australia.
- KNIGHT P.J., NICHOLAS I.D., 1996. Eucalypt nutrition: new Zealand experience. In Attiwill, P.M. y Adams, M.A., *Nutrition of eucalypts*, CSIRO, Australia, pp. 275-302.
- LACLAU P., 2003. Biomass and carbon sequestration of ponderosa pine plantations and native cypress forests in northwestern Patagonia. *For Ecol Manage* 180, 317-333.
- MADGWICK H.A.I., JACKSON D.S., KNIGHT P.J., 1977. Aboveground dry matter, energy, and nutrient contents of trees in an age series of *Pinus radiata* plantations. *N Z Jour For Sci* 7(3), 445-468.
- MADRIGAL A., ÁLVAREZ J.G., RODRÍGUEZ R., ROJO A., 1999. Tablas de producción para los montes españoles. Fundación Conde del Valle de Salazar, E.T.S.I. Montes, U.P.M.
- MERINO A., REY C., BRAÑAS J., RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., 2003. Biomasa arbórea y acumulación de nutrientes en plantaciones de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. *Invest Agr: Sist Rec For* 12(2), 85-98.
- OURO G., PÉREZ BATALLÓN P., MERINO A., 2001. Effect of silvicultural practices on nutrient status in a *Pinus radiata* plantation: Nutrient export by tree removal and nutrient dynamics in decomposing logging residues. *Ann For Sci* 58, 411-422.
- PEREIRA H., SARDIÑA R., 1984. Utilization of *Eucalyptus globulus* for energy and fiber. Biomass production and nutrient removal assessment. In Egneus, E. y Ellegard, A. *Bioenergy. Volume II. Biomass Resources* pp. 119-126.
- PEREIRA J.S., TOMÉ M., MADEIRA M., OLIVEIRA A.C., TOMÉ J., ALMEIDA M.H., 1996. Eucalypts plantations in Portugal. In Attiwill, P.M., y Adams, M.A., *Nutrition of eucalypts*, CSIRO, Australia, pp. 371-387.
- RAISON R.J., KHANNA P.K., CRANE W.J.B., 1982. Effects of intensified harvesting on rates of nitrogen and phosphorus removal from *Pinus radiata* and *Eucalyptus* forests in Australia and New Zealand. *N Z Jour For Sci* 12(2), 394-403.
- RANGER J., MARUES R., COLIN-BELGRAND M., FLAMMANG N., GELHAYE D., 1995. The dynamics of biomass and nutrient accumulation in a Douglas-fir (*Pseudotsuga menziesii* Franco) stand studied using a chronosequence approach. *For Ecol Manage* 72, 167-183.
- RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., 1995. Crecimiento y producción de masas forestales regulares de *Pinus pinaster* Ait. en Galicia: alternativas selvícolas posibles. Tesis Doctoral, E.T.S.I. Montes, U.P.M.
- RODRÍGUEZ SOALLEIRO R., SÁNCHEZ F., GORGOSO J., CASTEDO F., LÓPEZ C., GADOW K., 2002. Evaluating standard treatment options for *Pinus radiata* plantations in Galicia (northwestern Spain). *Forestry* 75(3), 273-284
- SÁNCHEZ RODRÍGUEZ F., 2001. Estudio de la calidad de estación, crecimiento, producción y silvicultura de *Pinus radiata* D. Don en Galicia. Tesis Doctoral, E.P.S., U.S.C.
- SÁNCHEZ-RODRÍGUEZ F., LÓPEZ C., RODRÍGUEZ-SOALLEIRO R., ESPAÑOL E., MERINO A., 2002. Influence of edaphic factors on the productivity of *Pinus radiata* D. Don plantations in NW Spain. *For Ecol Manage* 181, 171-189.
- SAS INSTITUTE, 1999. SAS STAT User's guide, Version 8, 4th edition, SAS Institute Inc. Cary, North Carolina.
- SCHRÖDER J., ÁLVAREZ J.G., 2001. Developing a generalized diameter-height model for maritime pine in North-western Spain. *Forstwissenschaftliches Centralblatt* 120, 18-23.

- THIBODEAU L., RAYMOND P., CAMIRE C., MUNSON A.D., 2000. Impact of precommercial thinning in balsam fir stands on soil nitrogen dynamics, microbial biomass, decomposition, and foliar nutrition. *Can Jour For Res* 30(2), 229-238.
- TURNER J., LAMBERT M.J., 1996. Nutrient cycling and forest management. In Attiwill, P.M., y Adams, M.A., *Nutrition of eucalypts*, CSIRO, Australia, pp. 229-248.
- WEBBER B., MADGWICK H.A.I., 1983. Biomass and nutrient content of a 29-year-old *Pinus radiata* stand. *NZ Jour For Sci* 13(2), 222-228.
- ZÁS R, SERRADA, R, 2003. Foliar nutrient status and nutritional relationships of young *Pinus radiata* D. Don plantations in northwest Spain. *For Ecol Manage* 174, 167-176.
- ZELLNER, 1962. An efficient method for estimating seemingly unrelated regressions and test for aggregate bias. *J Am Stat Assoc* 57, 348-368.

Anexo. Tablas de valores

Tabla 3. Cantidad de nutrientes acumulados en biomasa y extraídos en eucalipto

Calidad	Espaciamiento inicial	Tipo de extracción	Turno	Acumulado en biomasa				Extraído en corta final					
				P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg		
Calidad II	2,5 × 2,5	MC	13	26,0	226,2	308,5	98,84	19,5	166,5	216,1	72,1		
		MC	16	33,9	292,0	388,5	124,9	26,4	223,5	283,2	94,1		
		M	13	26,0	226,2	308,5	98,84	16,3	126,9	108,7	32,6		
		M	16	33,9	292,0	388,5	124,9	22,4	173,9	149,0	44,7		
		MCRg	13	26,0	226,2	308,5	98,8	21,9	189,3	245,0	82,3		
		MCRg	16	33,9	292,0	388,5	124,9	29,2	250,9	318,0	106,4		
	3 × 3	MC	13	27,1	235,9	323,0	102,9	19,6	166,6	215,3	71,8		
		MC	16	35,5	305,5	408,2	130,6	26,6	225,2	284,5	94,4		
		M	13	27,1	235,9	323,0	102,9	16,4	127,4	109,2	32,7		
		M	16	35,5	305,5	408,2	130,6	22,6	175,8	150,7	45,2		
		MCRg	13	27,1	235,9	323,0	102,9	22,3	192,9	248,7	83,6		
		MCRg	16	35,5	305,5	408,2	130,6	29,9	257,1	325,0	108,7		
		Calidad IV	2,5 × 2,5	MC	13	13,4	120,3	175,1	55,3	9,02	78,3	108,5	36,6
				MC	16	17,0	151,0	214,6	68,2	11,98	103,3	139,6	46,9
M	13			13,4	120,3	175,1	55,3	7,19	55,9	47,94	14,4		
M	16			17,0	151,0	214,6	68,2	9,72	75,6	64,82	19,4		
MCRg	13			13,4	120,3	175,1	55,3	10,48	92,4	126,4	42,9		
MCRg	16			17,0	151,0	214,6	68,2	13,72	120,1	161	54,5		
3 × 3	MC		13	13,6	122,5	179,1	56,0	8,59	74,5	102,7	34,6		
	MC		16	19,4	171,5	244,5	76,9	12,65	108,7	145,3	48,8		
	M		13	13,6	122,5	179,1	56,0	6,88	53,5	45,86	13,7		
	M		16	19,4	171,5	244,5	76,9	10,35	80,5	69,01	20,7		
		MCRg	13	13,6	122,5	179,1	56,0	10,22	90,3	122,7	41,7		
		MCRg	16	19,4	171,5	244,5	76,9	14,92	130,6	173,2	58,6		

Cantidades de nutrientes en kg/ha, según el tipo de extracción: M (sólo madera), MC (madera y corteza) y MCRg (madera, corteza y ramas gruesas).

Tabla 4. Nutrientes acumulados en la biomasa al final del turno en pino pinaster

Calidad	Densidad	Edad	P	K	Ca	Mg
17	Alta	30	22,5	207,0	179,5	82,9
		40	30,9	290,5	251,3	116,7
	Baja	30	18,0	166,1	144,7	66,8
		40	23,8	222,0	193,1	89,4
13	Alta	30	16,9	150,0	128,7	58,9
		40	22,9	207,8	178,9	82,4
	Baja	30	13,9	122,6	107,5	48,8
		40	19,4	173,9	152,4	69,7

Cantidades de nutrientes en kg/ha, según el tipo de extracción: M (sólo madera), MC (madera y corteza) y MCRg (madera, corteza y ramas gruesas).

Tabla 5. Cantidades de nutrientes extraídos y reciclados en pino pinaster a lo largo del turno

Calidad	Tipo de selvicultura	Tipo de extracción	Turno	Extraído en claras				Reciclado en claras				Extraído en corta final			
				P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg
Calidad 17	Alta	MC	30	1,9	19,4	16,2	7,7	1,8	12,8	10,2	4,4	12,2	132,4	107,2	51,5
			40	1,9	19,4	16,2	7,7	1,8	12,8	10,2	4,4	17,9	194,9	156,5	75,3
		M	30	1,3	14,9	11,3	5,5	2,4	17,3	15,1	6,5	9,6	111,8	84,6	41,5
			40	1,3	14,9	11,3	5,5	2,4	17,3	15,1	6,5	14,4	168,3	127,4	62,5
		MCRg	30	1,9	19,5	16,3	7,8	1,8	12,7	10,1	4,3	14,7	153,0	140,0	64,5
			40	1,9	19,5	16,3	7,8	1,8	12,7	10,1	4,3	21,5	225,5	205,3	94,8
	Baja	MC	30	3,5	36,5	30,4	14,5	4,1	29,0	25,7	10,9	9,8	106,5	86,0	41,3
			40	3,5	36,5	30,4	14,5	4,1	29,0	25,7	10,9	13,4	146,1	117,4	56,5
		M	30	2,4	28,3	21,4	10,5	5,1	37,3	34,7	14,9	7,7	90,5	68,5	33,6
			40	2,4	28,3	21,4	10,5	5,1	37,3	34,7	14,9	10,8	125,7	95,2	46,7
		MCRg	30	3,8	39,2	34,7	16,2	3,8	26,4	21,4	9,2	11,9	124,2	114,3	52,6
			40	3,8	39,2	34,7	16,2	3,8	26,4	21,4	9,2	16,3	170,6	156,5	72,1
Calidad 13	Alta	MC	30	1,1	10,9	9,2	4,4	1,2	8,2	6,3	2,7	8,4	89,0	73,3	35,0
			40	1,1	10,9	9,2	4,4	1,2	8,2	6,3	2,7	12,1	129,4	105,6	50,6
		M	30	0,7	8,1	6,13	3,0	1,5	11,0	9,4	4,0	6,1	71,5	54,1	26,6
			40	0,7	8,1	6,13	3,0	1,5	11,0	9,4	4,0	9,2	106,9	80,9	39,7
		MCRg	30	1,1	10,9	9,2	4,4	1,2	8,2	6,3	2,7	9,6	98,9	89,1	41,3
			40	1,1	10,9	9,2	4,4	1,2	8,2	6,3	2,7	14,1	146,5	132,8	61,4
	Baja	MC	30	2,2	22,4	19,0	9,0	3,0	21,5	18,9	7,9	6,5	68,9	56,9	27,1
			40	2,2	22,4	19,0	9,0	3,0	21,5	18,9	7,9	9,6	103,0	84,2	40,3
		M	30	1,4	16,6	12,6	6,2	3,8	27,3	25,3	10,7	4,7	55,0	41,6	20,4
			40	1,4	16,6	12,6	6,2	3,8	27,3	25,3	10,7	7,2	84,5	63,9	31,4
		MCRg	30	2,3	23,5	20,7	9,7	2,9	20,4	17,2	7,2	7,8	79,5	73,8	33,9
			40	2,3	23,5	20,7	9,7	2,9	20,4	17,2	7,2	11,7	120,2	111,6	51,2

Cantidades de nutrientes en kg/ha, según el tipo de extracción: M (sólo madera), MC (madera y corteza) y MCRg (madera, corteza y ramas gruesas).

Tabla 6. Nutrientes acumulados en la biomasa al final del turno en pino radiata

Calidad	Densidad	Edad	P	K	Ca	Mg
21	Alta	30	72,1	332,7	133,5	94,1
		40	77,8	358,1	145,0	103,2
	Baja	30	45,5	215	86,5	60,2
		40	42,8	202,7	82,2	57,5
17	Alta	30	56,2	270,1	107,3	73,1
		40	61,5	294,2	118,2	81,4
	Baja	30	39,1	191,5	76,3	51,5
		40	38,3	187,2	75,3	51,2

Cantidades de nutrientes en kg/ha, según el tipo de extracción: M (sólo madera), MC (madera y corteza) y MCRg (madera, corteza y ramas gruesas).

Tabla 7. Cantidades de nutrientes extraídos y reciclados en pino radiata a lo largo del turno

Calidad	Tipo de selvicultura	Tipo de extracción	Turno	Extraído en claras				Reciclado en claras				Extraído en corta final				
				P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	P	K	Ca	Mg	
Calidad 21	Alta	MC	30	19,0	69,1	30,2	25,6	9,0	60,6	20,6	9,5	53,0	203,9	89,6	73,2	
			40	27,3	99,2	43,4	36,9	11,7	78,7	26,8	12,4	59,0	230,5	101,5	82,0	
		M	30	17,3	54,5	23,5	22,1	10,7	75,1	27,3	13,0	46,2	146,0	62,8	59,1	
			40	24,9	78,7	33,9	31,9	14,1	99,3	36,3	17,4	50,7	160,3	69,0	64,9	
		MCRg	30	20,9	83,2	35,3	29,0	7,0	46,4	15,5	6,2	57,3	235,2	100,9	80,6	
			40	29,9	118,0	50,1	41,3	9,1	59,9	20,0	8,0	63,8	265,0	113,9	90,1	
		Baja	MC	30	22,5	87,3	38,4	31,2	10,5	70,7	24,0	11,2	33,4	132,9	58,6	46,7
				40	29,4	114,1	50,2	40,8	12,8	86,1	29,2	13,8	32,2	130,1	57,5	45,3
	M		30	19,5	61,6	26,5	25,0	13,5	96,4	35,9	17,5	28,2	89,2	38,4	36,1	
			40	25,5	80,5	34,6	32,6	16,7	119,7	44,8	22,0	26,8	84,8	36,5	34,3	
	MCRg		30	24,7	102,7	43,9	34,8	8,3	55,3	18,5	7,6	36,1	152,8	65,8	51,4	
			40	32,1	133,6	57,2	45,4	10,1	66,6	22,3	9,2	34,9	149,5	64,4	49,9	
	Calidad 17	Alta	MC	30	13,7	51,2	22,4	18,7	8,0	54,1	18,4	8,5	39,1	154,8	68,3	54,7
				40	20,0	74,4	32,6	27,3	10,5	70,5	23,9	11,0	44,4	179,0	79,0	62,5
M			30	12,3	38,8	16,7	15,7	9,5	66,5	24,1	11,5	33,3	105,2	45,3	42,6	
			40	17,9	56,7	24,4	23,0	12,5	88,2	32,1	15,3	37,2	117,5	50,6	47,6	
MCRg			30	15,4	63,0	26,7	21,5	6,4	42,3	14,1	5,7	42,5	179,1	77,0	60,4	
			40	22,2	89,9	38,2	30,9	8,3	54,9	18,4	7,4	48,1	205,8	88,7	68,9	
Baja			MC	30	16,0	63,7	28,1	22,4	9,1	61,2	20,7	9,7	27,2	110,9	49,0	38,4
				40	21,5	85,4	37,7	30,1	11,2	75,8	25,7	12,0	27,4	113,8	50,4	39,1
		M	30	13,6	43,0	18,5	17,4	11,5	82,0	30,3	14,7	22,5	71,0	30,5	28,7	
			40	18,2	57,6	24,8	23,3	14,5	103,5	38,5	18,8	22,3	70,6	30,4	28,6	
		MCRg	30	17,7	75,8	32,4	25,3	7,4	49,2	16,4	6,8	29,5	127,6	55,0	42,4	
			40	23,6	100,8	43,2	33,7	9,1	60,4	20,1	8,4	29,8	130,6	56,4	43,1	

Cantidades de nutrientes en kg/ha, según el tipo de extracción: M (sólo madera), MC (madera y corteza) y MCRg (madera, corteza y ramas gruesas).