



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-146

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Distribución de nutrientes y carbono en las diferentes fracciones arbóreas de masas jóvenes de pino marítimo en el Noroeste de España para diferentes intensidades de poda

HEVIA, A.<sup>1,2</sup>, MARTÍNEZ-ALONSO, C.<sup>1</sup>, ÁLVAREZ-GONZÁLEZ, J.G.<sup>2</sup>, PRADA, M.<sup>1</sup>, GONZÁLEZ-GARCÍA, M.<sup>1</sup>, MAJADA, J.<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Desarrollo Forestal Sostenible, Centro Tecnológico Forestal y de la Madera (CETEMAS)

<sup>2</sup> Unidad de Gestión Forestal Sostenible (UXFS), Universidad de Santiago de Compostela

### Resumen

En el presente estudio se ha llevado a cabo la cuantificación del carbono y nutrientes existentes en una red de ensayos permanentes de pino marítimo (*Pinus pinaster* Aiton) en el noroeste de España. Para ello, fueron realizados diversos inventarios dendrométricos y un muestreo destructivo de biomasa en un total de 28 árboles. Los datos de campo fueron empleados para las distintas intensidades de poda realizadas (15%, 30% y 45% de altura total del árbol) así como intervenciones simuladas cada 10% de longitud de copa. La cantidad de carbono y nutrientes extraídos en las distintas partes del árbol fueron estimados para las diferentes intensidades de poda, considerando una distribución homogénea de la biomasa de copa. Este trabajo demuestra la importancia de cuantificar los nutrientes y el almacenamiento de carbono para la mejor gestión de la biomasa residual de poda y favorecer la sostenibilidad del ecosistema forestal.

### Palabras clave

Selvicultura, biomasa, sostenibilidad, modelización forestal.

### 1. Introducción

*Pinus pinaster* Aiton es una de las especies de coníferas de mayor importancia en el norte peninsular. Las intervenciones selvícolas de sus masas implican indirectamente la gestión de la biomasa forestal, lo que a su vez supone una modificación de los diferentes factores asociados a dicha biomasa. Para el caso particular de esta especie en el noroeste peninsular, dos de los factores asociados de mayor interés, son: (1) el balance nutricional, por tratarse de suelos mayormente pobres en ciertos nutrientes esenciales; y (2) la fijación de carbono, dado el protagonismo que su cuantificación ha adquirido en los últimos años por su contribución a la mitigación del cambio climático.

Asimismo, el interés de esta especie para producir madera de calidad ha sido creciente y con ello la selvicultura intensiva, en donde la poda juega un papel fundamental al permitir obtener madera libre de nudos con mayor valor añadido en el producto final. En general, la biomasa generada en las actividades de poda (fracciones de la copa) se mantiene en el monte y resulta desconocida la cantidad de restos generados en esta intervención, así como sus propiedades (contenido nutricional y de carbono), cómo afecta a los modelos de combustible o su uso potencial (por ejemplo, energético), y lo que la gestión de dicha biomasa residual supone para el sistema forestal. Por ello, la cuantificación y caracterización de la biomasa y de sus factores asociados ayudaría a una mejor planificación de las tareas selvícolas, para una gestión forestal sostenible.

### 2. Objetivos

Se plantea como objetivo general de este trabajo cuantificar la biomasa y el contenido nutricional y de carbono de las diferentes fracciones arbóreas, para diferentes intensidades de poda, en masas jóvenes regulares de *Pinus pinaster* Ait. en el noroeste peninsular. Para ello, se han considerado dos escenarios de poda: (1) uno experimental con tres intensidades de altura variable efectuadas en campo y (2) otro con intensidades simuladas cada 10% de longitud de copa (0-60%).

### 3. Metodología

#### 3.1. Área de estudio y red de parcelas permanentes

Este trabajo ha sido realizado en la región de Asturias (noroeste peninsular) caracterizada por un clima Atlántico, con temperaturas templadas (media anual de 12-14 °C) y abundante precipitación a lo largo del año (930-1475 mm). La altitud media de las parcelas evaluadas varía entre 101 y 296 m sobre el nivel del mar con una pendiente media de 15 % a 31 %. Los suelos son ácidos (pH: 3.8-4.3) con una textura franco arcillo arenosa y un contenido medio de materia orgánica entre 6-15 %.

En el invierno 2005-2006 se llevó a cabo la instalación de 4 sitios de ensayo (aprox. de 1 ha) en masas jóvenes de *P. pinaster* (para su óptima gestión selvícola) representativas de la especie en su área de distribución. La gestión selvícola de estas parcelas fue diseñada para la obtención de madera de calidad. Así, se planteó un diseño experimental en dos fases, considerando la realización de podas combinadas con claras. El presente estudio se centra en la primera fase experimental, que incluyó sólo la realización de podas de altura variable en todos los árboles, diferenciando tres tratamientos: control (sin eliminación de copa viva, 15% de altura del árbol), poda débil (30% de altura del árbol) y poda fuerte (45% de altura del árbol).

#### 3.2. Inventarios dendrométricos

Se llevaron a cabo un total de tres inventarios en los inviernos de 2005-2006 (inmediatamente después de la intervención de poda), 2008-2009 (3 años después de la poda) y 2009-2010 (4 años después). En ellos, se tomaron datos dendrométricos en todos los árboles: diámetro normal ( $d$ ), altura total ( $h$ ), altura de la base de la copa ( $h_{base}$ ) y altura de la base de la copa viva ( $h_{base_v}$ ). Con estas variables, se estimaron la longitud de copa ( $L_{copa}$ ) y el ratio de copa ( $R_{copa}$ , estimado como  $L_{copa}/h$ ). Finalmente se calcularon las principales variables de masa para caracterizar la masa.

#### 3.3. Biomasa aérea del estrato arbóreo

Para la estimación de la biomasa aérea y su distribución vertical, se utilizaron datos procedentes del muestreo destructivo de 28 árboles. Este muestreo fue realizado en el invierno de 2008 en 3 parcelas temporales (sin gestión selvícola) cercanas a las parcelas permanentes donde se seleccionaron árboles representativos de las mismas. Los árboles seleccionados fueron medidos antes y después de su apeo ( $d$ ,  $h$ ,  $h_{base}$  y  $h_{base_v}$ ). El muestreo destructivo utilizado (Figura 1) fue más detallado que los trabajos clásicos de estimación de biomasa forestal dada la necesidad de caracterizar la distribución vertical de la biomasa de copa y su relación con la intensidad de poda realizada (biomasa hasta una altura determinada).

Se definió una submuestra de la copa, conformada por la primera rama viva y la primera rama muerta de cada troza, que fueron fraccionadas y pesadas en campo, diferenciando acículas ( $W_{ac}$ ), ramillas ( $W_{rm}$ , separando fracciones con diámetros 0-0,3 cm y 0,3-0,6 cm), ramas finas ( $W_{rf}$ , diámetros 0,6-2 cm) y ramas gruesas ( $W_{rg}$ , incluyendo fracciones con diámetros 2-7 cm). Al tratarse de una muestra de árboles jóvenes, no fueron encontradas ramas gruesas mayores de 7 cm. Por otra parte, se diferenció una submuestra del fuste conformada por 5 discos transversales cortados a diferentes alturas del árbol (tocón, diámetro normal, comienzo de la copa, copa máxima y en un punto aleatorio de la parte superior de la copa, situado entre la copa máxima y el ápice). Todas estas fracciones fueron procesadas, pesadas y secadas en estufa a 65 °C hasta peso constante (Tabla 1).

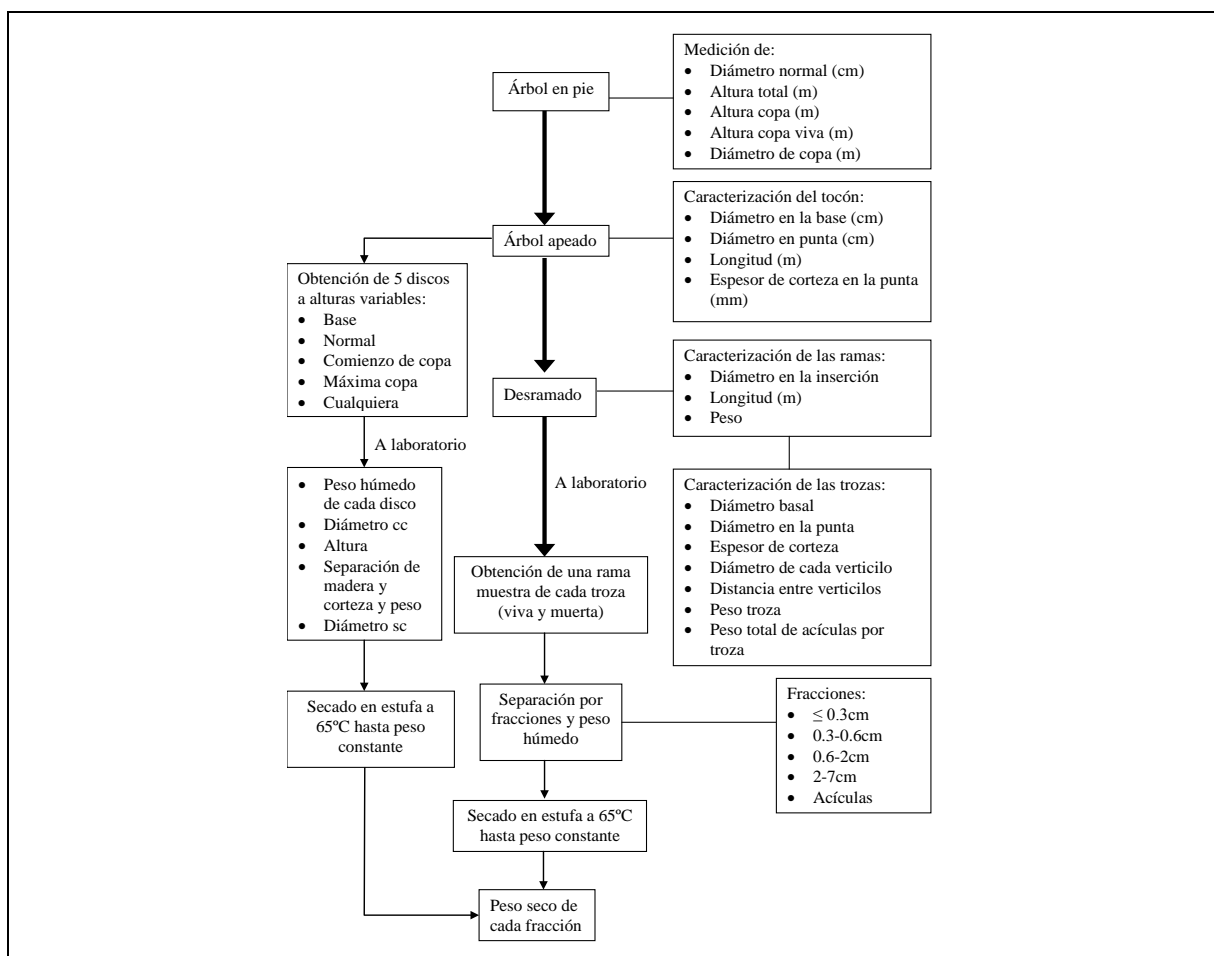


Figura 1. Procedimiento general empleado en el muestreo de biomasa por alturas y toma de datos.

Tabla 1. Estadísticos descriptivos de los árboles de *Pinus pinaster* empleados para la estimación de la biomasa aérea.

Estadístico	$d$	$h$	$R_{\text{copa}}$	$W_m$	$W_c$	$W_{rg}$	$W_{rf}$	$W_{rm}$	$W_{ac}$	$W_{rc}$	$W_{fc}$
Media	9,18	7,57	0,81	12,09	2,95	0,46	1,82	0,70	3,19	2,28	3,89
Mínimo	4,15	3,06	0,46	1,05	0,39	0,00	0,38	0,10	0,41	0,38	0,62
Máximo	15,20	11,53	0,96	37,13	8,00	5,23	4,75	1,83	13,25	9,98	13,67
Desv. Std.	3,00	2,51	0,11	9,24	1,92	1,05	1,02	0,49	2,66	1,93	2,86

donde  $d$  es el diámetro normal (cm),  $h$  es la altura total (m),  $R_{\text{copa}}$  es el ratio de copa ( $L_{\text{copa}}/h$ ),  $W_i$  es el peso seco total de cada componente arbóreo o agrupación de fracciones consideradas (kg):  $W_m$  (madera),  $W_c$  (corteza),  $W_{ac}$  (acículas),  $W_{rm}$  (ramillas),  $W_{rf}$  (ramas finas),  $W_{rg}$  (ramas gruesas),  $W_{rc}$  (finos de la copa,  $W_{ac} + W_{rm}$ ) y  $W_{fc}$  (ramas,  $W_{rf} + W_{rg}$ ).

### 3.4. Ecuaciones de biomasa

La biomasa total de cada componente arbóreo y la distribución vertical de la biomasa de copa fueron modelizados para el árbol completo (ecuaciones clásicas de biomasa, válidas para intervenciones de clara o corta final) y árbol por alturas (enfoque necesario para la biomasa de poda). Diversos modelos fueron testados en un paso previo (HEVIA, 2013), siendo finalmente seleccionadas ecuaciones de tipo alométrico para el árbol completo y la función de distribución de Weibull de dos parámetros para

el árbol por alturas. Asimismo, las fracciones de copa fueron agrupadas en: finos ( $W_{fc}$ : ramillas (<0,6 cm) y acículas) y ramas ( $W_{rc}$ : ramas finas (0,6-2 cm) y ramas gruesas (2-7 cm)). El problema de la heterocedasticidad fue solucionado mediante la ponderación de las ecuaciones, realizando un ajuste simultáneo de las ecuaciones para asegurar la aditividad del sistema. El ajuste de las funciones fue efectuado mediante el procedimiento MODEL del paquete estadístico SAS/ETS® (SAS Institute Inc., 2004). Para la evaluación de los modelos, se utilizaron los estadísticos raíz del error medio cuadrático (REMC) y coeficiente de determinación ajustado ( $R^2_{ajust}$ ). Los modelos ajustados junto con los datos dendrométricos obtenidos en los inventarios de la red de ensayos permanentes, fueron utilizados para determinar la biomasa forestal a nivel de masa.

### 3.5. Contenido nutricional y de carbono

Una submuestra de las distintas fracciones arbóreas de cada árbol fue secada en estufa a 65°C y triturada para su análisis nutricional. Los análisis incluyeron la determinación de los principales macronutrientes: nitrógeno (N), fósforo (P), potasio (K), calcio (Ca), magnesio (Mg) y carbono C de las diferentes fracciones: madera, corteza, ramas gruesas, ramas finas, ramillas y acículas a nivel individual y de masa, cuantificando también la biomasa bajo dos escenarios selvícolas: (1) la poda realizada en la red de parcelas permanentes (descrita anteriormente) y (2) podas simuladas cada 10% de  $L_{copa}$  (de 0% a 60% de la  $L_{copa}$  eliminada).

Se puede consultar información adicional de los sitios de estudio, diseño experimental de los tratamientos selvícolas, mediciones y muestreos en HEVIA (2013).

## 4. Resultados

### 4.1. Ecuaciones de biomasa

Las ecuaciones desarrolladas emplearon como variables independientes el diámetro normal, en todos los casos, y la altura total y el ratio de copa para las fracciones del fuste y de la copa, respectivamente. Como resultado, se obtuvieron seis ecuaciones de biomasa para las fracciones madera ( $W_m$ ), corteza ( $W_c$ ), finos de la copa ( $W_{fc}$ ) y ramas ( $W_{rc}$ ), y una séptima ecuación para la biomasa total aérea. Estas ecuaciones se muestran en la Tabla 2.

Tabla 2. Ecuaciones de biomasa de *Pinus pinaster* ajustadas.

Fracción	Porción del árbol	Modelo	REMC	$R^2_{ajust}$
Madera	Árbol completo	$W_m = 0,033169 \cdot d^{2,115141} \cdot h^{0,503245}$	1,7963	0,9638
Corteza	Árbol completo	$W_c = 0,025373 \cdot d^{1,429734} \cdot h^{0,731013}$	0,3953	0,9586
	Árbol completo	$W_{rc} = 0,00657 \cdot d^{2,770188} \cdot R_{copa}^{2,755435}$	0,8065	0,8398
Ramas de la copa	Hasta altura límite	$W_{hrc} = W_{rc} \cdot \left( 1 - \exp \left( - \left( \frac{h_i'}{0,535266} \right)^{2,560498} \right) \right)$	0,3453	0,9558
	Árbol completo	$W_{fc} = 0,023572 \cdot d^{2,35211} \cdot R_{copa}^{1,473648}$	1,6228	0,6889
Finos de la copa	Hasta altura límite	$W_{hfc} = W_{fc} \cdot \left( 1 - \exp \left( - \left( \frac{h_i'}{0,625903} \right)^{3,259311} \right) \right)$	0,5375	0,9468

donde  $d$  es el diámetro normal (cm),  $h$  es la altura total (m),  $h_i'$  es la altura relativa límite (m) utilizada en el cálculo de la biomasa hasta una altura límite para las fracciones de la copa. Su valor empieza a partir de la base de la copa ( $h_{base}$ ) y termina en la altura total del árbol ( $h$ ) y  $R_{copa}$  es el ratio de copa ( $L_{copa}/h$ ).  $W_i$  es la biomasa total del componente arbóreo  $i$ , en kg o agrupación de fracciones consideradas (kg):  $W_m$  (madera),  $W_c$  (corteza),  $W_{rc}$  (finos de la copa),  $W_{fc}$  (ramas),  $W_{hi}$  es la biomasa del árbol para una altura límite de la fracción  $i$  de la copa.

## 4.2. Distribución de la biomasa aérea por árbol completo y por alturas

La secuencia de acumulación de biomasa para el conjunto de fracciones del árbol completo muestreadas fue la siguiente: madera (53,7%) > acículas (16,1%) > corteza (14,3%) > ramas finas de 0,6-2 cm (10,1%) > ramillas de 0,3-0,6 cm (3,9%) > ramas gruesas de 2-7 cm (1,4%) > ramillas hasta 0,3 cm (0,3%). La distribución de la biomasa de copa por fracciones y alturas se muestra en la Figura 2. La parte (a) muestra la distribución vertical real (muestra de 28 árboles) obtenida al ajustar la función de densidad de Weibull a la biomasa de copa ( $W_{rm}$ ,  $W_{rf}$ ,  $W_{rg}$  y  $W_{ac}$ ). La mayor cantidad de biomasa de las ramas estuvo localizada en la parte media e inferior de la copa (30-60% inferior de la  $L_{copa}$ ), mientras que la mayor cantidad de biomasa foliar estuvo distribuida de la mitad de la copa al tercio superior de la misma (50%-70% inferior de la  $L_{copa}$ ). Tal y como muestra la Figura 2b, la cantidad y distribución de ramas y acículas viene determinada por el diámetro del árbol.

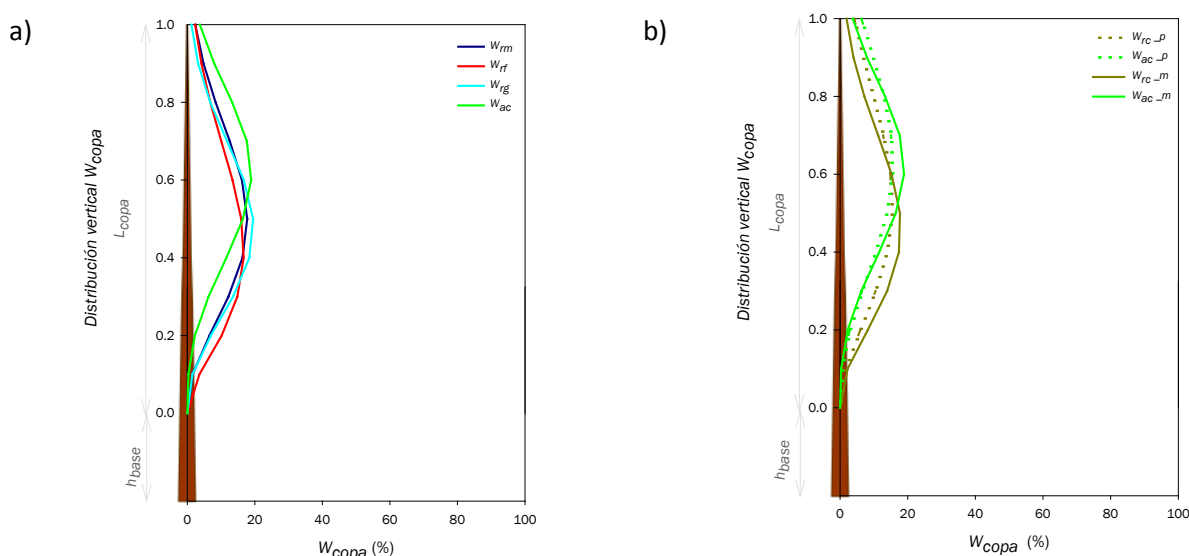


Figura 2. Distribución vertical de la biomasa de copa de la muestra de 28 árboles de *Pinus pinaster* estudiada, (a) para las fracciones de acículas ( $W_{ac}$ ), ramillas ( $W_{rm}$ ), ramas finas ( $W_{rf}$ ) y ramas gruesas ( $W_{rg}$ ), y para el conjunto de ramas de la copa ( $W_{rc}$ ) y acículas ( $W_{ac}$ ), (b) diferenciando los árboles según su tamaño ( $W_{rc}$  y  $W_{ac}$ ,  $p$ , pequeños,  $d < 10$  cm) y medianos ( $W_{rc}$  y  $W_{ac}$ ,  $m$ ,  $d \geq 10$  cm). La biomasa se encuentra distribuida en una altura relativa (0-1) que se extiende a lo largo de la longitud de copa ( $L_{copa}$ ), desde la altura de la base de la misma ( $h_{base}$ ) hasta el ápice del árbol ( $h$ ).

## 4.3. Extracción de biomasa, carbono y nutrientes en los tratamientos selvícolas

Para el primer escenario selvícola (poda realizada en la red de parcelas permanentes) los valores de biomasa aérea total estimados mostraron un valor medio de 19,90 t ha<sup>-1</sup> en el primer inventario antes de poda, que se redujo a 16,61 t ha<sup>-1</sup> después de poda. La estimación de biomasa residual para las podas efectuadas en estas parcelas (15%, 30% y 45% de altura total eliminada) no mostró una reducción elevada a nivel de masa (Tabla 4) dado el bajo peso de este tipo de fracciones. Sin embargo, el porcentaje de copa extraído resultó más significativo, con valores del 3%, 11% y 20% de la biomasa aérea total para las intensidades del 15%, 30% y 45% de altura eliminada respectivamente. En términos de elementos de la copa, estas podas alcanzaron valores de extracción del 5%, 23% y 46% de los finos de la copa, y del 10%, 39% y 68% de las ramas, para los tratamientos del 15%, 30% y 45%, respectivamente.

La Tabla 3 muestra la relación existente entre el carbono total fijado (C) en la biomasa y la biomasa aérea total (W) que fue del 57,3%, con una ligera variación para cada fracción arbórea (57,5% para fuste, 56,5% para corteza, 57,1% para ramas y 56,9% para finos). Los análisis

nutricionales mostraron que en los elementos de la copa existe una importante acumulación de nutrientes sobre todo en las acículas, especialmente para N, K y Mg.

Tabla 3. Nutrientes y carbono contenidos en las distintas fracciones del árbol.

Fracción	N	P	K	Ca	Mg	C
Madera	1,98	0,13	0,90	0,91	0,33	57,54
Corteza	3,63	0,44	2,59	3,10	0,69	56,52
Ramas gruesas	2,38	0,20	1,26	2,40	0,58	57,31
Ramas finas	3,09	0,32	1,64	3,82	0,69	56,96
Ramillas	3,79	0,50	2,42	3,66	0,86	56,68
Acículas	10,10	0,39	3,73	2,91	1,18	57,21

donde los valores de los nutrientes P, K, Ca y Mg están en ( $\text{g kg}^{-1}$ ) y del N y C en % respecto el peso seco.

En la Tabla 4 se muestra en términos de elementos extraídos de la copa por superficie los componentes evaluados para las distintas intensidades de poda realizadas en los ensayos.

Tabla 4. Biomasa, carbono y nutrientes extraídos para intensidades de poda realizadas en las parcelas permanentes.

Intensidad de poda	W	C	N	K	P	Mg	Ca
15%	0,04	0,02	0,12	0,06	0,01	0,03	0,13
30%	0,77	0,44	2,11	1,12	0,20	0,49	2,40
45 %	2,30	1,31	6,29	3,34	0,60	1,46	7,16

donde W es la biomasa de copa extraída ( $\text{t ha}^{-1}$ ), C es el carbono extraído ( $\text{t ha}^{-1}$ ) y los macronutrientes extraídos (N, k, P, Mg y Ca) ( $\text{kg ha}^{-1}$ ).

Finalmente en la Figura 3 se muestran las distintas estimaciones de biomasa extraída, carbono y nutrientes para el segundo escenario selvícola donde se simulan intensidades de poda cada 10% del 0% al 60% de la longitud de copa para poder estimar estos valores en podas más agresivas.

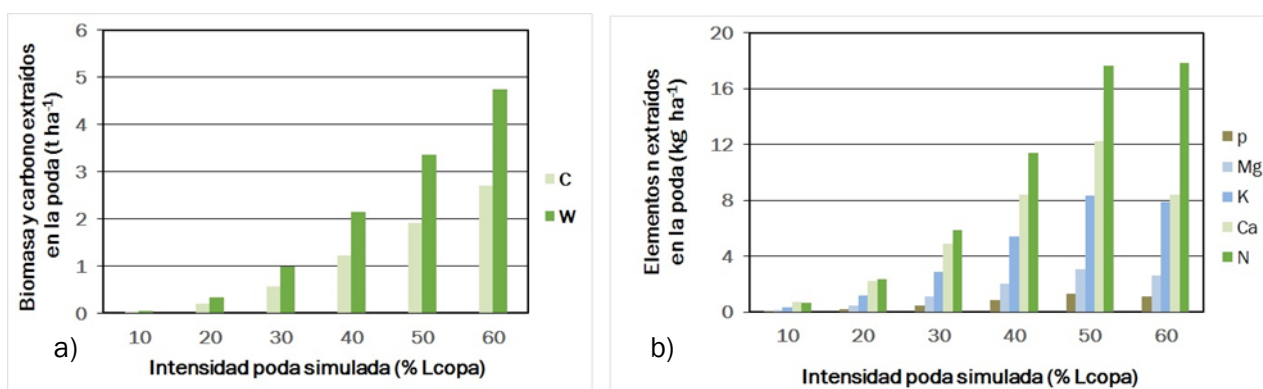


Figura 3. Biomasa, carbono y nutrientes (N, P, K Mg, Ca) extraídos en las fracciones de copa para distintas intensidades de poda simuladas (0-60% de la longitud de copa).

## 5. Discusión

### 5.1. Modelos de biomasa

El sistema de ecuaciones definido en el presente trabajo para la estimación de la biomasa de árboles jóvenes de *Pinus pinaster*, mediante ecuaciones alométricas mostró unos resultados de ajuste satisfactorios. El diámetro normal fue la mejor variable regresora para estimar la biomasa de las diferentes fracciones arbóreas consideradas. Al incluir la altura total del árbol mejoró la precisión de la ecuación de las fracciones de madera y corteza. En el caso de la estimación de los componentes



de copa (agrupados en ramas y finos) los mejores ajustes resultaron al considerar variables de copa junto con el diámetro normal, siendo el ratio de copa la variable seleccionada, que a su vez muestra una buena relación con la selvicultura aplicada. Este tipo de ecuaciones presentan la ventaja de poder estimar la biomasa existente en el árbol completo, o en una porción del mismo, siendo por ello una herramienta de gran utilidad para la estimación de la biomasa a extraer en actividades de poda.

## 5.2. Distribución de biomasa, nutrientes y carbono

La edad del arbolado determina la proporción de biomasa de cada fracción. Esto podría explicar la mayor proporción de biomasa de copa encontrada en nuestro trabajo de masas jóvenes respecto a otros estudios en masas adultas para la misma especie (p.ej. el promedio de acículas del 16,1% en nuestro estudio en masas jóvenes frente al 5,0% en masas adultas en Galicia (BALBOA, 2005)). Asimismo, tal y como recogen PORTÉ et al (2002) para *Pinus pinaster* subesp. atlántica, resulta esperable observar un aumento en la proporción de madera (en torno a un 25%) y de ramas gruesas, con una disminución en las ramas finas a mayor edad del arbolado.

Tal y como se esperaba, por su buen comportamiento en trabajos anteriores (GILLESPIE et al, 1994) la función de densidad de Weibull logró caracterizar adecuadamente la distribución vertical real de las diferentes fracciones de la copa. La información aportada puede resultar de gran utilidad para valorar el impacto de la poda en función del porcentaje de copa afectado. Los resultados aquí presentados presentan herramientas que permiten modelizar el efecto de distintas intensidades de poda con árboles de distinto tamaño, cuantificando la biomasa extraída en cada operación.

El ligero desplazamiento de la distribución vertical de las acículas respecto al resto de fracciones de copa podría deberse, en parte, a la competencia entre árboles, dada la alta tasa de regenerado presente en la mayoría de las masas regulares jóvenes de esta especie en el área atlántica. A esto se suma la competencia del estrato superficial, cuya altura y densidad en los meses de verano supone una reducción considerable de la luz que penetra en el estrato inferior de la masa. Este planteamiento concuerda con lo observado por GILLESPIE et al (1994), quienes observaron en la parte inferior de la copa una menor proporción de acículas por la mayor sombra producida en esa zona de la copa, especialmente cuando se trata de masas que no han sido intervenidas selvícolamente, mostrando el fuerte efecto de la luz y la intercepción de la misma por parte de las acículas.

La biomasa foliar ha mostrado ser una de las fracciones de mayor interés en la dinámica de nutrientes del sistema forestal, siendo por ello utilizado su valor nutricional como indicativo del contenido de nutrientes de una masa (e.j. para *P. pinaster* con referencia a BONNEAU (1995)). La gran cantidad de nutrientes acumulados en los elementos finos de la copa, particularmente en las acículas, ha sido también observada en masas adultas de *Pinus pinaster* en el área atlántica (BALBOA, 2005) así como otros tipos de masas y ámbitos geográficos (e.j., LUGO et al, 1990; MERINO et al, 2003). De acuerdo con esto, la extracción de acículas del árbol en una intervención de poda podrá afectar al balance de nutrientes del sistema en función del uso final de los restos generados. Desde un punto de vista nutricional, la gran cantidad de nutrientes acumulados en los elementos finos de la copa hace recomendar esquemas de gestión que consideren el mantenimiento de dichas fracciones finas en el sistema forestal tras las intervenciones selvícolas (BALBOA, 2005). Asimismo, la extracción de la biomasa residual obtenida en las intervenciones selvícolas puede derivar en una reducción de la fertilidad del suelo que afecte a la productividad forestal, en mayor grado para la selvicultura más intensiva, siendo recomendable, en muchos casos, la inclusión de esquemas de fertilización dentro de la gestión de la masa (BALBOA, 2005).

La proporción existente entre el C y la biomasa forestal total en este trabajo (57,3%) resultó ligeramente superior a la observada por MONTERO et al (2005) en la Península para *P. pinaster*, quienes reportaron proporciones del 51% en masas adultas. Otros estudios han observado la



variación de este valor entre especies, dentro de una misma especie, e incluso según la fracción arbórea, con valores que varían entre el 47% y el 59% (e.j. MONTERO et al, 2005; BALBOA, 2005). De acuerdo con esto, es conveniente estimar su valor siempre que sea posible lo que permitirá una estimación más precisa de la reserva de C en un sistema forestal gestionado mediante podas. Por último, cabe destacar que a pesar de que el estrato arbóreo representa una parte importante del C acumulado en un sistema forestal, el C total existente en dicho sistema se va a encontrar almacenado también en la parte subterránea, conformada por las raíces y el suelo. De todos ellos, cabe resaltar el papel de este último (suelo) como fijador de C, por ser, tal y como apuntan MELILLO et al (1996), un punto clave de reciclaje y almacenaje de C, procedente de los procesos de desnitrificación y descomposición de la materia orgánica, con una gran capacidad para secuestrar C y acumularlo por miles de años. Una correcta evaluación del contenido de C de una masa forestal, debe incluir por tanto la biomasa existente en el estrato superficial (matorral, herbáceas y material arbóreo caído al suelo), la parte subterránea de los árboles y el suelo forestal, factores que en su conjunto van a jugar un papel fundamental en la reserva de C y el balance de nutrientes del sistema. En cualquier caso, y tal y como recogen MOSQUERA-LOSADA et al (2011), el secuestro de C de un sistema forestal dependerá de diversos factores como la especie, la edad, la densidad de plantación, las condiciones edafo-climáticas, la gestión forestal y la fertilización, complicando aún más la evaluación del C.

## 6. Conclusiones

El sistema de ecuaciones definido en el presente trabajo para la estimación de la biomasa de árboles jóvenes de *Pinus pinaster* para el árbol completo y hasta una altura límite para la copa mostró buenos resultados y aporta una herramienta muy útil para la estimación de la biomasa extraída en una actividad de poda. La información aportada resulta útil para valorar el impacto de una intervención selvícola en función del porcentaje de copa afectado y tamaño diametral del árbol.

Las fracciones de la copa acumulan una cantidad importante de nutrientes, sobretodo en la biomasa foliar (especialmente de nitrógeno, potasio y magnesio), conformando a esta fracción un papel destacado en la dinámica de nutrientes y fijación de C del sistema.

El contenido de carbono en la biomasa de copa es ligeramente superior al valor genérico establecido por otros autores para la especie en España, lo que justifica considerar el efecto de la poda en el contenido de carbono en masas jóvenes de esta especie.

El impacto de la poda en el sistema forestal dependerá, en gran medida, de la gestión efectuada con los restos de los tratamientos.

## 7. Agradecimientos

Queremos expresar nuestro agradecimiento por su colaboración en las distintas etapas del desarrollo de este trabajo al Servicio Regional de Investigación y Desarrollo Agroalimentario (SERIDA), a la Consejería de Agroganadería y Recursos Autóctonos junto con la Dirección General de Política Forestal del Principado de Asturias y a la Unidad de Gestión Forestal Sostenible (UXFS) de la Universidad de Santiago de Compostela. Gracias al Ministerio de Educación y Ciencia por la financiación de A. Hevia mediante una beca predoctoral FPU.

## 8. Bibliografía

BALBOA, M.A.; 2005. Biomasa arbórea y estabilidad nutricional de los sistemas forestales de *Pinus pinaster* Ait., *Eucalyptus globulus* Labill. y *Quercus robur* L. en Galicia. Tesis doctoral. Universidad de Santiago de Compostela. 244.

BONNEAU, M; 1995. Fertilisation des forêts dans les Pays tempérrpes. ENGREF. Nancy

GILLESPIE, A.R.; ALLEN, H.L.; VOSE, J.M.; 1994. Amount and vertical distribution of foliage of young loblolly pine trees as affected by canopy position and silvicultural treatment. *Can J Forest Res* 24 1337-1344

HEVIA, A.; 2013. Influencia de la poda en el desarrollo de masas de *Pinus radiata* D. Don y *Pinus pinaster* Aiton en Asturias. Universidad de Santiago de Compostela. 419.

LUGO, A.E.; CUEVAS, E.; SÁNCHEZ, M.J.; 1990. Nutrients and mass litter and top soil of ten tropical tree plantations. *Plant Soil* 125 263-280

MELILLO, J.M.; HALL, D.O.; ÅGREN, G.I.; 1996. Executive summary. En: Breymer, A.; Hall, D.O.; MELILLO, J.M. ÅGREN, G.I. (eds.): *Global Change: Effects on Forests and Grasslands*. 1-16. John Wiley. New York

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. *Forest Syst* 12 85-98

MONTERO, G.; RUIZ-PEINADO, R.; MUÑOZ, M.; 2005. Producción de biomasa y fijación de CO<sub>2</sub> por los bosques españoles. Monografías INIA, Serie Forestal, 13. 220. Madrid

MOSQUERA-LOSADA, M.R.; FREESE, D.; RIGUEIRO-RODRÍGUEZ, A.; 2011. Carbon Sequestration in European Agroforestry Systems. En: KUMAR, B.M. NAIR, P.K.R. (eds.). *Carbon Sequestration Potential of Agroforestry Systems: Opportunities and Challenges, Advances in Agroforestry*, 8. 43-59. Springer Science+Business Media B.V.

PORTÉ, A.; TRICHET, P.; BERT, D. LOUSTAU, D.; 2002. Allometric relationships for branch and tree woody biomass of maritime pine (*Pinus pinaster* Ait.). *For Ecol Manage* 158 71-83

SAS Institute Inc; 2004. SAS/STAT®. 9.1. User's Guide. SAS Institute Inc. Cary