



ZTF-FCT
Zientzia eta Teknologia Fakultatea
Facultad de Ciencia y Tecnología

GRADO EN BIOLOGIA

TRABAJO DE FIN DE GRADO

**Análisis de la capacidad de acumulación de agua de
diferentes especies de hojarasca en relación con la
intercepción arbórea.**

GARBIÑE SANCHO BOMBIN

Leioa, Julio 2013

eman ta zabal zazu



Universidad
del País Vasco

Euskal Herriko
Unibertsitatea

ÍNDICE

RESUMEN.....	1
ABSTRACT	1
1. INTRODUCCIÓN	2
2. OBJETIVOS	4
3. MATERIALES Y MÉTODOS	4
3.1 Origen del material utilizado	4
3.2 Tratamiento en el laboratorio	4
3.3 Efecto del tipo de dosel en la intercepción de las diferentes especies de hojarasca.....	5
3.4 Análisis estadístico.....	8
4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	9
4.1. Capacidad máxima de intercepción de los diferentes tipos de hojarasca	9
4.2. Efecto del tipo de dosel en la intercepción de los diferentes tipos de hojarasca .	9
4.3. Efecto del tipo de dosel en la cantidad de agua almacenada por los diferentes tipos de hojarasca.....	11
4.4. Efecto del tipo de dosel en la capacidad de acumulación de agua de cada tipo de hojarasca (peso húmedo/peso seco)	13
5. CONCLUSIONES.....	15
6. BIBLIOGRAFÍA	16

RESUMEN

En el presente estudio se aborda la problemática de la capacidad de acumulación de agua de hojarasca de 4 especies arbóreas (*Quercus robur*, *Fagus sylvatica*, *Pinus radiata* y *Pinus sylvestris*). Se realizaron experimentos en el laboratorio de mojado y secado de la hojarasca para determinar su capacidad máxima de retención de agua. Así como experimentos de campo en los que se colocaron las muestras bajo copas de diferentes árboles (*P.radiata* y *Q.robur*) y en claros para determinar el efecto de la interceptación arbórea en la capacidad acumulativa de la hojarasca. Tanto los resultados del laboratorio como los de campo mostraron que la hojarasca que mayor capacidad de acumulación tiene es la de haya (*F. sylvatica*). Sin embargo aparecen diferencias entre los valores del pino entre ambos experimentos lo cual indica que, por encima de la masa de la hojarasca, es la profundidad de la capa lo que determina la capacidad de acumulación. Asimismo se observan diferencias significativas en la acumulación de agua dependiendo bajo que tipo de dosel se encuentre la hojarasca, siendo bajo pino donde se produce una mayor acumulación; lo que sugiere que el dosel cambia las características de la precipitación afectando a la capacidad de acumulación de la hojarasca.

ABSTRACT

The present study addresses the problem of water storage capacity of 4 tree species 's litter (*Quercus robur*, *Fagus sylvatica*, *Pinus radiata* and *Pinus sylvestris*). Experiments were conducted in the laboratory wetting and drying of the litter to determine its maximum capacity of water retention. And field experiments in which the samples were placed under different tree tops canopy (*Quercus robur* and *Pinus radiata*) and clear to determine the effect of tree interception in the cumulative capacity of the litter. Both the results of the laboratory and in the field showed that the litter has increased storage capacity is beech (*F. sylvatica*). However there are differences between the values of pine between both experiments indicating that, over the mass of the leaves, is the depth of the layer which determines the storage capacity. Also significant differences in the accumulation of water depending on what kind of canopy litter is being under pine where there is a greater accumulation, suggesting that the canopy changes the characteristics of rainfall affecting the storage capacity litter.

1. INTRODUCCIÓN

Los ecosistemas forestales tienen, en general, un papel muy importante en el ciclo hidrológico ya que son fuentes de transpiración continua de agua, de intercepción de la misma (evaporación) y de distribución de la precipitación al atravesar el dosel y llegar al suelo (Figura 1).

Esta capacidad de intercepción y/o almacenaje de agua depende tanto de las condiciones climáticas (precipitación, temperatura etc.) como de las diferentes características estructurales de las especies vegetales (LAI, tipo de hojas etc.) (Carlyle-Moses y Gash 2011). Sin embargo, la intercepción debida a las especies vegetales no solamente se limita a ese nivel sino que la materia muerta del suelo (hojarasca, ramas, troncos etc.) también es capaz de interceptar y almacenar parte de esa agua percolada (Leviaet al. 2011, Gerrits, Pfister y Savenije 2010), posteriormente pudiendo ser evaporada (Van der Ent et al. 2012).

Así, en el caso de la precipitación su efecto en la intercepción depende de la frecuencia, cantidad y volumen de las precipitaciones (Casey 1996, Cavelier y Vargas 2002, Dabral y Subra Rao 1968). En el caso de precipitaciones pequeñas pero frecuentes la intercepción suele ser alta, pero si la misma precipitación cae en menor número de eventos pero de mayor volumen la intercepción puede ser comparativamente menor (Spittlehouse 1998). Por otro lado, a medida que el bosque madura y el dosel se cierra aumenta la intercepción, pero esta relación se ha visto que no depende de la densidad de árboles como cabría esperar sino debido a la capacidad de auto clareo del bosque (Carlyle-Moses y Gash 2011).

En cuanto a la intercepción del suelo del bosque, numerosos estudios muestran que la capa de hojarasca es un importante componente hidrológico en el control de la transferencia de agua y energía entre el dosel arbóreo y el suelo (Pitman 1989). Sin embargo, a pesar de la importancia de las capas de hojarasca en el ciclo hidrológico, hay poca información disponible sobre la dinámica de la humedad, principalmente debido a las dificultades de su observación *in situ* (Putuhena y Cordery 1996, Schaap et al. 1997, Tobon-Marin et al. 2000) y muchos estudios han ido dirigidos a evaluar la capacidad máxima de almacenaje (Pitman 1989, Putuhena y Cordery 1996 y Tobon-Marin et al. 2000). Diferentes estudios muestran como la intercepción de la hojarasca

depende de la profundidad de la capa (Rowe 1995, Sato et al. 2004, Guevara-Escobar et al. 2007) y del tipo de hojarasca (ver Gerrits y Savenije 2011), entre otros factores.

A pesar de que la interceptación se considera un proceso menor, juega un papel importante en el balance del agua. No solamente el dosel, sino que el suelo del bosque puede interceptar una cantidad significativa de la precipitación. Aunque la mayoría de las superficies solamente pueden almacenar unos pocos milímetros de agua, que no suele ser muy grande al compararla con otros stocks en el balance del agua, la distribución temporal de la precipitación puede llevar a un efecto acumulativo considerable. La importancia de la interceptación es evidente a escalas de tiempo largas. El almacenamiento puede ser pequeño pero el número de veces que el almacén es llenado y vaciado puede llevar a una reducción significativa de la recarga de la humedad del suelo y por ello a la escorrentía superficial (Gerrits y Savenije 2011).

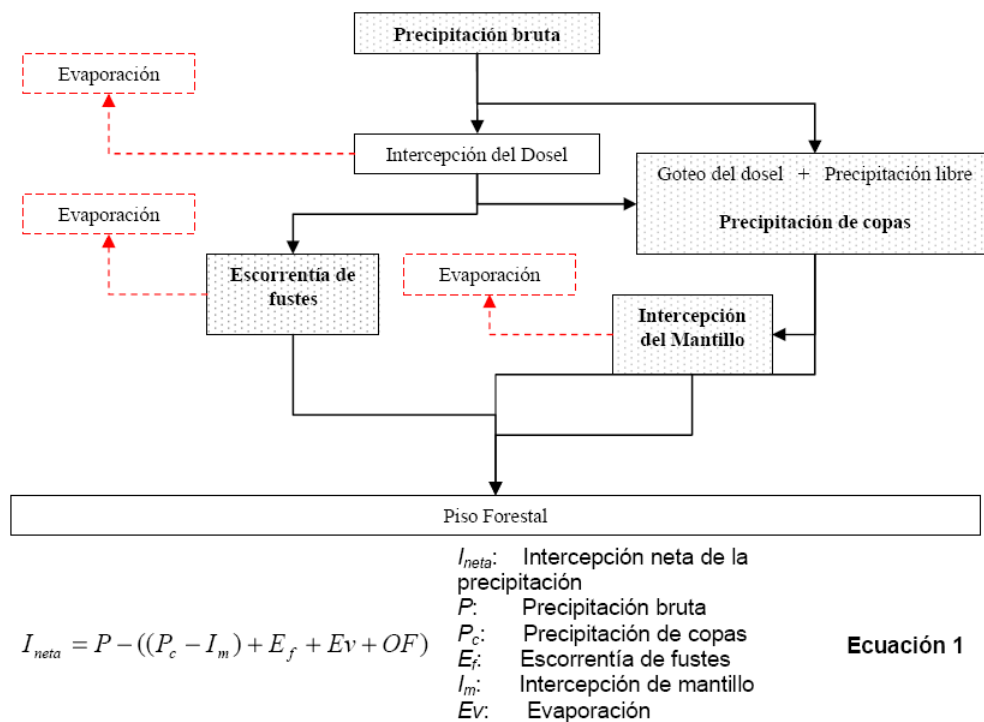


Figura 1. Diagrama conceptual de la interceptación de precipitación en ecosistemas forestales. (Jiménez 2010).

2. OBJETIVOS

El objetivo general es profundizar más en el conocimiento de la capacidad de almacenaje e intercepción de diferentes especies de árboles y en el efecto de los tipos de dosel en dicho proceso.

Los objetivos concretos son:

- Calcular la capacidad máxima de retención de agua de la hojarasca de 4 especies arbóreas tres autóctonas y una exótica.
- Estudiar el efecto del tipo de dosel (*Quercus robur* y *Pinus radiata* L.) en la intercepción de la precipitación y por tanto, en la intercepción de la hojarasca.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1 Origen del material utilizado

El origen de la hojarasca utilizada en el estudio fue de un bosque mixto de regeneración natural de *Pinus sylvestris* y *Fagus sylvatica* de Navarra y de un pinar de *Pinus radiata* y un robledal de *Quercus robur* situados en el campus de Leioa de la UPV/EHU.

Las muestras de hojarasca de las 4 especies anteriormente mencionadas se obtuvieron en los dos ecosistemas forestales utilizando cuadrados de 25 x 25 cm tirados al azar. En cada lugar se recogió un mínimo de 8 muestras. Toda la hojarasca presente se recogió y guardó en bolsas para posteriormente ser utilizada en el laboratorio de Ecología Forestal de la Facultad de Ciencia y Tecnología de la UPV/EHU.

3.2 Tratamiento en el laboratorio

Se colocaron las muestras de hojarasca, aproximadamente 30 gramos, en bandejas de plástico que fueron posteriormente rellenadas con agua hasta cubrir las hojas

(Figura 2). La hojarasca se mantuvo sumergida durante 24 horas, con el fin de que las hojas absorbieran toda el agua posible, ya que este es el tiempo razonable fijado por Sato et al. (2004) en el que se sabe que todo el agua que podía absorber la hoja o la materia orgánica del suelo ha sido efectivamente incorporada a la estructura foliar (capacidad máxima de retención de agua).

Posteriormente se pesaron las muestras de hojarasca mojada, previamente escurridas para eliminar el agua no absorbida por las hojas que quedaba en la bandeja. Una vez obtenidos los pesos de cada muestra colmada de agua (peso húmedo= P.H.), se secaron en una estufa a 60º C durante 4 días, período suficiente para que las hojas perdieran todo el agua y llegaran a un peso constante. Por último, se pesaron obteniendo el peso seco (P.S.).



Figura 2. Muestras de hojarasca sumergidas en agua en el laboratorio.

En este caso, siguiendo el procedimiento de Sato et al. (2004), se ha hallado la cantidad de agua retenida por una masa seca mediante la diferencia entre el peso de la hojarasca tras haber estado sumergida 24 horas (húmeda) y el peso de la hojarasca seca.

3.3 Efecto del tipo de dosel en la intercepción de las diferentes especies de hojarasca

El experimento se realizó bajo dos tipos de dosel (*P. radiata* y *Q. robur*) en el campus de Leioa y utilizando tres tipos de hojarasca: *P. radiata*, *Q. robur* y *F. sylvatica*.

No se utilizó hojarasca de *P. sylvestris* porque no hubo suficiente, y además dificultaba en gran medida a la hora de la colocación de las botellas en el campo el que hubiera una quinta botella, ya que se colocaron muestras de tres especies más una de control sin hojarasca.

La metodología que se utilizó fue la realizada por Jiménez (2010). Ésta consistía en colocar en una botella un embudo de 14 cm de diámetro y después sobre una maya colocada en el interior del embudo se colocaba la hojarasca pesada. En nuestro caso en vez de utilizar una maya se utilizó una bandeja perforada. La cantidad que se colocó fue la misma en todos los embudos, 7 g/ 156 cm², que fue la cantidad que aproximadamente se obtuvo como de media de la hojarasca acumulada en las muestras obtenidas de las zonas muestreadas. De este modo se podía medir el agua que era interceptada, al tener un embudo sin hojarasca, y al mismo tiempo calcular la cantidad de agua acumulada por la hojarasca (Figura 3).



Fig.3. Botellas con embudos y bandeja empleados para el experimento de campo.

El experimento consistió en la colocación en cada zona de dos réplicas que consistían cada una en un conjunto de 4 botellas, 3 cada una con un tipo de hojarasca (pino, roble y haya) y una cuarta que actuaba como control (cantidad de agua que percolada a través del dosel) (Figura 4).



Fig.4. Bandejas con hojarasca de roble, pino, haya y sin hojarasca.

Los puntos donde se realizó el muestreo fueron 6: dos bajo copa de roble (Figura 5), dos bajo copa de pino (Figura 6) y dos en claros (sin intercepción del dosel) (Figura 7). En total se colocaron 24 botellas.



Fig.5. Botellas bajo copa de roble.



Fig.6. Botellas bajo copa de *P. radiata*.



Fig.7. Botellas en un claro.

Este experimento se realizó dos veces diferentes en mayo de 2013 dejando las botellas en el campo durante un intervalo de aproximadamente 24 horas desde que se colocaron las muestras en el campo hasta que se recogieron. Tiempo durante el que hubo una precipitación media de 14,6 mm.

3.4 Análisis estadístico

La normalidad de los datos se ha analizado mediante el test de Kolmogorov-Smirnov. Posteriormente se han realizado otros análisis como el análisis de la covarianza (ANCOVA) y de la varianza (ANOVA), y *post hoc* DMS.

Los análisis se han realizado empleando el programa IBM-SPSS Statistics.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. Capacidad máxima de intercepción de los diferentes tipos de hojarasca

Los resultados muestran como la cantidad de agua almacenada depende del tipo y peso de la hojarasca utilizada (ANCOVA $F_{2,45} = 39,53$, $P < 0,0001$), es decir, de las características de la hoja y de la cantidad de hojarasca de la muestra.

Así, la hojarasca de haya acumuló significativamente más agua que el resto de las especies estudiadas (en relación al peso seco), no habiendo diferencias entre la hojarasca del roble y del *P. radiata*, siendo el *P. sylvestris* la especie que menor capacidad mostró (Tabla 1). Estos resultados coinciden con estudios anteriores en los que se muestra la menor capacidad de retención de la hojarasca de *P. sylvestris* frente a la de *P. radiata* (Walsh y Voight 1977, Putuhena y Cordery 1996) aunque los datos de *F. sylvatica* parecen ser mayores que los obtenidos por Gerrits et al. (2010).

Tabla 1. Valor medio (\pm Error Estándar, ES) de la relación entre el peso húmedo y el peso seco en los cuatro tipos de hojarasca (*F. sylvatica*, *Q. robur*, *P. radiata* y *P. sylvestris*). Las letras distintas significan que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

Tipos de hojarasca	Relación peso húmedo/peso seco
<i>F. sylvatica</i>	$2,90 \pm 0,06^a$
<i>Q. robur</i>	$2,39 \pm 0,05^b$
<i>P. radiata</i>	$2,53 \pm 0,07^b$
<i>P. sylvestris</i>	$1,87 \pm 0,08^c$

4.2. Efecto del tipo de dosel en la intercepción de los diferentes tipos de hojarasca

El análisis realizado a la cantidad de agua recogida en las botellas de agua muestra que no hay un efecto del tipo de hojarasca en la cantidad de agua interceptada (ANOVA, $F_{3,48} = 2,37$, $P > 0,05$) pero sí del dosel ($F_{2,48} = 16,35$, $P < 0,0001$), siendo significativamente

menor la cantidad de agua percolada bajo el dosel de las dos especies frente a la del claro (Tabla 2) como cabría esperar. En general la retención del agua por el dosel depende de la hidrofobicidad, de la microestructura de la superficie de las hojas y del ángulo de inclinación de las mismas (Holder 2007), por lo que, es extraño que no hubiera diferencias entre las cantidades de agua interceptadas en las diferentes copas, como muestran otros estudios en los que las coníferas (33 %) interceptaban significativamente más que los caducifolios (16 %) (Amezaga et al. 1997).

Tabla 2. Valor medio (\pm ES) de la cantidad de agua percolada en los diferentes tipos de copa (*Q. robur* y *P. radiata*) y claro. Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

Tipos de dosel	Agua acumulada (ml)
<i>Q. robur</i>	258,75 \pm 16,15 ^b
<i>P. radiata</i>	254,94 \pm 34,87 ^b
Claro	424,06 \pm 16,40 ^a

Los resultados indican la existencia de una gran variabilidad en relación con el lugar donde estaba colocada la muestra (Figura 8). Independientemente del tipo de hojarasca que contienen las botellas, los valores son muy variables. Esto puede ser debido a la variabilidad en la estructura de la copa a pesar de colocar las botellas juntas (Nackaerts et al. 2000).

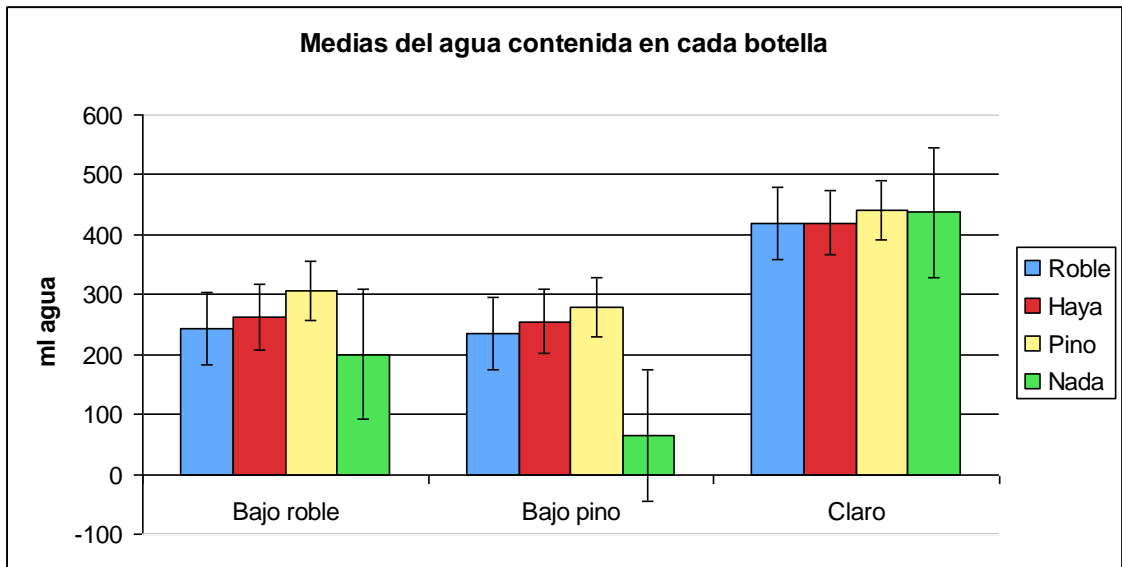


Fig.8. Valor medio (\pm Desviación típica) de relación entre el peso húmedo y el peso seco en los cuatro tipos de hojarasca (*F. sylvatica*, *Q. robur*, *P. radiata* y *P. sylvestris*). Las letras distintas significan que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

Por otro lado, se podría pensar que las bandejas sin hojarasca debieran permitir mayor paso de agua, sin embargo, en los resultados no ocurre así. La explicación podría estar relacionada con el hecho de que la hojarasca amortigua la caída de las gotas de agua, reduciendo así la salpicadura.

4.3. Efecto del tipo de dosel en la cantidad de agua almacenada por los diferentes tipos de hojarasca

Los resultados muestran que existe una interacción significativa entre el tipo de dosel y la cantidad de agua almacenada en cada tipo de hojarasca (ANOVA, $F_{4,35} = 2,84$, $P < 0,05$) (Tabla 3).

Tabla 3. Valor medio (\pm Desviación típica) del peso de la hojarasca mojada (g) en los diferentes tipos de copa (*Q. robur* y *P. radiata*) y claro. Las letras diferentes en cada tipo de dosel implica que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

Tipo de copa	Tipo de hojarasca		
	<i>Q. robur</i>	<i>F. sylvatica</i>	<i>P. radiata</i>
<i>Q. robur</i>	23,20 \pm 2,40 ^b	30,15 \pm 1,15 ^a	17,80 \pm 0,18 ^c
<i>P. radiata</i>	22,25 \pm 0,78 ^b	24,50 \pm 3,95 ^a	17,25 \pm 1,20 ^c
Claro	21,85 \pm 0,78 ^b	22,30 \pm 0,28 ^a	16,00 \pm 0,14 ^c

En el robledal el peso de la hojarasca húmeda del haya es significativamente mayor que la del roble o pino (Tabla 3). En el pinar, la hojarasca del haya como la del roble pesan significativamente más que la del pino, no habiendo diferencias entre ellas (Tabla 3) y en el claro las muestras de pino presentan diferencias significativas con el resto siendo considerablemente menores.

En general, la mayor intercepción ocurrió bajo roble, después bajo pino y la menor en el claro, a pesar de que es allí donde cae más agua (Tabla 4). Esto podría deberse a que el dosel cambia las características de la precipitación (tamaño de la gota, velocidad etc.) favoreciendo la intercepción del agua por parte de la hojarasca.

Tabla 4. Valor medio (\pm ES) del peso de la hojarasca mojada en los diferentes tipos de dosel (*Q. robur*, *F. sylvatica* y claro). Las letras distintas significan diferencias significativas ($P < 0,05$).

Tipos de dosel	Peso hojarasca mojada (g)
<i>Q. robur</i>	27,44 \pm 1,03 ^a
<i>P. radiata</i>	24,52 \pm 0,99 ^b
Claro	19,16 \pm 1,22 ^c

Por otro lado, en general fue la hojarasca de haya la que acumuló más agua, es decir, pesó más, seguida de las de roble y finalmente las de pino (Tabla 5), al contrario

de los resultados obtenidos en el apartado 4.1., donde no hubo diferencias en lo acumulado por la hojarasca de roble y de pino radiata. Como sugiere Holder (2007), esto puede ser debido a las propiedades de las hojas de haya, con cutículas menos reacias a asimilar agua (hidrófilas), con mayor área foliar y con mayor relación superficie/volumen. Por otro lado, al utilizar el mismo peso de hojarasca en una misma superficie, la profundidad de la capa de la muestra de la hojarasca de haya y de roble fue mayor que la de pino, favoreciendo el almacenaje de más agua entre las hojas y por ello mostrando la diferencia entre los dos tipos de hoja (Sato et al. 2004, Guevara-Escobar et al. 2007).

Tabla 5. Valor medio (\pm ES) del peso de la hojarasca mojada en los diferentes tipos de hojarasca (*Q. robur*, *F. sylvatica* y *P. radiata*). Las letras distintas significan diferencias significativas ($P < 0,05$).

Tipos de hojarasca	Peso hojarasca mojada (g)
<i>Q. robur</i>	23,44 \pm 0,94 ^b
<i>F. sylvatica</i>	29,04 \pm 0,95 ^a
<i>P. radiata</i>	18,64 \pm 0,93 ^c

4.4. Efecto del tipo de dosel en la capacidad de acumulación de agua de cada tipo de hojarasca (peso húmedo/peso seco)

El análisis muestra que la relación depende del tipo de dosel y de la especie de la hojarasca ($F_{2,35} = 4,67$, $P < 0,05$, y $F_{2,35} = 24,41$, $P < 0,05$, respectivamente) pero no hubo una interacción entre los factores. La mayor acumulación de agua con respecto al peso seco se dio en el robledal y la menor en el claro (Tabla 6) y en relación al tipo de hojarasca, la mayor capacidad tuvo la hojarasca de haya seguida de la del roble y finalmente la del pino radiata (Tabla 7).

Tabla 6. Valor medio (\pm ES) de la relación entre el peso húmedo y peso seco de los diferentes tipos de copa (*Q. robur*, *P. radiata*) y claro. Las letras implican que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

Tipos de dosel	Relación peso húmedo/peso seco
<i>Q. robur</i>	$2,68 \pm 0,12^a$
<i>P. radiata</i>	$2,39 \pm 0,12^b$
Claro	$2,18 \pm 0,12^c$

Tabla 7. Valor medio (\pm ES) de la relación entre el peso húmedo y peso seco de los diferentes tipos de hojarasca (*Q. robur*, *F. sylvatica* y *P. radiata*). Las letras implican que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

Tipos de hojarasca	Relación peso húmedo/peso seco
<i>Q. robur</i>	$2,33 \pm 0,12^b$
<i>F. sylvatica</i>	$3,03 \pm 0,12^a$
<i>P. radiata</i>	$1,89 \pm 0,12^c$

Atendiendo a los resultados de ambas tablas (6 y 7), se observa que el tipo de hojarasca muestra unos valores más diferentes entre si (diferencia de más de uno entre el valor mayor y menor) y en el caso del dosel esta diferencia es de la mitad.

El hecho de que la interacción fuera significativa al considerar el peso de la hojarasca mojada y no al analizar la relación con respecto al peso seco a pesar de partir de muestras con el mismo peso seco implica que posiblemente la profundidad de la capa es importante como ya se ha visto en otros estudios (Sato et al. 2004).

Por lo cual, se podría pensar que más que la masa de la hojarasca lo que puede ser determinante en la acumulación de agua es su estructura (profundidad). La forma que adopta la hojarasca de roble y haya favorece la acumulación de agua entre sus hojas ya que presenta mayor profundidad de capa que el pino.

5. CONCLUSIONES

Según los resultados obtenidos en el presente estudio, en el experimento realizado en el laboratorio, la hojarasca que mayor capacidad máxima de retención de agua tiene es la de *F. sylvatica*. Esta característica podría deberse a las propiedades de la hoja tales como cutículas más hidrófilas, mayor área foliar y mayor relación superficie/volumen).

En cuanto a los resultados procedentes del experimento de campo, se ha comprobado que no existen diferencias en la capacidad de intercepción de agua entre la hojarasca de las 3 especies estudiadas (*Q. robur*, *F. sylvatica* y *P. radiata*). Esto puede ser debido a la variabilidad de la estructura de la copa, por lo que, en estudios posteriores sería recomendable realizar mayor número de réplicas para comprobar el efecto de dicha variabilidad. Sin embargo, se ha comprobado que el tipo de dosel sí tiene un efecto significativo en la acumulación de agua.

Asimismo se concluye que la capacidad de retención de agua de la hojarasca no depende tanto de su masa sino de la profundidad de la capa.

6. BIBLIOGRAFÍA

- Amezaga I., González-Arias A., Domingo M., Echeandia A., Onaindia M., 1997. Atmospheric deposition and canopy interactions for conifer and deciduous forests in Northern Spain. *Water, Air and Soil Pollution* 97:303-313.
- Carlyle-Moses D.E., Gash J.H.C., 2011. Rainfall Interception Loss by Forest Canopies. D.F. Levia et al. (eds), *Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions*. Ecological Studies.
- Casey M., 1996. Throughfall in a forestry plantation at the La Selva Biological Station, Costa Rica. M.Sc. Thesis. University of Tennessee. Knoxville, EEUU.
- Cavelier J., y Vargas G., 2002. Procesos hidrológicos. pp. 145-165. En: Guariguata, M. y G. Kattan (eds.). *Ecología y conservación de bosques tropicales*. Libro Universitario Regional, Cartago, Costa Rica.
- Dabral y Subra Rao, 1968; Dabral B.G., Subra Rao B.K., 1968. Interception studies in chir and teak plantations-new forest. *Indian Forester*. 541-551.
- Gerrits A.M.J., Pfister L., Savenije H.H.G., 2010. Spatial and temporal variability of canopy and forest floor interception in a beech forest. *Hydrol Process* 24:3011-3025.
- Guevara-Escobar A., Kemp P. D., Mackay A. D., and Hodgson J., 2007. Pasture production and composition under poplar in a hill environment in New Zealand, *Agrofor. Syst.*, 69, 199–213.
- Holder C.D., 2007. Leaf water repellency of species in Guatemala and Colorado (USA) and its significance to forest hydrology studies. *J Hydrol* 336:147–154.
- Jiménez C., 2010. Intercepción de lluvia en tres estadios sucesionales del Bosque seco Tropical, Parque Nacional Santa Rosa, Costa Rica. Instituto Tecnológico de Costa Rica. Escuela de Ingeniería Forestal.
- Nackaerts K., Coppin P., Muys B., Hermy M., 2000. Sampling methodology for LAI measurements with LAI-2000 in small forest stands.
- Pitman, J.I., 1989. Rainfall interception by bracken in open habitat - relations between leaf area canopy storage and drainage rate. *J Hydrol* 105:317–334.

Putuhena W. Cordery I., 1996. Estimation of interception capacity of the forest floor. *J Hydrol* 193:97-113.

Sato et al. (2004). Sato Y., Kumagai T., Kume A., Otsuki K. and Ogawa S., 2004. Experimental analysis of moisture dynamics of litter layers—the effects of rainfall conditions and leaf shapes, *Hydrol. Processes*, 20 18, 3007–3018.

Schaap M.G., Bouten W., 1997. Forest floor evaporation in a dense Douglas fir stand. *J Hydrol* 193:97-113.

Spittlehouse D.L., 1998. Rainfall interception in young and mature conifer forests in British Columbia. In: *Proceedings of the 23rd conference on agricultural and forest meteorology*, 2–6 Nov 1998, Albuquerque, NM. Am Meteorol Soc, pp 171–174.

Tobon-Marin et al., 2000. Tobon-Marin C., Bouten I.W. and Dekker S.: Forest floor water dynamics and root water uptake in four forest ecosystems in northwest Amazonia, *J. Hydrol.*, 237, 169–183, 2000.

Van der Ent R.J., Coenders-Gerrits A.M.J., Nikoli R., Savenije H.H.G., 2012. The importance of proper hydrology in the forest cover-water yield debate: commentary on Ellison et al. (2012) *Global Change Biology*, 18, 806–820.

Walsh R.P.D., Voight P.J., 1977. Vegetation litter: an underestimated variable in hydrology and geomorphology. *J. Biogr* 4: 253-274.