

Desfronde y Tasa de Descomposición foliar en rebollar-pinar de repoblación con distinto grado de clara

BRAVO-OVIEDO, A.^{1,2}, **DEL RIO, M.**^{1,2}, **MONTERO, G.**^{1,2}, **ONRUBIA FERNÁNDEZ, R.**¹, **RUBIO CUADRADO, A.**¹ y **RUIZ-PEINADO, R.**^{1,2}

¹ Departamento de Selvicultura y Gestión de Sistemas Forestales. INIA-CIFOR

² Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible UVa-INIA
Ctra. A Coruña km. 7,5. 28040 Madrid

Resumen

El desfronde representa un factor clave en el funcionamiento de los ecosistemas forestales. Por un lado representa el mayor aporte de nutrientes en sistemas naturales y, por otro, su acumulación en el suelo constituye un banco de elementos esenciales que, por descomposición y mineralización, se integran en el suelo y en los ciclos biogeoquímicos. Este trabajo analiza el efecto de la clara en la producción de desfronde, la eficiencia en el uso del nitrógeno y en la tasa de descomposición de la hojarasca en una masa mixta de *Pinus pinaster* Ait. procedente de repoblación sobre una masa natural de *Quercus pyrenaica* Wild. El sitio experimental está situado en los Montes de Toledo y consta de tres tratamientos: control, clara moderada y clara fuerte con tres réplicas en un diseño de cuadrado latino. Los datos de desfronde proceden de recogida mensual en cestos y separación en fracciones para el cálculo de la materia seca. El nitrógeno se analizó en muestras compuestas cada tres meses. Para el estudio de la tasa de descomposición se utilizaron bolsas con mezcla de acículas y hojas, recolectándose y analizándose también cada tres meses. Los resultados muestran picos de desfronde en los meses de verano y en el otoño. La mayor producción de desfronde se observa en las parcelas testigo. La aplicación de las claras no supone grandes diferencias ni en el desfronde ni en la eficiencia en el uso del nitrógeno. Por el contrario las claras ralentizan la tasa de descomposición de las hojas de rebollo.

Palabras clave

Eficiencia en el uso del nitrógeno, tratamientos selvícolas, ciclo de nutrientes.

1. Introducción

La gestión de los recursos forestales ha de satisfacer las demandas de la sociedad a la vez que buscar el mantenimiento de las funciones de los ecosistemas. Los ciclos biogeoquímicos son importantes para varias de las funciones que prestan los bosques, por ejemplo la presencia de mantillo influye sobre los procesos erosivos y un correcto aporte de desfronde permite reciclar los nutrientes extraídos por la vegetación y no utilizados en la producción de biomasa. Además, dichos ciclos sirven como indicadores de la vitalidad y viabilidad del sistema, en el que la eficiencia del uso de nutrientes puede ayudar a establecer recomendaciones de gestión.

Los estudios de desfronde y su correspondiente descomposición se han venido realizando, entre otros, en ecosistemas tropicales (VITOUSEK, 1984; DENT et al. 2006), subtropical (WANG et al. 2008), o en masas puras mediterráneas de *Q. pyrenaica* (SANTA-REGINA, 2000) siguiendo un gradiente de precipitación. En cuanto al efecto de las claras

sobre el desfronde y ciclos de nutrientes en España se ha estudiado fundamentalmente en masas puras de *P. pinaster* (ROIG et al. 2005) o en masas de *P. sylvestris* L. en zonas templadas y mediterráneas (BLANCO et al. 2008, 2009). Más recientemente se ha estudiado la dinámica de materia orgánica, incluida la descomposición de hojarasca en pinares y rebollares en Páramos ácidos (HERRERO et al. 2010).

La importancia de los ciclos biogeoquímicos y el efecto de las claras sobre los mismos, junto con la falta de información al respecto en masas mixtas de *P. pinaster* y *Q. pyrenaica* en la península ibérica nos llevaron a plantear los siguientes objetivos.

2. Objetivos

El objetivo del trabajo es analizar el efecto de las claras en la producción de desfronde, en la eficiencia del uso de nutrientes y en la tasa de descomposición foliar en un ecosistema forestal compuesto de *Pinus pinaster* procedente de repoblación sobre una masa natural de *Quercus pyrenaica* en clima Mediterráneo.

3. Metodología

El sitio de ensayo se encuentra en San Pablo de los Montes (Toledo) en un rodal de repoblación de pino negral o resinero (*Pinus pinaster* Ait.) de 35 años sobre una masa original de rebollo (*Quercus pyrenaica* Willd.). La preparación del terreno fue aterrazado.

En 2009 se instalaron nueve parcelas rectangulares de experimentación con el fin de determinar el efecto del aclarado del pinar sobre el crecimiento, producción y ciclo de nutrientes de ambas especies. Se ensayaron tres tratamientos: testigo o sin aclarar (tipo A), clara baja moderada (D) en la que el área basimétrica tras la clara es de un 75% del área basimétrica de las parcelas testigo y clara baja fuerte (E) en la que el área basimétrica tras la clara es de un 60% del área basimétrica de las parcelas testigo. El diseño del experimento es en cuadrado latino por encontrarse diferencias en la altura de los pinos entre parcelas en línea de nivel y en el sentido de la pendiente.

En la clara, realizada en diciembre de 2009, se eliminaron los pies claramente dominados, malformados o que presentaban defectos patentes, teniendo en cuenta también un criterio de homogeneización del espaciamiento, hasta alcanzar la densidad adecuada. En una faja de unos 10 metros alrededor de cada parcela se practicó una clara de la misma intensidad que la clara realizada en la parcela a la que rodean, para evitar el efecto borde sobre los pies.

Tras la clara en cada uno de las parcelas se instalaron en el verano de 2010 cuatro cestos de recogida de desfronde sobre las diagonales de la parcela, con una altura de 1.2 metros sobre el suelo y una superficie media de recogida por cesto de $0.365 \pm 0.013 \text{ m}^2$. La primera recogida de desfronde se realizó en agosto de 2010 y después mensualmente hasta noviembre de 2012. El desfronde se separó en las siguientes fracciones: acículas, hojas de rebollo, ramas, corteza, flores, piñas, bellotas y otros. Cada fracción fue secada a 65°C durante 48 horas y pesada. Cuando fue posible, se retiró una submuestra de no menos de 2 gramos en cada una de las fracciones para analizar el contenido en nutrientes, llevando el resto de la muestra a peso seco a 105°C. Debido a la cantidad de desfronde de las distintas fracciones, en este trabajo se analizará el desfronde total y el foliar de ambas especies, agrupándose el resto de fracciones en un grupo denominado miscelánea.

Los elementos biogeoquímicos analizados fueron carbono y nitrógeno total mediante LECO HCN 600. El análisis de estos elementos se realizó en las muestras retiradas para análisis agrupándolas por estaciones: invierno (diciembre, enero y febrero), primavera (marzo, abril, mayo), verano (junio, julio, agosto) y otoño (septiembre, octubre y noviembre).

La eficiencia del uso de nitrógeno (NUE-N) se calculó mediante la fórmula de VITOUSEK (1982, 1984) que se define como la cantidad de biomasa perdida en el desfronde por unidad de nutrientes perdidos en dicho desfronde, en otras palabras para el mismo contenido en nutrientes un mayor desfronde implica una mayor eficiencia en el uso del nutriente considerado:

$$NUE = \left(\text{desfronde} \left(\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1} \right) \right) / \left(\text{contenido de nutrientes en el desfronde} \left(\text{kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{año}^{-1} \right) \right)$$

En Febrero de 2011 se instalaron cuatro grupos de 8 bolsas de fibra de vidrio en cada parcela en las proximidades de los cestos de desfronde (4 bloques x 8 bolsas x 9 parcelas = 288 bolsas). En cada bolsa se introdujo unos 5 gramos de material foliar (5.11 ± 0.01 g) procedente de desfronde. La proporción de acículas y hojas de rebollo en cada bolsa fue similar a la recogida en el desfronde durante el año precedente en cada uno de los cestos. Cada tres meses, coincidiendo con el final de la estación, se recogieron cuatro bolsas por parcela, una en cada grupo.

La tasa de descomposición fue calculada mediante el modelo exponencial de OLSON (1963)

$$\ln \left(\frac{W_t}{W_0} \right) = -kt$$

donde W_0 es la cantidad de desfronde original, W_t es la cantidad de desfronde sin descomponer que permanece tras un cierto periodo t (en años) y k es la tasa de descomposición (años^{-1}). El punto de saturación medio de descomposición, o tiempo requerido para se degrade el 50% de la materia seca original se calculó mediante la expresión $t_{50\%} = 0.693/k$ (BOCKHEIM et al. 1991).

El promedio de desfronde por fracciones y total, la concentración media de carbono y nutrientes y la eficiencia en el uso de nitrógeno durante el primer año (un año después de la clara) y en dos años (dos años después de la clara) se analizó mediante un análisis unifactorial de la varianza, tomando el tratamiento como factor. El efecto del tratamiento y de la especie en la tasa de descomposición al final del experimento se analizó también mediante un análisis de la varianza.

El efecto del tratamiento sobre la cantidad de desfronde y la concentración de nutrientes a lo largo del tiempo, dividido en cuatro estaciones, se analizó mediante un análisis de varianza de mediadas repetidas (ANOVAR) utilizando el procedimiento GLM de SAS, una vez comprobado que el criterio de Mauchly para la esfericidad se cumple. De no cumplirse, se aplicará el factor de corrección de Hynh-Feldt, siempre que se aproximara a uno (POTVIN et al. 1990).

4. Resultados

Patrón y cantidad de desfronde

Existe un comportamiento intra-específico e inter-específico en el patrón de desfronde del bosque mixto pinar-rebollar objeto de estudio. En el otoño el pico de desfronde se debe a la caída de hojas de rebollo, mientras que los máximos de verano se deben a las acículas del pino. Los picos en primavera se deben al aporte de flores de pino. Para todos los tratamientos este patrón se repite observándose una mayor cantidad de desfronde en parcelas testigo frente a las aclaradas (figura 1). No obstante, durante cada año de estudio dichas diferencias no son significativas para el total del desfronde, ni para las fracciones consideradas (tabla 1, filas). La comparación de cada una de las fracciones entre años tampoco fue significativa (tabla 1, columnas)

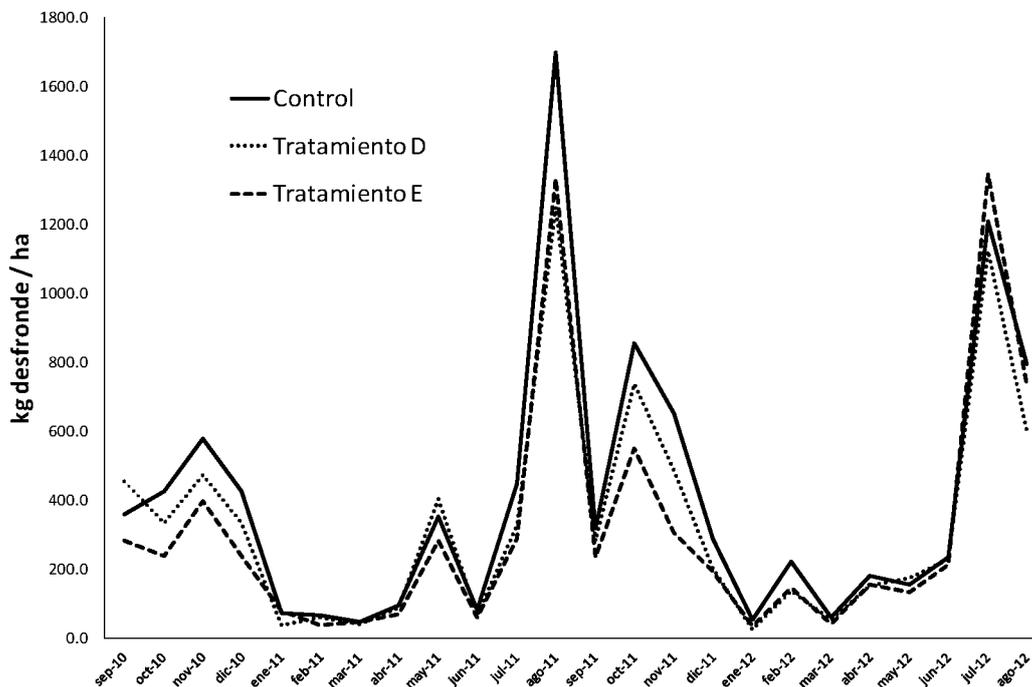


Figura 1. Patrón de desfronde por tratamiento en el sitio experimental de rebollar-pinar de repoblación en San Pablo de los Montes (Toledo).

Tabla 1. Test HSD de comparación de medias de cantidad de desfronde anual entre tratamientos (filas) y entre años y fracciones (columnas). Letras minúsculas iguales no indican diferencias entre tratamientos y las mayúsculas iguales no indican diferencias entre años.

Periodo	Desfronde	Tratamiento		
		A	D	E
otoño 2010-verano 2011	Total	4510.6 (1397.9) aA	3745.8 (700.3) aA	3345.3 (648.5) aA
	Acículas	2951.3 (1156.9) aA	2310.4 (389.9) aA	2317.7 (872.2) aA
	Hojas	649.1 (118.1) aA	494.44 (69.5) aA	489.6 (217.0) aA
	Miscelanea	910.2 (251.9) aA	940.89 (365.55) aA	538.0 (8.87) aA
otoño 2011 - verano 2012	Total	5163.6 (1043.5) aA	4209.7 (635.9) aA	4506.0 (1477.2) aA
	Acículas	3354.4 (709.2) aA	2726.2 (450.4) aA	2855.6 (1250.9) aA
	Hojas	854.2 (357.3) aA	670.4 (216.5) aA	538.6 (216.2) aA
	Miscelanea	955.1 (436.2) aA	813.1 (290.0) aA	1111.8 (504.2) aA

Concentración de nutrientes un año y dos años después de la clara

El análisis anual de la concentración de nutrientes en fracciones mostró que no existen grandes diferencias entre tratamientos salvo en el caso del nitrógeno total en las hojas de rebollo aumentando dicha concentración con la intensidad de la clara durante el primer año. En el segundo año dichas diferencias no se aprecian (tabla 2, filas). Entre años, el contenido de carbono tiende a aumentar, fundamentalmente en acículas y en el grupo de miscelánea y el contenido de nitrógeno en hojas de rebollo tiende a disminuir en el tratamiento de clara más fuerte (tabla 2, columnas).

Tabla 2. Test HSD de comparación de medias de concentración de carbono y nitrógeno total en el desfolde entre tratamientos y fracciones (filas) y entre años y fracciones (columnas). Letras minúsculas iguales no indican diferencias entre tratamientos y letras mayúsculas iguales no indican diferencias entre años.

Periodo	Fracción	Carbono Total			Nitrógeno Total		
		Tratamiento			Tratamiento		
		A	D	E	A	D	E
otoño 2010-verano 2011	Total	48.6 (5.3) aA	49.9 (3.9) aA	49.8 (3.8) aA	6.1 (2.3) aA	10.2 (12.9) aA	7.9 (4.3) aA
	Acículas	50.8 (4.0) aA	52.4 (3.1) aA	50.9 (3.8) aA	4.9 (1.7) aA	4.3 (0.9) aA	3.9 (1.4) aA
	Hojas	49.0 (5.7) aA	48.5 (3.9) aA	49.3 (3.6) aA	8.1 (2.7) aA	10.7 (2.7) abA	11.7 (3.2) bA
	Miscelanea	45.6 (5.7) aA	48.5 (3.7) aA	49.2 (4.8) aA	5.8 (1.4) aA	17.6 (23.9) aA	5.9 (0.6) aA
otoño 2011 - verano 2012	Total	51.8 (2.7) aB	51.7 (2.4) aB	52.4 (2.1) aB	7.6 (4.4) aA	7.1 (3.3) aA	6.1 (3.0) aA
	Acículas	53.8 (1.2) aB	52.2 (3.1) aA	53.3 (2.2) aA	4.9 (1.4) aA	5.0 (1.8) aA	5.2 (1.9) aA
	Hojas	49.8 (1.4) aA	50.6 (1.1) aA	51.3 (1.7) aA	10.9 (3.2) aA	10.8 (3.1) aA	7.9 (3.4) aB
	Miscelanea	51.5 (3.0) aB	51.9 (1.9) aB	52.2 (2.0) aA	7.7 (5.1) aA	6.9 (2.8) a	5.9 (3.2) aA

Eficiencia en el uso del Nitrógeno un año y dos años después de la clara

En general, no existen diferencias entre tratamientos, fracciones y años en la eficiencia del uso del nitrógeno salvo para el segundo año al considerar el total de las fracciones de forma conjunta observándose un aumento en la eficiencia del uso del nitrógeno con la intensidad de la clara (tabla 3) y entre el primer año y el segundo año para el tratamiento control.

Tabla 3. Test HSD de comparación de medias de la eficiencia en el uso del nitrógeno entre tratamientos y fracciones (filas) y entre años y fracciones (columnas). Letras minúsculas iguales no indican diferencias entre tratamientos y letras mayúsculas iguales no indican diferencias entre años.

Periodo		Tratamiento		
		A	D	E
otoño 2010-verano 2011	Total	585.9 (77.4) aA	364.9 (170.8) aA	506.8 (180.2) aA
	Acículas	972.1 (283.6) aA	868.8 (154.8) aA	975.7 (58.7) aA
	Hojas	375.5 (63.3) aA	558.3 (51.9) aA	775.1 (37.3) aA
	Miscelanea	840.9 (213.2) aA	346.0 (313.8) aA	301.8 (139.7) aA
otoño 2011 - verano 2012	Total	376.7 (52.5) aB	427.1 (20.4) abA	486.4 (29.5) bA
	Acículas	723.7 (67.1) aA	780.8 (3.14) aA	729.9 (152.1) aA
	Hojas	336.6 (24.3) aA	392.2 (103.9) aA	537.8 (256.9) aA
	Miscelanea	407.3 (101.8) aB	486.9 (30.7) aA	589.2 (117.7) aA

Desfronde y concentración de nutrientes

El análisis de varianza de medidas repetidas del desfronde no mostró diferencias entre tratamientos aunque el efecto tiempo influye de manera significativa en la cantidad de desfronde dentro de las unidades muestrales (*within subject*).

Descomposición

No existen diferencias en la descomposición de acículas ni hojas durante los 21 meses de estudio aunque se observa cierta tendencia a una mayor descomposición en las parcelas poco, o nada aclaradas (Figura 2).

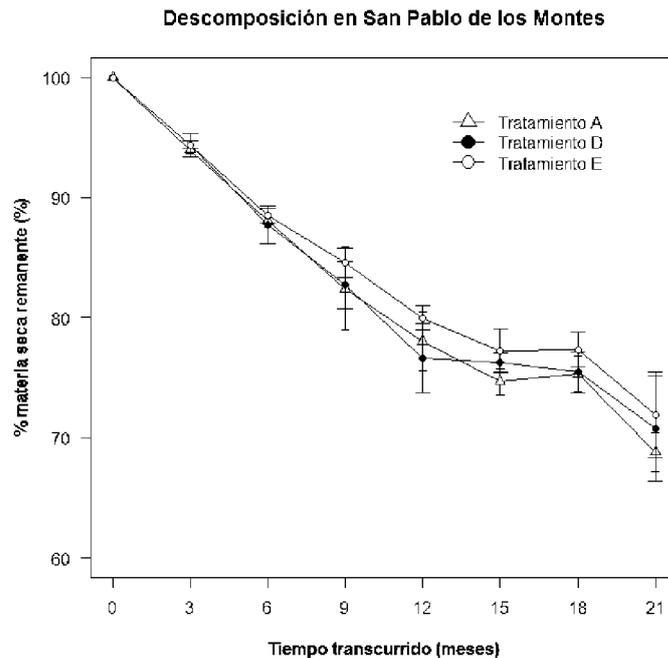


Figura 2. Evolución de la descomposición de acículas en una masa mixta de pinar-rebollar

Las tasas de descomposición junto con el tiempo que tarda en descomponerse la materia orgánica un 50% y un 95% se presentan en la tabla 4. La tasa de descomposición es similar en todos los tratamientos para las acículas y disminuye con la intensidad de la clara en el caso de las hojas de rebollo.

Tabla 4. Tasa de descomposición (k) y tiempo que tarda en descomponerse el 50% ($t_{0.5}$) y el 95% ($t_{0.95}$) de la hojarasca en años. Letras minúsculas diferentes indican diferencias entre fracciones dentro de un mismo tratamiento. Letras mayúsculas diferentes indican diferencias entre tratamientos dentro de una misma fracción.

Fracción	Variable	Tratamiento		
		A	D	E
Acículas	k (años ⁻¹)	0.15 ^a	0.17	0.13
	$t_{0.5}$	4.5	4.1	5.2
	$t_{0.95}$	19.6	17.9	22.6
Hojas	k (años ⁻¹)	0.21 ^{bA}	0.15	0.13 ^B
	$t_{0.5}$	3.3	4.5	5.2
	$t_{0.95}$	14.4	19.5	22.3

5. Discusión

La reducción de la densidad en masas de pinares tiende a disminuir significativamente el aporte de desfronde: a menor número de individuos contribuyentes, menor cantidad de desfronde, mientras que la concentración de nutrientes tiende a mantenerse igual (BLANCO et al. 2006). En nuestro estudio esta tendencia no se observa, al contrario no existen diferencias en el aporte de desfronde entre tratamientos ni en las concentraciones salvo la concentración de nitrógeno en las hojas de rebollo que aumenta con la intensidad de la clara durante el primer año tras la operación.

Las mayores diferencias se observan a lo largo del tiempo. La concentración de carbono aumenta para el conjunto del desfronde en el segundo año para todos los tratamientos alrededor de un 3%, mientras que la concentración de nitrógeno sigue un patrón irregular disminuyendo de forma significativa en las hojas de rebollo de las parcelas con tratamiento E, mientras que aumenta el segundo año en parcelas no aclaradas.

El irregular comportamiento en la concentración de nutrientes y la no significación en el aporte de desfronde entre tratamientos son debidos a una alta variación de la cantidad y tipo de desfronde recogido dentro de cada tratamiento, aumentando la variabilidad intra-parcela, lo que provoca la gran significación con el tiempo que muestra el análisis de medidas repetidas. Además, la disposición natural del rebollo, que no fue aclarado, hace que no esté homogéneamente repartido dentro de cada parcela localizándose en el talud de la terraza. Por lo tanto, la densidad local en las proximidades de cada cesto podría ser una covariable importante a la hora de establecer estudios de desfronde en masas mixtas.

Las claras por lo bajo tienen por objetivo, entre otros, disminuir la competencia y aumenta la disponibilidad de nutrientes. En masas puras de pino silvestre se planteó la hipótesis de que las claras reducirían la eficiencia en el uso de los nutrientes (BLANCO et al. 2009), produciéndose un efecto de mejora de las condiciones de estación por aumento de la disponibilidad de nutrientes y por asociarse valores altos de eficiencia a estaciones pobres en nutrientes (VITOUSEK et al. 1997). Sin embargo, las claras por lo bajo no tuvieron ningún efecto sobre la eficiencia en estaciones pobres en nutrientes. En nuestro caso la estación es de baja calidad (aunque no es estrictamente correcto utilizar el índice de sitio para cada especie en masas mixtas los valores indican una calidad de estación IV (14.7 m a los 50 años) para pino negral (RÍO et al. 2006) y calidad III (10.9 m a los 60 años) para rebollo (ADAME et al. 2006)) y tampoco se encontraron diferencias significativas en la eficiencia en el uso del nitrógeno entre tratamientos, aunque se observa una tendencia a aumentar en el rebollo. Esta tendencia indica que la reducción de la competencia ejercida por los pinos favorece la eficiencia del rebollo en asimilar nitrógeno aunque el comportamiento irregular de la concentración de nutrientes entre tratamientos y entre años (tabla 2) implica que debe haber otros mecanismos que reduzcan la pérdida de nutrientes, sobre todo en el segundo año tras la clara (AERTS & CHAPIN, 2000) o que la eficiencia esté relacionada con otros factores además de con el desfronde (BINKLEY et al. 2004) tal y como sugieren BLANCO et al (2009).

La descomposición tiende a ser mayor en parcelas no aclaradas que en parcelas aclaradas al igual que ocurre en masas puras de pino silvestre en el norte peninsular (BLANCO et al. 2003). La clara favorece que llegue más radiación al suelo provocando un

microambiente seco y cálido poco apropiado para la descomposición, mientras que las zonas control hay menos pérdida de humedad. La temperatura no es un factor limitante para la descomposición como ocurre en otras zonas más templadas o frías (MURPHY et al. 1998) por lo que la mayor fracción de cabida cubierta de las parcelas no aclaradas favorece un microambiente húmedo y cálido que favorece la descomposición. Los valores de tasa de descomposición de las acículas de pino son similares a los encontrados para pinares de Páramos ácidos del norte de la meseta (HERRERO 2010), mientras que los valores para el rebollo son más altos que los encontrados en la misma zona ($t_{0.5}$: 1.4 y $t_{0.95}$: 6.6)

6. Conclusiones

La aplicación de claras por lo bajo en masas mixtas de pinar-rebollar en ambiente mediterráneo no supone una variación significativa en el aporte de desfronde, la concentración de carbono y nitrógeno foliar, la eficiencia en el uso del nitrógeno y la descomposición de acículas entre tratamientos. La tasa de descomposición de las hojas de rebollo disminuye con el grado de la clara, mientras que la aplicación de claras tiende a igualar las tasas de descomposición y tiempos de residencia de materia orgánica foliar de las dos especies. Se ha identificado que la densidad local y análisis espacial de los pies contribuyentes en las proximidades del cesto podría ser una covariable a tener en cuenta en los estudios de desfronde en masas mixtas, en los que las claras no se ejecutan de forma sistemática y la distribución de las especies es irregular en el espacio.

7. Agradecimientos

Este trabajo ha sido financiado por los proyectos de investigación competitivos SUM2008-00002-00-00 y AGL2011-29701-c02-01

8. Bibliografía

ADAME, P.; CAÑELLAS, I.; ROIG, S.; RÍO, M.; 2006. Modelling dominant height growth and site index curves for rebollo oak (*Quercus pyrenaica* Willd.). *Annals of Forest Sciences* 63: 929-940.

AERTS, R.; CHAPIN, F.S.; 2000. The mineral nutrition of wild plants revisited: a re-evaluation of processes and patterns. *Advances in Ecological Research* 30:1-67.

BINKLEY, D.; STAPE, J.L.; RYAN, M.G.; 2004. Thinking about efficiency of resource use in forests. *Forest Ecology and Management* 193: 5-16.

BLANCO, J.A.; BOSCO, J.; OZCÁRIZ, A.; CASTILLO, F.J.; 2003. Decomposition and nutrient release from *Pinus sylvestris* L. leaf litter in stands with different thinning intensity. In *Silviculture and sustainable management in mountain forests in the Western Pyrenees*. IUFRO Meeting, Navarra, Spain.

BLANCO, J.A.; BOSCO, J.; CASTILLO, F.J.; 2006. Effects of thinning on nutrient content pools in two *Pinus sylvestris* forests in the western Pyrenees. *Scandinavian Journal of Forest Research* 21: 143-150.

BLANCO, J.A.; BOSCO, J.; CASTILLO, F.J.; 2008. Nutrient return via litterfall in two contrasting *Pinus sylvestris* forests in the Pyrenees under different thinning intensities. *Forest Ecology and Management* 256: 1840-1852.

BLANCO, J.A.; BOSCO, J.; CASTILLO, F.J.; 2009. Thinning affects nutrient resorption and nutrient-use efficiency in two *Pinus sylvestris* stands in the Pyrenees. *Ecological Applications* 19(3): 682-698.

DENT, D.H.; BAGCHI, R.; ROBINSON, D.; MAJALAP-LEE, N.; BURSLEM, D.F.R.P.; 2006. Nutrient fluxed via litterfall and leaf litter decomposition vary across a gradient of soil nutrient supply in a lowland tropical rain forest. *Plant Soil* 288:197-215.

HERRERO, C.; 2010. Cuantificación en pinares (*Pinus nigra* Arn., *Pinus pinaster* Ait., *Pinus sylvestris* L.) y Rebollares (*Quercus pyrenaica* Willd.) Mediterráneos. Tesis Doctoral. Instituto Universitario de Investigación en Gestión Forestal Sostenible, Universidad de Valladolid, Palencia, España. 189 pp.

MURPHY, K.L.; KLOPATEK, J.M.; KLOPATEK, C.C.; 1998. The effects of litter quality and climate on decomposition along an elevational gradient. *Ecological Applications* 8:4, 1061-1071.

POTKIN, C.; LECHOWICZ, M.J.; TARDIF, S.; 1990. The statistical analysis of ecophysiological response curves obtained from experiments involving repeated measures. *Ecology* 71 (4) 1389-1400.

RÍO, M.; LÓPEZ-SENEPLEDA, E.; MONTERO, G; 2006. Manual de gestión para masas procedentes de repoblación de *Pinus pinaster* Ait., *Pinus sylvestris* L. y *Pinus nigra* Arn. en Castilla y León. Junta de Castilla y León. Serie Técnica, 76 pp. + anexos.

SANTA REGINA, I.; 2000. Biomass estimation and nutrient pools in four *Quercus pyrenaica* in Sierra de Gata Mountains, Salamanca, Spain. *Forest Ecology and Management* 132: 127-141.

VITOUSEK, P.M. 1984. Litterfall, nutrient cycling, and nutrient limitation in tropical forests. *Ecology* 65(1) 285;-298.

WANG, Q.; WANG, S.; HUANG, Y.; 2008. Comparisons of litterfall, litter decomposition and nutrient return in a monoculture *Cunninghamia lanceolata* and a mixed stand in southern China. *Forest Ecology and Management* 255:1210-1218.