

Efecto de la especie forestal y de la gestión en la capacidad de intercepción de agua por el suelo

Manuel Fernández Escalada

**Dirigido por: Ibone Ametzaga Arregi
Lorena Peña López**

UPV/EHU

Tesis de master defendida en castellano

ÍNDICE

Resumen	Pág. 3
1. Introducción	Pág. 4
1.1. Problemática del ciclo hidrológico	Pág. 4
1.2. El ciclo hidrológico y los ecosistemas forestales	Pág. 5
2. Objetivos	Pág. 12
3. Materiales y métodos	Pág. 13
3.1. Área de estudio	Pág. 13
3.2. Diseño experimental de las parcelas	Pág. 13
3.3. Muestreo de campo	Pág. 14
3.4. Tratamiento en el laboratorio	Pág. 14
3.5. Análisis estadísticos	Pág. 16
4. Resultados	Pág. 17
4.1. Hojarasca	Pág. 17
4.2. Horizonte O del suelo	Pág. 18
4.3. Ramas	Pág. 20
4.4. Comparaciones Horizonte O - hojarasca	Pág. 21
4.5. Agua acumulada (mm) frente a precipitación media anual (mm)	Pág. 22
5. Discusión	Pág. 26
6. Conclusiones	Pág. 28
7. Bibliografía	Pág. 29
ANEXO 1	Pág. 32

RESUMEN

El presente estudio analiza de forma sencilla la importancia de la hojarasca y la materia orgánica del suelo en el ciclo hidrológico como agente que acumula agua, ya que sin su presencia pasaría directamente al suelo. El muestreo se llevó a cabo en un pinar de *Pinus sylvestris* con presencia en algunas zonas de *Fagus sylvatica* de Navarra (Aspurz), el cual había sido sometido 9 parcelas a diferentes tratamientos de clara (0%, 20% y 40%, tres replicas de cada una). En cada parcela se tomaron 16 muestras, 8 bajo dosel donde sólo había pino y 8 bajo dosel mixto. Cada muestra consistió en una muestra de hojarasca (25x25cm) y una muestra del horizonte orgánico del suelo (Horizonte O) (10x10cm). Posteriormente en el laboratorio todas las muestras se dejaron secar, se pesaron y se humedecieron durante 24h para medir el volumen máximo de agua que podían acumular. A continuación se pesaron y volvieron a secar. Los datos indicaron que el único factor que influyó tanto en la acumulación de hojarasca como del horizonte O del suelo fue el tipo de dosel arbóreo. La hojarasca mixta retuvo mayor cantidad de agua, y por tanto posee una mayor capacidad de acumular agua, al mismo tiempo que permite que haya una mayor acumulación del horizonte O del suelo. En el caso del grado de clareo, se observó un efecto sobre la capacidad de almacenamiento de agua del horizonte O del suelo, siendo mayor en el suelo que se encuentra bajo doseles no clareados pudiendo deberse a que no ha sido perturbado durante las labores de clareo. Además, se ha observado que aunque la capacidad de almacenar agua por la hojarasca es mayor que la del horizonte O del suelo, la mayor cantidad de éste último hace que tenga un papel más importante a la hora de la intercepción de agua. Así, se puede concluir que la capacidad del sistema de interceptar el agua transcolada fue suficiente en el periodo estudiado para que no fluyera agua por escorrentía salvo en momentos puntuales de precipitaciones especialmente intensas.

Palabras clave: *Intercepción, hojarasca, horizonte orgánico del suelo, capacidad máxima de almacenamiento, LAI, agua acumulada, precipitación.*

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Problemática del ciclo hidrológico

Conocer el ciclo hidrológico es fundamental para entender el funcionamiento del planeta, ya que interviene de manera directa en la regulación de éste. Es por eso que necesitamos conocer de la mejor manera posible todo lo relativo a él. De lo contrario, es difícil comprender sucesos que pueden suponer un riesgo para el ser humano, como intensas precipitaciones, inundaciones o sequías.

El ciclo hidrológico se pone en funcionamiento cuando la energía procedente de la radiación solar actúa sobre la superficie de las masas de agua en estado sólido o líquido o sobre el suelo húmedo, entonces se produce la evaporación y ascenso del agua a la atmósfera, donde se enfría, lo que da lugar por condensación a la formación de pequeñas partículas de agua que originan las nubes. Las nubes son arrastradas hacia el continente, donde, como consecuencia de un proceso termodinámico, en parte adiabático y en parte no adiabático, las pequeñas partículas aumentan considerablemente su tamaño, hasta que es suficiente para vencer la resistencia del aire, y caen hacia la superficie de la Tierra, atraídas por la fuerza de la gravedad (Martínez et al. 2006). Parte del agua que precipita desde las nubes nunca alcanza el suelo porque queda interceptada en su trayectoria por algún obstáculo, como árboles o edificios, y vuelve otra vez a la atmósfera por evaporación, y otra parte sí alcanza la superficie del terreno, siguiendo a partir de aquí caminos distintos: una parte se evapora desde los charcos en los que queda detenida; otra parte es interceptada por la hojarasca y materia orgánica del suelo y se evapora; otra se infiltra en el suelo; y otra parte discurre siempre por la superficie de la Tierra, primero en pequeños regueros y luego a través de cauces cada vez más importantes hasta que alcanza de nuevo el mar, lo que se denomina escorrentía superficial (Martínez et al. 2006).

El agua infiltrada penetra en la zona no saturada y humedece primeramente el suelo, zona limitada por el desarrollo de las raíces de las plantas en profundidad y que es apta para ser soporte de la vida vegetal por la acción de una serie de procesos físicos, químicos y biológicos (Martínez et al. 2006).

El agua retenida en el suelo vuelve a la atmósfera en forma de vapor bien por evaporación directa o bien por transpiración de las plantas, siendo muy difícil, en la práctica, separar un proceso de otro, razón por la cual suelen tratarse conjuntamente bajo el término de evapotranspiración (Martínez et al. 2006). Sin embargo, el flujo total de evaporación debe incluir en su balance la evaporación por transpiración, la evaporación de agua desde el suelo, la que se produce desde aguas abiertas y la que se deriva del agua retenida en la intercepción (Van der Ent et al. 2012).

El agua puede seguir profundizando en su recorrido, atravesando la zona vadosa (zona de materia mineral, agua y aire), la zona capilar (zona con poros saturados de agua con presión ligeramente inferior a la atmosférica), hasta llegar a la zona saturada, cuyo techo es el nivel freático, y en la que todos los poros de agua se encuentran llenos de agua y la presión es superior a la atmosférica (Martínez et al. 2006). En esta zona el agua también se mueve como escorrentía subterránea en función del balance de energías, terminando su trayectoria en ríos, manantiales, directamente en el mar y evapotranspirándose (si el agua es absorbida por las plantas y posteriormente se evapora de ellas) o evaporándose,

cuando el nivel freático está muy próximo a la superficie del terreno (Martínez et al. 2006). Por tanto, el agua en el planeta está en continuo movimiento accionada por la radiación solar y por la fuerza de la gravedad, describiendo un ciclo, el ciclo hidrológico (Martínez et al. 2006).

En el balance hidrológico, admitiendo a efectos prácticos que la precipitación es la única fuente de agua en la Naturaleza, ha de cumplirse para cualquier cuenca cerrada y para un intervalo de tiempo determinado, el principio de conservación de la masa (Martínez et al. 2006):

$$\text{Precipitación} = \text{Escorrentía} + \text{evapotranspiración} + \text{variación en el almacenamiento}$$

Por tanto, considerar, como se ha hecho en numerosos estudios para la caracterización de ciertos ecosistemas, un ciclo del agua en el que al almacenamiento y la evapotranspiración se calculan a partir de la diferencia entre el agua recogida por pluviómetros (como entrada al ecosistema) y el agua de escorrentía (como salida), es una simplificación excesiva que no tiene en cuenta los posibles compartimentos que se pueden generar dentro del mismo condicionados por los parámetros de evapotranspiración y variación de almacenamiento.

1.2. El ciclo hidrológico y los ecosistemas forestales

Para comprender la dinámica del sistema hidrológico que afecta a un bosque, tenemos que tener en cuenta las entradas de agua a este sistema, que producen las precipitaciones atmosféricas, así como las salidas de agua, ya sea en forma de evapotranspiración, escorrentía superficial, escorrentía subsuperficial o entrada del agua a acuíferos subterráneos, y además, la intercepción que se da en la interfase aire-suelo a cargo del estrato vegetal. Tanto las precipitaciones como las salidas de agua han sido ampliamente estudiadas, sin embargo, para la intercepción del agua de precipitación que se realiza por parte de la materia orgánica de un bosque (viva y muerta), se ha procedido normalmente a aplicar un modelo de caja negra, en el que no se entra a estudiar los procesos que se dan durante esta intercepción, sino que se cuantifican las entradas de agua y las salidas de agua del bosque, y la cantidad de agua que no sale del bosque de la que ha precipitado se considera la intercepción (Klaassen et al. 1998). Normalmente esta forma de actuar se lleva a cabo por la falta de datos en la intercepción de agua por el dosel arbóreo, si bien, en los últimos años se ha propiciado un avance en el conocimiento de la intercepción por parte del dosel arbóreo basándose en el modelo de Gash (Gash, 1979) y sus reformulaciones (Levia et al. 2011). Sin embargo, se han desarrollado un número muy limitado de estudios sobre intercepción de la hojarasca y la materia orgánica del suelo. Conceder un peso inadecuado a la intercepción puede causar errores de estimación, ya que los diferentes procesos involucrados, son suficientemente complejos para que la respuesta en forma de escorrentía a las precipitaciones no sea del todo bien entendida y, por tanto, predecible (Klaassen et al. 1998).

Normalmente se asume que la trascolación, que es la lluvia que no es interceptada por el dosel, esta completamente disponible para la infiltración. Esto no es correcto. El suelo del bosque también intercepta lluvia de la misma manera que el dosel. El suelo del bosque puede almacenar agua temporalmente en la vegetación de pequeño porte, hojarasca o el suelo desnudo (Levia et al. 2011) y después ser evaporada directamente

desde las superficies húmedas del bosque (Van der Ent et al. 2012). Así pues, la biosfera capta agua precipitada de la atmósfera y a veces la devuelve a la misma sin que llegue a pasar por la geosfera, formando una subcélula cerrada del ciclo, e igualmente, la biosfera puede captar agua almacenada en la hidrosfera-geosfera y devolverla a la misma tras el paso por la biosfera, sin que llegue a circular por la atmósfera. Por tanto, a la hora de analizar entradas y salidas de agua en los ecosistemas, es necesario estudiar cuál es el papel de la fracción biológica del ecosistema y cuales son las subcélulas que pueden formarse en él, de tal forma que se pueda comprender qué procesos suceden, y cuales sucederían en caso de alterar dicho ecosistema, así como avanzar en la precisión del conocimiento del fenómeno de intercepción del agua, uno de los procesos más subestimado (Tsiko et al. 2012).

1.2.1. Intercepción

La intercepción es la parte de la lluvia que es interceptada por la superficie de la Tierra y que subsecuentemente se evapora (Gerrits, 2010). En ella hay dos procesos dominantes: retención y evaporación (Klaassen et al. 1998). La retención es la cantidad de agua que pueden almacenar las hojas y el resto de partes de las plantas (troncos, cortezas, flores...) en su interior y superficie, impidiendo que ésta llegue al suelo, mientras que la evaporación sería, en este contexto, la cantidad de agua que vuelve a la atmósfera desde la superficie de las plantas, sin haber pasado por el suelo. Tanto en un proceso como en el otro hay que tener en cuenta que estas superficies pueden ser materia viva (hojas, flores, troncos...), materia muerta recién caída (hojarasca, ramas...), o materia muerta descompuesta (horizonte orgánico del suelo), siendo esta última difícil de clasificar en restos vegetales o suelo al tener propiedades intermedias.

La intercepción es un proceso clave en el ciclo hidrológico que involucra flujos significativos en el balance de agua e influye en los procesos subsecuentes tanto en cantidad de agua disponible y su distribución como en el tiempo en el que se desarrollan, siendo una importante causa del comportamiento no lineal de las captaciones (Gerrits, 2010). Los dos tipos de intercepción que se dan en un ecosistema forestal son la intercepción por el dosel y la intercepción a nivel de suelo del bosque (Fig.1).

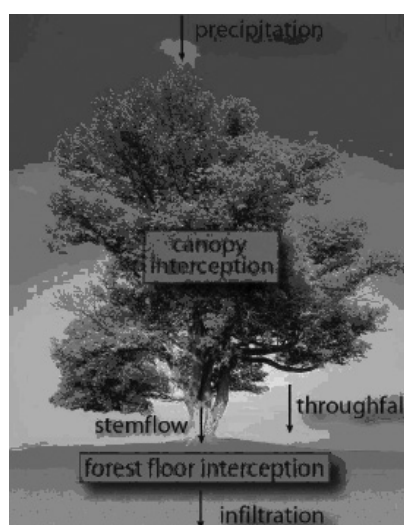


Figura 1. Principales tipos de intercepción. Además aparecen los flujos de agua que se dan en un ecosistema forestal: precipitación, trascolación, escorrentía cortical e infiltración (Imagen tomada de Gerrits 2010).

En general, el proceso de intercepción (I) puede ser definido como la suma del cambio en la capacidad de almacenamiento (S_i) y la evaporación de ese agua guardada (E_i) (Levia et al. 2011):

$$I = dS_i/d_t + E_i$$

A continuación se comentará más en profundidad los factores que afectan a la intercepción del agua de lluvia: Por un lado del dosel, y por otro lado de la hojarasca y la capa orgánica de suelo.

1.2.1.2. Dosel

El dosel de la vegetación afecta a los flujos hidrológicos y biogeoquímicos porque, antes de alcanzar el suelo del bosque, el agua debe atravesar el dosel arbóreo. Por su complejidad, el camino que sigue tanto el agua como otros compuestos químicos, no está bien comprendido (Levia et al. 2011).

1.2.1.2.1. La intercepción del dosel (I_c)

La intercepción por el dosel es el agua de lluvia que se acumula en las hojas y ramas de los árboles y después se evapora (Gerrits, 2010).

Se considera que en la intercepción son fundamentales la evaporación (E_t) que se produce desde el dosel del bosque durante un evento de lluvia, y la evaporación del agua almacenada en el dosel, una vez la lluvia ha cesado (C_e) (Levia et al. 2011), siendo la suma de estos dos procesos de evaporación la intercepción que realiza el dosel:

$$I_c = E_t + C_e$$

Para los eventos de lluvia (P_g) que son suficientemente grandes para satisfacer la capacidad de almacenamiento de agua del dosel (S) se suele asumir que $C_e = S$. Sin embargo para efectos en los cuales no se llega a reunir la cantidad S , existen dos aproximaciones que dependen de cómo la cantidad de agua retenida en el dosel (C) cambia con el incremento de P_g (Leiva et al. 2011):

- La primera aproximación, denominada “waterbox”, *caja de agua*, (Klaasen et al. 1998), sugiere que no hay drenaje de agua desde el dosel hasta que $C = S$. Siguiendo la aproximación “waterbox”, la única porción de P_g que alcanza el suelo del bosque si $C < S$ es la precipitación libre, que pasa directamente a través de los huecos entre el dosel.
- La segunda aproximación sugiere que S se alcanza exponencialmente y que la liberación de agua del dosel ocurre antes de que S sea satisfecha.

La intercepción del dosel también se puede calcular según la propuesta de Gerrits (2010):

$$E_{i,c} + dS_c/d_t = P_g - T_f - T_s$$

Donde $E_{i,c}$ es la evaporación desde el dosel, dS_c/d_t es la variación del almacenaje del dosel según varía el tiempo, P_g es la precipitación, T_f es la trascolación y T_s es la escorrentía cortical.

De esta forma se hace más hincapié en los flujos de agua y se desagrega un poco más la información para realizar los cálculos de intercepción del dosel, teniendo en cuenta también el agua no interceptada que pasa al suelo. En cualquier caso, hay un flujo de entrada (P_g), unos flujos de salida ($E_{i,c}$ hacia la atmósfera y $T_f + T_s$ hacia el suelo forestal) y una capacidad de almacenaje que varía según los otros procesos (dS_c/dt).

1.2.1.2.2. Características del dosel

La vegetación de gran porte tiene una gran rugosidad, aerodinámicamente hablando, lo que provoca altas tasas de evaporación potencial, aunque la variación en la capacidad de almacenamiento (dS_c/dt) (el otro parámetro del que depende la intercepción según Gerrits, (2010)), también depende de la forma, el grosor, la configuración de las ramas y la densidad de la cobertura arbórea (Gerrits, 2010).

La fracción de cobertura del dosel (medible a través del LAI, *Leaf Area Index*-Índice de Área Foliar) ejerce un importante control en la I_c , al representar la proporción de un área forestada que contribuye a E (evaporación) y S . La fracción de cobertura del dosel, también influye la magnitud de la E si se interpreta como una medida de escasez del dosel (Levia et al. 2011). La retención de agua por el follaje que está gobernada por la hidrofobicidad y la microestructura de sus superficies así como de su ángulo de inclinación (Holder 2007), sería otra característica a tener en cuenta.

Se han encontrado considerables variaciones en las propiedades de retención de agua por el follaje incluso teniendo la misma forma de hoja o acícula, existiendo quizás relaciones con el clima del área en que se encuentren. Holder (2007) sugirió que la mayor repelencia de agua en los árboles en climas secos puede ser una adaptación funcional para incrementar la cantidad de agua que alcanza el suelo para el crecimiento de la planta y además, postuló que las características de las hojas, como puedan ser hojas anchas caducas o perennes, pueden también influir en la retención de agua, porque las hojas pueden perder su capacidad para repelar el agua cuando se hacen más viejas y resistentes (Levia et al. 2011). Estas cuestiones deben ser tenidas en cuenta a la hora de analizar la hojarasca, ya que algunas propiedades de las hojas se mantienen pudiendo condicionar las diferencias observadas. Otros factores como el WAI (wood area index), la presencia de epifitas y la estacionalidad, pueden tener un importante control en la magnitud de S y, como consecuencia, generalizaciones concernientes a S , LAI, y tipos de bosque, por ejemplo, coníferas o caducifolios, pueden estar sujetos a un considerable error (Levia et al. 2011). Gerrits (2010) observó un patrón claramente estacional en la intercepción del dosel, con cambios en la evaporación del haya del 15 % en los meses de abril a septiembre (con hojas), frente al 7 %, en los meses de octubre a Marzo (sin hojas).

1.2.1.2.3. Información indirecta del dosel: LAI

Con un aparato capaz de medir el LAI, se puede medir el índice de área foliar del bosque, que nos permite inferir la cantidad de agua retenible por el dosel calculando las zonas en las que hay huecos y las zonas en las que hay hojas en la superficie de las copas de los árboles (Jonckheere et al. 2004). De esta manera se consiguen unas medidas muy prácticas y útiles, que además permiten la correlación entre este parámetro y la cantidad de agua máxima (C_{max}) que puede almacenar el dosel arbóreo (Bulcock et al. 2012b).

Diferentes estudios han mostrado la influencia del LAI en la capacidad de almacenamiento del dosel (Liu et al. 1998; Bulcock et al. 2012b). Con esta información, unida a la información de interceptación del sotobosque, hojarasca y suelo orgánico, se explica la parte de la interceptación que se ve afectada por la capacidad de almacenamiento del agua por la biosfera (Bulcock et al. 2012a).

Las técnicas más usadas para calcular el LAI son técnicas indirectas de no contacto y ópticas de medición del dosel, que obtienen el LAI o bien directamente o tras recoger la información en campo por diversos métodos y posteriormente procesándola con packs de software, como los software para el procesamiento de imágenes hemisféricas Hemiview, SCANOPY, GLA y EYE-CAN (Jonckheere et al. 2004). Dentro de las técnicas anteriormente referidas, la “hemispherical canopy photography”, fotografías hemisféricas del dosel utilizando una lente de ojo de pez, está entre las más utilizadas. Las fotografías nos permiten obtener una imagen permanente de la posición, tamaño, densidad y distribución de los agujeros en el dosel (zonas por donde la radiación solar y la precipitación pueden penetrar). Los ajustes de exposición de la cámara son fuente de error, pero este problema se ha ido subsanando gracias a la irrupción de las cámaras digitales (Jonckheere et al. 2004). Este método, potenciado con la cámara digital, tiene grandes ventajas ya que es una técnica rápida, con un gasto menor, ya que el revelado y el escaneo es innecesario, con un potencial de tratamiento de imágenes ilimitado y con la posibilidad de medir y procesar datos en campo (Jonckheere et al. 2004). En cámaras digitales los únicos problemas registrados son los relacionados con la selección correcta del umbral de brillo, para que en la imagen, el cielo y el dosel queden bien diferenciados y así poder convertir los datos a una imagen binaria de píxeles de categoría cielo y de categoría dosel consiguiendo efectuar los cálculos de manera precisa. A pesar de esto, el método de la cámara hemisférica goza de gran popularidad ya que es más barato y tiene más potencial de desarrollo que otros métodos ópticos indirectos como el DEMON, el Ceptometer, el TRAC o el LAI 2000 Canopy analyser (Jonckheere et al. 2004).

1.2.1.3. Hojarasca y suelo

Hay algunos conocimientos sobre el dosel que pueden ser extrapolables a la hojarasca, como los parámetros que determinan la interceptación del dosel o las características del bosque que influyen en la interceptación, con lo que para este trabajo es interesante su conocimiento, más teniendo en cuenta que la interceptación a nivel de suelo del bosque (hojarasca y horizonte orgánico del suelo) ha recibido mucha menor atención, a pesar de ser un importante mecanismo que precede a la infiltración (Tsiko et al. 2012).

La interceptación a nivel de suelo forestal es la parte de la precipitación que está temporalmente almacenada en los niveles más superficiales de este suelo forestal (vegetación pequeña, hojarasca y el horizonte O del suelo) y es evaporada en unas pocas horas o días durante y después del evento de lluvia (Tsiko et al. 2012). La interceptación por parte del dosel es un importante proceso estudiado profundamente, pero la hojarasca de la superficie del suelo y del sotobosque y su capacidad de almacenamiento de agua han sido mucho menos estudiadas (Guevara-Escobar et al. 2007), pese a ser cantidades importantes como el 60 % de todo lo almacenado por el dosel (Guevara-Escobar et al. 2000), o los valores del 20% de la trascolación referenciados en Tsiko et al. (2012).

Así pues, hay que tener en cuenta que hay algunas diferencias entre el dosel y la hojarasca, como el cambio estructural de las hojas cuando se inicia su descomposición, o parámetros más físicos, como la distribución de las hojas sobre el suelo, que es bastante diferente al de las hojas en el dosel. Sobre este último aspecto, Guevara-Escobar et al. (2007) indican que los elementos de la hojarasca no forman una red interconectada, y no pueden permitir el movimiento por capilaridad del agua, con lo que el movimiento sólo puede darse por el goteo del agua interceptada y por la penetración de la lluvia a través de los agujeros que queden entre las hojas, lo que nos sugiere un mecanismo no tan diferente al de la trascolación del agua a través del dosel.

En el caso de la intercepción del suelo del bosque (I_f), el proceso de intercepción se describe como sigue (Levia et al. 2011):

$$I_f = dS_f/d_t + E_{i,f} = t_f - F$$

Con S_f [L] el almacenamiento en el suelo del bosque, $E_{i,f}$ [$L t^{-1}$] la evaporación del suelo del bosque, t_f [Lt^{-1}] la trascolación, F [Lt^{-1}] la infiltración (entre [] las unidades, L= litros).

Los factores que más influyen en la intercepción a nivel de suelo del bosque son las características de la trascolación, las características de la vegetación y la demanda evaporativa (Gerrits 2010):

A) Características de la trascolación

La trascolación es la lluvia que no es interceptada por el dosel. La lluvia trascolada no está completamente disponible para la infiltración al suelo, ya que a ese nivel, antes de llegar a la geosfera *sensu stricto*, también se intercepta lluvia, como sucede en el dosel (Levia et al. 2011). El suelo del bosque puede almacenar agua temporalmente en la vegetación de pequeño porte, hojarasca o el suelo desnudo, y en este trabajo se van a tener en cuenta tanto el almacenamiento en hojarasca como en los primeros centímetros de suelo que hay bajo ésta.

Las características de la trascolación tienen una gran influencia en el proceso de intercepción por parte de la hojarasca. Existe una gran diferencia si el fenómeno que provoca la trascolación es una tormenta o es una sucesión de varios eventos más pequeños, con periodos de secado entre medio. Incluso si la trascolación total es la misma, el último caso intercepta mucha más agua, porque entre los eventos, el almacén de agua puede ser vaciado (en parte) por la evaporación y quedar disponible para un mayor almacenamiento total en el dosel (Levia et al. 2011), lo que hace que a la hojarasca llegue menos cantidad de agua, que puede interceptarse casi en su totalidad.

La disposición del dosel arbóreo causa que algunas zonas del suelo forestal reciban mucha más agua que otras, pudiendo incluso exceder a la cantidad de agua bruta que precipita sobre el bosque. Esto genera “hotspots” donde los árboles actúan como embudos, creando el subsecuente impacto en el proceso de infiltración (Gerrits 2010).

B) Capacidad de almacenamiento a nivel del suelo (hojarasca y suelo orgánico)

La capacidad de almacenamiento difiere según el tipo de elementos encontrados en el suelo de bosque. Las acículas de los pinos tienen diferentes capacidades que las hojas anchas, aunque hay que ser cauto al comparar resultados, porque la capacidad de almacenamiento también depende del grosor de la capa (Levia et al. 2011). Guevara-Escobar et al. (2007) demostraron que una capa de hojarasca más gruesa puede almacenar más agua, si bien Sato et al. (2004) proponen que no es el grosor, sino la masa de hojarasca lo que condiciona el almacenamiento. El grosor (o masa) del suelo del bosque puede también tener una tendencia estacional (Gerrits, 2010). Normalmente en otoño, el grosor se incrementa debido a la caída de las hojas y a lo largo del año la capa se hace más delgada por descomposición (Levia et al. 2011).

C) Demanda evaporativa

La demanda evaporativa es el último factor que influye en la intercepción a nivel de suelo del bosque. La evaporación directa del suelo se refiere al agua que es almacenada en la zona de las raíces (De Groen y Savenije 2006). Si la evaporación potencial es alta, el agua interceptada se puede evaporar más fácilmente durante y después del evento (Gerrits, 2010). El viento y la radiación son importantes para la evaporación. Aunque el viento juega un importante papel en eliminar la humedad de la superficie produciendo un mayor déficit de vapor, la velocidad del viento es normalmente baja a nivel del suelo del bosque con lo que la importancia de este factor queda disminuida. En cuanto a la radiación, es en invierno cuando penetra más fácilmente y puede alcanzar el suelo en mayor cantidad, sobre todo en bosques que tienen un porcentaje importante de árboles caducifolios (Levia et al. 2011). Una mayor radiación provoca más energía advectiva en la superficie de la hojarasca y el suelo. Esta energía puede provocar una evaporación más fácil y rápida del agua almacenada (Gerrits, 2010), lo que puede producir un mayor almacenamiento de agua entre los periodos de lluvia si la energía proveniente del sol es suficiente, ya que se puede evaporar más rápidamente el agua ya almacenada, permitiendo que después haya más espacio para almacenar la procedente de la siguiente precipitación.

De los factores comentados, las características de la trascolación a través del dosel son las más importantes cuantitativamente hablando (Gerrits, 2010), ya que estas características son las que limitan la entrada directa de agua al suelo, estando la demanda evaporativa y el almacenamiento de la hojarasca sometidos al control de la entrada de agua al sistema a través del dosel. Aunque la capacidad de almacenamiento (características principales de la vegetación) y la energía disponible, forman una restricción al flujo de evaporación para cada evento, el número de eventos es también un factor importante (Levia et al. 2011). La cantidad de almacenamiento de agua que se pueda llegar a producir en la hojarasca también es crucial para averiguar cual es la cantidad de agua que finalmente atraviesa el bosque y llega a penetrar en la geosfera, y debe ser estudiada para comprender la mecánica global del proceso.

El estudio a nivel del suelo en vez de a nivel de dosel se ha decidido porque, dentro de los estudios sobre intercepción, ya de por sí no muy abundantes (Klaassen et al. 1998), los que se dan a nivel del suelo del bosque han sido mucho menos numerosos que los del dosel (Guevara-Escobar et al. 2007) y, los pocos que hay, muestran su efecto sobre todo a largo plazo, como el de Gerrits et al. (2010).

2. OBJETIVOS

El objetivo general de este trabajo es avanzar en el conocimiento de los procesos que pueden afectar a la intercepción del agua a nivel del suelo del bosque, y en concreto a su almacenamiento en la hojarasca y horizonte orgánico del suelo, que junto con la demanda evaporativa es uno de los tres elementos fundamentales de dicha intercepción.

Los objetivos concretos son los siguientes:

1. Analizar el efecto del tipo de dosel, el grado de clareo, la pendiente del terreno y el LAI de un bosque en la cantidad de hojarasca y en el horizonte O del suelo.
2. Calcular la cantidad máxima de agua almacenada por estos sistemas y su capacidad de almacenamiento de agua, así como analizar el efecto que tienen los factores anteriores sobre estas variables.
3. Comparar la capacidad de almacenamiento de la hojarasca *versus* el horizonte O del suelo.
4. Calcular la capacidad máxima de almacenaje de agua del ecosistema forestal estudiado y lo que supondría con respecto a la precipitación media anual en el periodo de estudio.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

3.1. Área de estudio

El presente estudio se realizó en un pinar cuya superficie total es de 14,8 ha. Este pinar se encuentra cerca de la población de Aspuz, localidad al noreste de la Comunidad Foral de Navarra, en el sector oeste de la Cordillera Pirenaica (42° 42'31''N, 1° 8'40''W) y cuya área efectiva de estudio es 270 x 360 m. Este bosque está formado por una especie dominante, el *Pinus sylvestris*, acompañado en algunas zonas por la especie *Fagus sylvatica* (segunda especie en abundancia), aunque también se pueden encontrar algunos individuos de las especies *Quercus ilex* y *Quercus humilis*.

En este estudio a las zonas dominadas por *P. sylvestris* y *F. sylvatica* han sido denominadas como “Mixto”, mientras que a las zonas dominadas únicamente por *P. sylvestris* han sido denominadas como “Pinar”. En estas últimas zonas se han encontrado algunas hojas aisladas de *F. sylvatica* formando parte de la hojarasca debido principalmente al transporte que hayan podido sufrir antes de su deposición en el suelo.

Este pinar está formado por individuos de la misma edad, resultado de una corta en la zona que se llevo a cabo a mediados de los años 1960s, y tiene una densidad de pinos de 4040 árboles/ha, con una altura media de 12,8 metros, con una DBH (diámetro a la altura del pecho) media de 11,7 cm y un área basal media de 41,2 m²/ha. Las hayas, por su parte, tienen una densidad de 134 árboles/ha (de individuos de DBH mayor de 7,5 cm), lo que representa un 3,3% de la densidad del pino. La zona de estudio está a una altitud media de 625 metros sobre el nivel del mar y tienen una pendiente media del 7 %. La precipitación y la temperatura media son 912 mm y 12,0 °C respectivamente, con un clima mediterráneo frío según la clasificación de Papadakis (Blanco et al. 2006).

3.2. Diseño experimental de las parcelas

En 1999 el Servicio Forestal del Gobierno de Navarra instaló en el bosque de Aspuz nueve parcelas de investigación y control para aplicar diferentes tratamientos de clara y comprobar qué resultados se obtenían. Las parcelas son de 30 m x 40 m y, para evitar el efecto borde que pudiera darse en las zonas más exteriores de cada parcela, se aplicó el mismo tratamiento de clara en una zona de 5-10 m alrededor de las parcelas. Los tratamientos de clara se llevaron a cabo en el mismo año 1999 y consistían en tres grados de clara: 3 parcelas no sufrieron clara, otras 3 sufrieron claras del 20% (se extrajo un 20% del área basal, seleccionando para ser extraídos principalmente árboles no dominantes ni codominantes o árboles dominantes o codominantes con malformaciones en sus troncos), y otras 3 sufrieron claras del 30% (se extrajo un 30 % del área basal, seleccionando todos los árboles que no eran dominantes ni codominantes y algunos árboles intermedios, así como árboles dominantes y codominantes con malformaciones en el tronco). Los troncos y ramas de los árboles caídos fueron transportados a las zonas límite de cada parcela (Blanco et al. 2011). En el año 2009, y observando que las diferencias entre la clara del 20% y la del 30% no eran muy significativas, se optó por realizar una clara que llegara al 40% sobre aquellas parcelas que fueron sometidas a una clara del 30% en el año 1999.

3.3. Muestreo de campo

En este trabajo se ha tratado de cuantificar la capacidad de almacenaje de agua que tiene la hojarasca y de la capa de materia orgánica en descomposición del suelo de un bosque (horizonte O), y analizar el efecto que tiene el tipo de dosel (Mixto o Pinar) o el grado de clareo de la zona (0%, 20% y 40%) en dicha capacidad. Por ello, la recogida de muestras de hojarasca y suelo para este trabajo se ha producido a finales del mes de noviembre, momento en el que tanto el pino como el haya han tirado sus hojas, ya que el pino suele perderlas sobre todo en septiembre, y el haya acaba a mediados de noviembre.

Así, en cada una de las 9 parcelas mencionadas anteriormente se tomaron 32 muestras de forma aleatoria: 8 de hojarasca y 8 del horizonte O del suelo bajo dosel donde sólo había pino (mirando desde el lugar de recogida hacia arriba no encontramos ramas de otros árboles) y las mismas bajo dosel mixto (mirando desde el lugar de recogida hacia arriba había ramas de pino y haya). Así, en total se trataron en el laboratorio un total de 288 muestras.

El muestreo de hojarasca se realizó utilizando un cuadrado de 25 x 25 cm, donde se recogió toda la hojarasca y ramillas presentes, y la muestra del horizonte O del suelo se recogió en una superficie de 10 x 10 cm en el centro del cuadrado. Al mismo tiempo se midió la pendiente en el centro del cuadrado mediante un clinómetro y la profundidad del horizonte O del suelo junto con la hojarasca con una regla.

Las muestras fueron convenientemente guardadas en bolsas herméticas, etiquetadas y transportadas a la Universidad del País Vasco/Euskal Herriko Unibertsitatea, en Leioa, donde se procedió al análisis de las mismas.

Para los datos del LAI, se seleccionaron los datos recogidos en la zona en junio y julio del 2008, ya que las hojas de haya empiezan a salir hacia finales de abril, expandiéndose en la primer y segunda semanas de mayo, y por ello no se pudo hacer el muestreo. El sistema seleccionado para la toma de datos del LAI fue el de “Hemispherical canopy photography”, fotografías hemisféricas del dosel utilizando una lente de ojo de pez. Se tomaron 10 fotografías por parcela con dicha cámara, y a partir de los datos derivados de estas fotos se calculó el LAI, teniendo la precaución de apuntar en cada punto el tipo de dosel (pinar o mixto).

3.4. Tratamiento en el laboratorio

En las muestras de hojarasca, en el laboratorio y previamente al tratamiento a realizar, se separaron las ramas y ramillas de la hojarasca propiamente dicha. Una vez realizada esta separación todas las muestras, es decir, hojarasca, ramas y ramillas y materia orgánica siguieron el mismo tratamiento. Este tratamiento se describe a continuación: el material recolectado se colocó en bandejas de 25 x 25 cm que posteriormente se llenaron con agua hasta cubrir el material de estudio. La muestra se mantuvo sumergida durante 24 horas, con el fin de que ésta absorbiera toda el agua posible, procedimiento similar al empleado por Sato et al. (2004). Posteriormente, las muestras de hojarasca fueron escurridas con una malla de 1 mm de poro y las muestras de suelo en cuencos de plástico en los que se han realizado poros más reducidos en cuanto a diámetro y número, para eliminar el agua no absorbida por el material que pueda quedar entre éste y la

bandeja. A continuación se pesaron todas las muestras. Una vez obtenidos los pesos de cada muestra colmada de agua, se secaron en estufa a una temperatura de 60 ° C durante 4 días, periodo suficiente para que llegaran a un peso constante las muestras, y posteriormente se pesaron. Con este dato se calculó tanto la cantidad media de hojarasca como de suelo orgánico que había en cada tipo de parcela estudiado.

En este trabajo se ha medido capacidad de almacenamiento, y para ello el parámetro seleccionado es el que aparece en la literatura como Cmax, definido por Putuhena et al. (1996) como la máxima capacidad de almacenamiento de la hojarasca del suelo del bosque, y que es la cantidad de agua medida en la muestra inmediatamente antes de que cese la lluvia artificial, siendo los procedimientos de cálculo mejorados en Sato et al. (2004). El concepto de Cmax se contrapone al de Cmin, que aparece también en Putuhena et al. (1996) como la mínima capacidad de almacenamiento de la hojarasca del suelo del bosque, y que es la cantidad de agua medida en la muestra después de que el secado se haya acabado, siendo este agua eliminada sólo por evaporación. El parámetro Cmax, da una visión más aproximada a la realidad de cuánta cantidad de agua puede llegarse a retener por el sistema hojarasca-suelo orgánico y por tanto, puede ayudar a entender mejor la intercepción máxima posible del sistema, así como sus variaciones según se cambien otras variables en el sistema de estudio.

Siguiendo el procedimiento de Sato et al. (2004), se calculó la cantidad de agua retenida por cada muestra (diferencia entre el peso de la muestra tras haber estado sumergida 24 horas y el peso de la muestra seca). Una vez obtenida la cantidad de agua que se puede llegar a almacenar en cada muestra, y conociendo la superficie en la que han sido recogidas, se calculó la capacidad de almacenamiento máximo Cmax. El cálculo realizado es el siguiente:

$$\text{Masa}_{24\text{h}} (\text{g}) - \text{Masa}_{\text{seca}} (\text{g}) = \text{Masa}_{\text{agua retenida}} (\text{g})$$

$$\text{Masa}_{\text{agua retenida}} (\text{g}) / \text{Densidad}_{\text{agua retenida}}^{1*} (\text{g}/\text{cm}^3) = \text{Volumen}_{\text{agua retenida}} (\text{cm}^3)$$

$$\text{Volumen}_{\text{agua retenida}} (\text{cm}^3) \times 0,001 (\text{dm}^3/\text{cm}^3) = \text{Volumen}_{\text{agua retenida}} (\text{dm}^3 = \text{litro})$$

$$\text{Volumen}_{\text{agua retenida}} (\text{L}) / \text{Superficie}_{\text{recogida muestras}}^{2*} (\text{m}^2) = \text{Almacenamiento} (\text{L}/\text{m}^2 = \text{mm})$$

1* Se acepta que la densidad del agua que llega a la muestra es 1 g/cm³

2* El área de recogida de las muestras de hojarasca es 0,25 x 0,25 m, y la del horizonte O de 10 x 10 cm, como se ha comentado ya en un apartado anterior.

El cociente entre el peso de las muestras sumergidas en agua 24 horas y el peso de las muestras secas da la cantidad de veces que puede aumentar su peso la muestra seca cuando se sumerge, lo que supone otra manera de medir el almacenamiento máximo Cmax. Por otro lado, permite comparar la capacidad de almacenamiento de los tipos de hojarasca y suelo presentes.

Agua acumulada (mm) frente a precipitación media anual (mm)

Sabiendo las precipitaciones que hay en un periodo de tiempo determinado sobre el área de experimentación, se puede calcular el porcentaje de agua retenida sobre el total que ha caído en la zona. Para poder hacer una comparación que permita visualizar la importancia de la intercepción hay que hacer cuatro asunciones fundamentales:

-No toda el agua precipitada llega al suelo, parte es detenida por el dosel

-La distribución de las precipitaciones impide hacer un cálculo preciso si no hablamos de un estudio hora por hora, ya que el almacenamiento puede volver a ser operativo si hay tiempo suficiente entre lluvia y lluvia para que se vacíe la hojarasca o el horizonte orgánico del suelo. Por esto, en este caso, realizaremos una simplificación, asumiendo que durante cada medio mes, ha llovido al día la precipitación media diaria calculada para ese medio mes.

-Una vez que se rebasa la cantidad máxima de agua que puede retenerse, el agua circula por escorrentía o puede infiltrarse.

-Suponer que no hay cambios relevantes a lo largo del año en la capacidad de almacenamiento de hojarasca y suelo orgánico.

Los datos de precipitación han sido obtenidos de la estación meteorológica de Navascués, del Gobierno de Navarra, que se encuentra a unos 5 Km de las parcelas experimentales del bosque de Aspuz y que proporcionan información diaria (ANEXO 1).

Los cálculos del agua retenida por la intercepción se han hecho teniendo en cuenta la capacidad máxima de acumulación en mm de la hojarasca y el horizonte orgánico del suelo, tanto para pinar como para bosque mixto, y la cantidad de agua que ha precipitado en el periodo entre abril de 2012 y abril de 2013. Los cálculos se han realizado para pinar y bosque mixto por separado, para observar la diferente capacidad de intercepción entre ellos.

3.5. Análisis estadístico

La normalidad de los datos se ha analizado por medio del test de Kolmogorov-Smirnov. Los análisis posteriores que se han realizado han sido el análisis de la varianza (ANOVA) y el de la covarianza (ANCOVA) y los *post hoc* de Duncan y TUKEY, utilizando el programa IBM-SPSS STATISTICS.

4. RESULTADOS

Tras los tratamientos de las muestras que se han realizado en el laboratorio, se han obtenido los siguientes resultados, que para su mejor comprensión se han separado en resultados en hojarasca, en suelo orgánico, en ramas, comparación entre horizonte O y hojarasca y, por último, agua acumulada frente a precipitación media anual.

El LAI y la pendiente han sido analizados, sin embargo no se ha observado ningún efecto significativo en los diferentes tipos de muestras, por lo que no han sido incluidos en los distintos apartados.

4.1. Hojarasca

4.1.1. Cantidad de hojarasca acumulada

La cantidad de hojarasca acumulada (en peso seco) bajo los distintos doseles estudiados (pinar y mixto) fue significativamente diferente. Así, los doseles mixtos mostraron una acumulación de hojarasca significativamente mayor que los de pinar ($F_{1,18}= 47,92$, $P<0,001$) (Fig. 2.A). Sin embargo, esta cantidad no se vio afectada significativamente por el grado de clara ($F_{2,18}= 2,551$, $P=0,119$) (Fig.2.B) o la interacción de ambos factores ($F_{2,18}= 0,541$, $P = 0,596$).

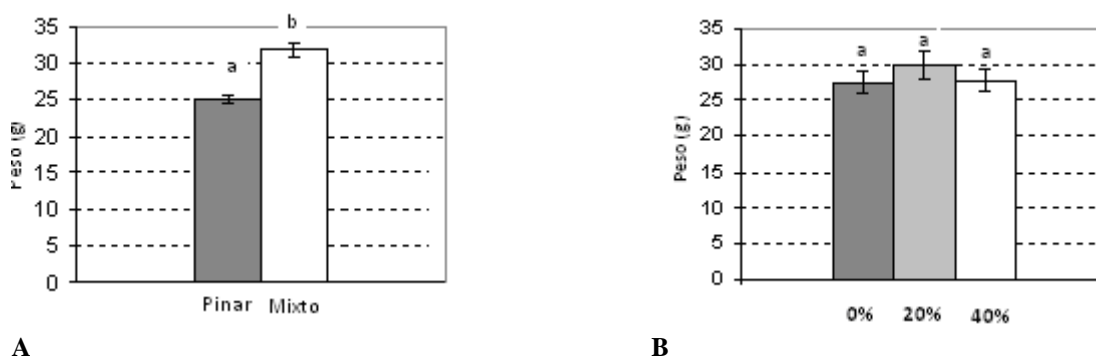


Figura 2. Peso de la hojarasca seca (Media \pm error estándar, ES) **A.** Según el tipo de dosel (pinar o mixto). **B.** Según el grado de clara (0%, 20% o 40%). Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P<0,05$).

4.1.2. Cantidad de agua almacenada en base al peso de la hojarasca mojada

La cantidad acumulada de agua en base al peso de la hojarasca mojada, depende de forma directa del peso seco de la muestra (cofactor) ($F_{1,18}= 22,47$, $P=0,001$), por lo que una vez eliminado esa influencia se ha observado que el tipo de dosel muestra un efecto significativo en la cantidad de agua almacenada por la hojarasca ($F_{1,18}=10,53$, $P=0,008$). Así, la hojarasca almacenada bajo un dosel mixto acumula mayor cantidad de agua que la hojarasca situada bajo un dosel formado solo por pino. Sin embargo, el grado de clara no muestra ningún efecto significativo sobre la cantidad de agua acumulada por la hojarasca ($F_{2,18}=0,23$, $P=0,796$) (Fig. 3.B), ni la interacción entre ambos factores ($F_{2,18}=1,951$, $P=0,188$).

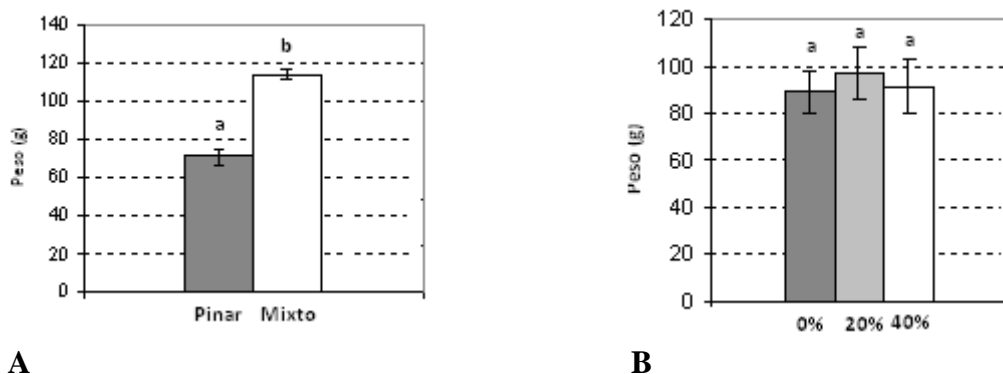


Figura 3. Peso de la hojarasca húmeda (Media \pm ES) **A.** Según el tipo de dosel (pinar o mixto). **B.** Según el grado de clara (0%, 20% o 40%). Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

4.1.3. Capacidad de almacenamiento de agua (Peso mojado/ Peso seco)

El tipo de dosel mostró un efecto significativo en la capacidad de almacenamiento de la hojarasca, ya que la hojarasca mixta tuvo una capacidad de almacenamiento significativamente mayor que las acículas de pino ($F_{1,18} = 85,44$, $P < 0,001$) (Fig. 4.A). En el caso del grado de clara ($F_{2,18} = 0,049$, $P = 0,952$) (Fig.4.B), y en el de la interacción de ambos factores ($F_{2,18} = 2,648$, $P = 0,111$), no se observó ningún efecto significativo.

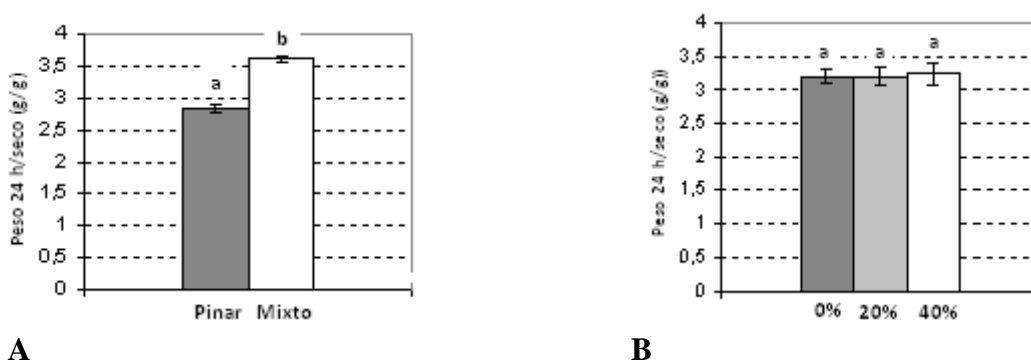


Figura 4. Capacidad de almacenamiento de agua de la hojarasca (Media \pm ES) **A.** Según el tipo de dosel (pinar o mixto). **B.** Según el grado de clara (0%, 20% o 40%). Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

4.2. Horizonte O del suelo

4.2.1. Cantidad acumulada del horizonte O

La cantidad de horizonte orgánico del suelo (HO) acumulado (en peso seco) bajo los distintos doseles estudiados (pinar y mixto) fue significativamente diferente. Así, el dosel mixto mostró una acumulación de HO significativamente mayor que el del pinar ($F_{1,18} = 13,030$, $P = 0,004$) (Fig. 5.A). Sin embargo, esta cantidad no se vio afectada significativamente ni por el grado de clara ($F_{2,18} = 0,534$, $P = 0,600$) (Fig.5.B) ni por la interacción de ambos factores ($F_{2,18} = 2,455$, $P = 0,128$).

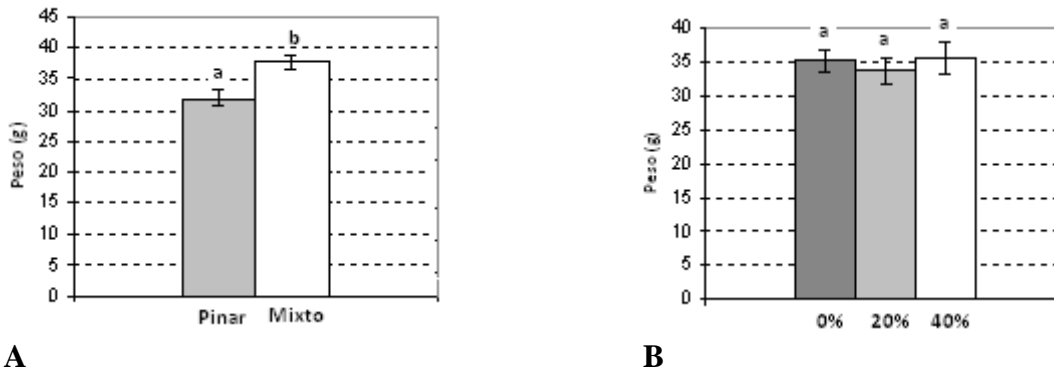


Figura 5. Peso del horizonte O del suelo (Media \pm ES) **A.** Según el tipo de dosel (pinar o mixto). **B.** Según el grado de clara (0%, 20% o 40%). Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

4.2.2. Cantidad de agua almacenada

La cantidad de agua acumulada por el HO del suelo depende de forma directa del peso seco de la muestra (cofactor) ($F_{1,18} = 13,666$, $P = 0,004$), al igual que ocurría en el caso de la hojarasca, por lo que una vez eliminado esa influencia se ha observado que tanto el tipo de dosel ($F_{1,18} = 10,916$, $P = 0,007$), (Fig. 6. A), como el grado de clara, muestran efectos significativos sobre la cantidad de agua acumulada ($F_{2,18} = 10,627$, $P = 0,003$) (Fig. 6B). Sin embargo, la interacción entre ambos factores no muestra efectos significativos ($F_{2,18} = 0,071$, $P = 0,932$).

Así, el HO situado bajo dosel mixto mostró una mayor cantidad de agua almacenada que el HO situado bajo dosel formado únicamente por pinos, al igual que ocurre con la hojarasca (Fig. 6. A). Entre los diferentes grados de clara, se vio que el HO en las parcelas no clareadas (0%) almacenó significativamente mayor cantidad de agua que el HO de las parcelas clareadas un 20% ($P = 0,008$) (Fig. 6. B). Mientras que la clara 0% con la de 40% ($P = 0,106$) y la clara del 20% con la del 40% ($P = 0,30$), mostraron cantidades similares.

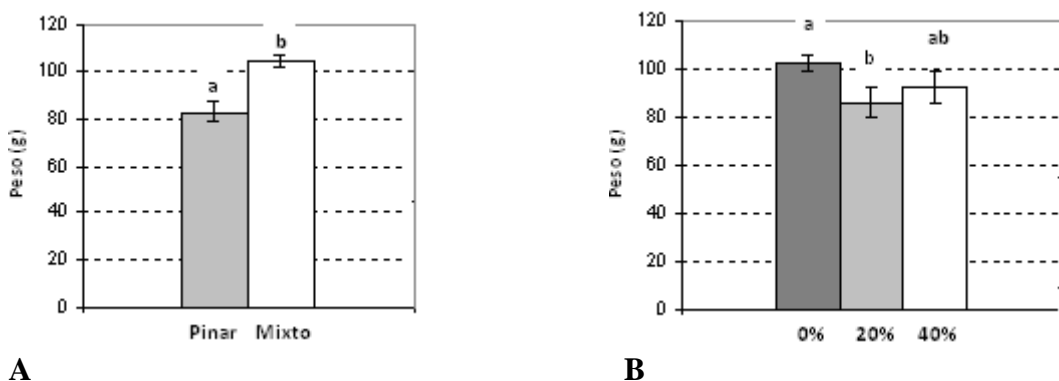


Figura 6. Peso del horizonte O del suelo húmedo (Media \pm ES) **A.** Según el tipo de dosel (pinar o mixto). **B.** Según el grado de clara (0%, 20% o 40%). Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

4.2.3. Capacidad de almacenamiento de agua (Peso mojado/ Peso seco)

El origen del tipo de hojarasca, es decir el tipo de dosel, tiene un efecto significativo en la capacidad de almacenamiento del HO, ya que esta relación en las muestras del dosel mixto fue superior a la del pinar ($F_{1,18} = 4,373$, $P = 0,058$) (Fig. 7.A).

El grado de clara también mostró un efecto significativo ($F_{2,18} = 0,071$, $P = 0,932$), siendo la capacidad de almacenamiento de agua del HO significativamente mayor en las parcelas control que en las sometidas a algún grado de clara ($P_{0-20\%} = 0,004$, $P_{0-40\%} = 0,008$). Sin embargo, entre los grados de clara no se observaron diferencias significativas ($P_{20-40\%} = 0,70$) (Fig. 7.B). La interacción entre ambos factores no mostró efectos significativos ($F_{2,18} = 0,071$, $P = 0,932$).

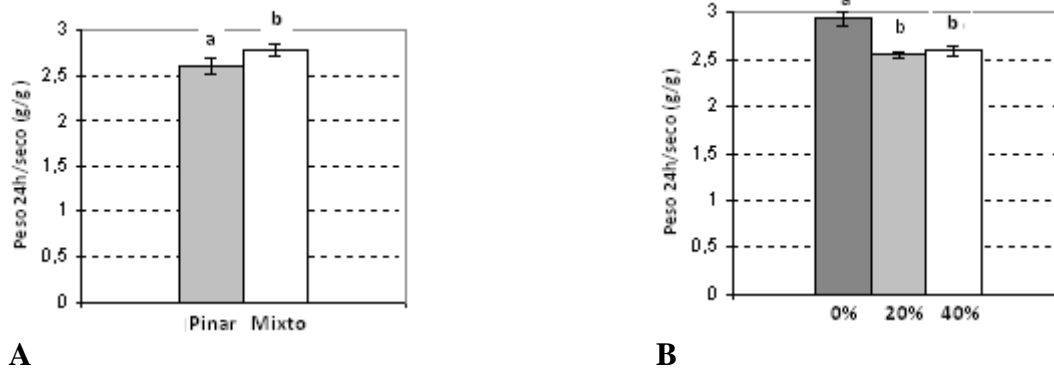


Figura 7. Capacidad de almacenamiento de agua del horizonte O del suelo húmedo (Media \pm ES) **A.** Según el tipo de dosel (pinar o mixto). **B.** Según el grado de clara (0%, 20% o 40%). Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P < 0,05$).

4.3. Ramas presentes en la hojarasca

4.3.1. Acumulación de ramas

La cantidad de ramas acumuladas (en peso seco) bajo los distintos doseles estudiados (pinar y mixto), así como bajo las distintas claras realizadas no mostró diferencias significativas ($F_{1,18} = 0,743$, $P = 0,406$ y $F_{2,18} = 0,769$, $P = 0,485$, respectivamente) (Fig.8).

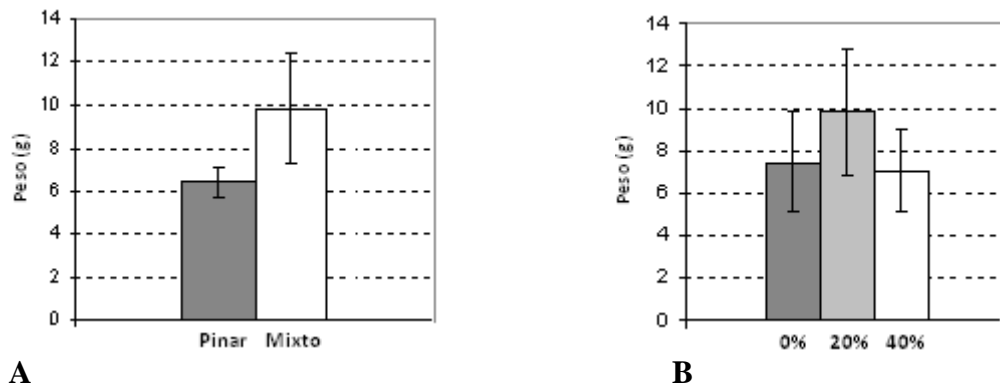


Figura 8. Peso de las ramas (Media \pm ES) **A.** Según tipo de dosel (pinar o mixto). **B.** Según grado de clara (0%, 20% y 40%).

4.3.2. Cantidad de agua almacenada

A diferencia de los casos anteriores, la cantidad de agua almacenada en las ramas presentes en la hojarasca no mostró ningún efecto ni por el tipo de dosel ($F_{1,18}= 3,887$, $P=0,074$), ni por el grado de clara aplicado al bosque ($F_{2,18}= 0,010$, $P=0,99$) (Fig.9).

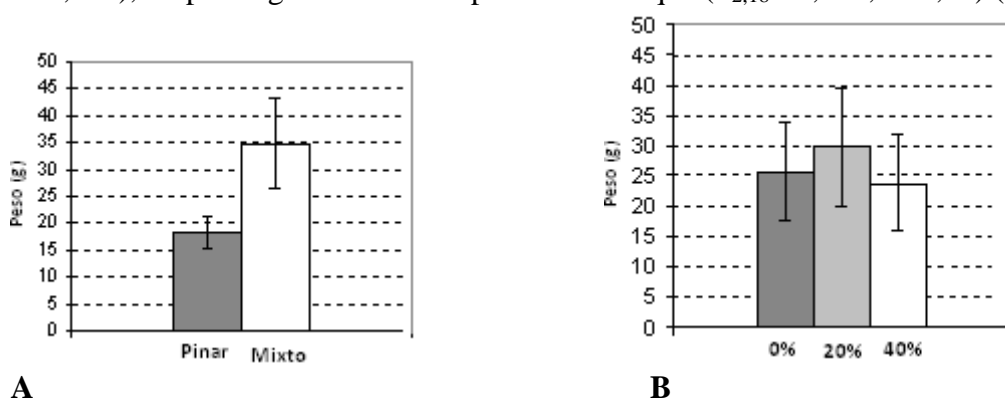


Figura 9. Peso de las ramas húmedas presentes en la hojarasca (Media \pm ES) **A.** Según tipo de dosel (pinar o mixto). **B.** Según el grado de clara (0%, 20% y 40%).

4.4. Comparaciones Horizonte O-hojarasca

4.4.1. Cantidad acumulada

Si comparamos la cantidad de hojarasca y HO por unidad de superficie en los distintos tipos de parcelas estudiados observamos que la acumulación de HO fue significativamente mayor que la de la hojarasca, tanto dependiendo del tipo de dosel ($F_{1,36}=13,13$, $P=0,001$) como del grado de clara ($F_{2,36}=7,75$, $P=0,003$).

Así, el peso del HO en el bosque mixto fue el mayor seguido del peso del HO del pinar, de la hojarasca del mixto y siendo la cantidad de la hojarasca del pinar la menor (Tabla 1). Del mismo modo, al considerar el grado de clara, el HO fue siempre mayor que la cantidad de hojarasca, no habiendo diferencias a nivel de clara en la hojarasca y si a nivel del HO (Tabla 2).

	Pinar	Mixto
Hojarasca (g/m²)	1135 \pm 23,58 ^a	1831,85 \pm 43,24 ^b
Capa HO (g/m²)	8277 \pm 284,04 ^c	10449 \pm 198,68 ^d

Tabla 1. Peso medio por unidad de superficie de las muestras de hojarasca y del HO (Media \pm ES) según el tipo de dosel (pinar o mixto). Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P<0,05$).

	Clara 0%	Clara 20%	Clara 40%
Hojarasca (g/m²)	1428 \pm 79,27 ^c	1556 \pm 100,14 ^c	1465 \pm 106,16 ^c
Capa HO (g/m²)	10234 \pm 193,91 ^a	8607 \pm 355,33 ^b	9248 \pm 418,20 ^b

Tabla 2. Peso por unidad de superficie de las muestras de hojarasca y del HO (Media \pm ES) según el grado de clara. Las letras minúsculas distintas implican que la diferencia es significativa ($P<0,05$).

4.4.2. Capacidad de almacenar agua (relación peso húmedo / peso seco)

La comparación muestra como esta capacidad de almacenar agua fue significativamente mayor en la hojarasca que en el HO ($F_{1,36}=76,229$, $P<0,001$) tanto a nivel de tipo de dosel ($F_{1,36}=24,31$, $P<0,0001$) como de nivel de clara ($F_{2,36}=4,19$, $P<0,05$) (Tabla 3 y 4). En relación al tipo de dosel se puede ver como la hojarasca mixta tuvo significativamente una mayor capacidad de almacenar agua que la del pinar, como se ha visto anteriormente. Sin embargo, la capacidad de estas acículas era similar a la del HO del bosque mixto y a su vez ésta era significativamente mayor que la HO del pinar (Tabla 3).

Capacidad de retención	Pinar	Mixto
Hojarasca (g/g)	2,82±0,065 ^a	3,60±0,059 ^b
Capa HO (g/g)	2,60±0,077 ^c	2,78±0,085 ^a

Tabla 3. Capacidad de almacenar agua (Media ± ES) de las muestras de hojarasca y del HO según el tipo de dosel (pinar o mixto). Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P<0,05$)

Al considerar el grado de clara se vio como esta capacidad fue siempre mayor en la hojarasca no siendo afectada por el grado de clara, no ocurriendo lo mismo en el HO donde la capacidad máxima fue en la no aclarada (Tabla 4).

Grado de clara	Hojarasca	Capa HO
Clara 0%	3,21±0,11 ^a	2,92±0,08 ^b
Clara 20%	3,21±0,12 ^a	2,55±0,03 ^c
Clara 40%	3,23±0,17 ^a	2,59±0,05 ^c

Tabla 4. Capacidad de almacenar agua (± ES) de las muestras de hojarasca y del HO según el grado de clara. Las letras distintas implican que la diferencia es significativa ($P<0,05$)

4.5 Agua acumulada (mm) frente a precipitación media anual (mm)

El agua que ha precipitado en el periodo entre el 1 de abril de 2012 y el 31 de marzo de 2013 ha sido 1437,9 mm (Gobierno de Navarra), lo que quiere decir, de acuerdo con la media de precipitación en la zona proporcionada por Blanco et al. (2006) (912 mm), que este año ha sido muy húmedo, estando la precipitación un 57% por encima de la media. Con estos datos resulta interesante comparar la cantidad de precipitación que retendría sólo *P. sylvestris* y la que se retendría en un bosque mixto, donde también haya abundante presencia de *F. sylvatica*.

Como no se dispone de datos de intercepción del dosel se ha tomado como valores de intercepción por el dosel de *P. sylvestris* el valor de 1,65 mm (valor medio de capacidad máxima de almacenamiento del intervalo proporcionado por Llorens y Gallart (2000) y de la masa mixta (1,72mm) (media entre la intercepción de *P. sylvestris* y los datos para *F. sylvatica* de 1,8 mm de Sato et al. (2004)). Por otro lado, se supone que hasta que no se supera la capacidad de intercepción por parte del dosel, no empieza a interceptarse agua por el suelo, y que aunque la intercepción junto con la del suelo sea pequeña cada

día puede vaciarse el almacén de agua si hay suficiente tiempo entre precipitaciones y la temperatura y viento son adecuadas, con lo que la intercepción puede ser muy superior.

Así, se pueden superponer la cantidad de agua precipitada cada medio mes en Navascués y la capacidad máxima de almacenamiento del sistema dosel-hojarasca-HO de la masa monoespecífica de *P. sylvestris* y la mixta *F. sylvatica* (Fig. 12), siendo la intercepción media:

$$\text{Intercepción} = \text{Intercepción}_{\text{dosel}} + \text{Intercepción}_{\text{hojarasca}} + \text{Intercepción}_{\text{HO}}$$

$$\text{Intercepción}_{\text{pino}} = 1,65 \text{ mm} + 0,74\text{mm} + 5,09\text{mm} = 7,48 \text{ mm}$$

$$\text{Intercepción}_{\text{mixto}} = 1,8 \text{ mm} + 1,32 \text{ mm} + 6,67\text{mm} = 9,79 \text{ mm}$$

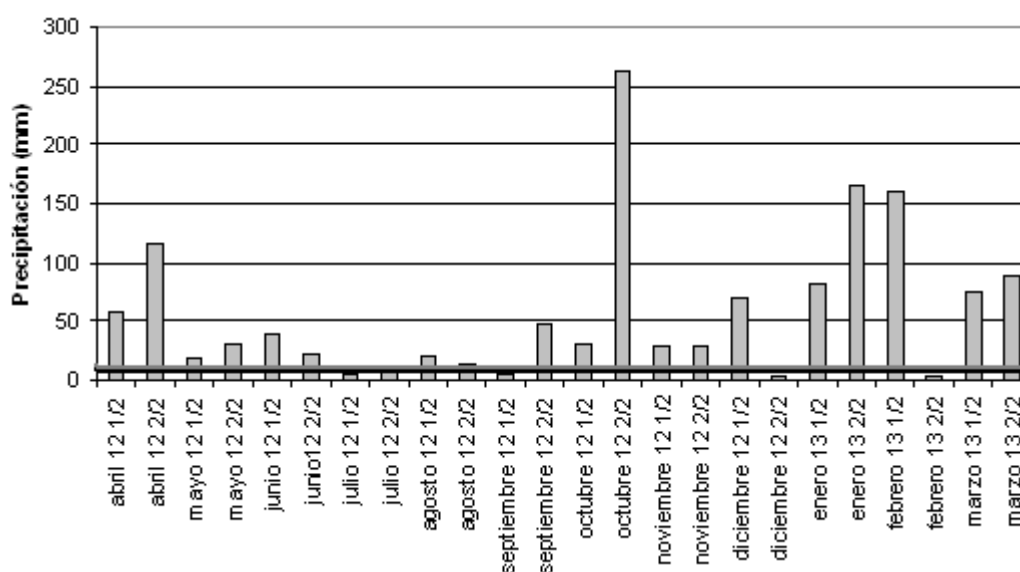


Figura 12. Cantidad de agua precipitada cada medio mes, en Navascués. La línea gris indica la cantidad de precipitación que puede interceptar el dosel, la hojarasca y el HO del bosque mixto (9,79 mm). La línea negra indica la cantidad de precipitación que puede interceptar el dosel, la hojarasca y el HO del pinar (7,48 mm).

Si simplificamos la complejidad de la distribución de las precipitaciones podemos obtener un valor medio de agua precipitada al día cada medio mes (asumiendo que durante cada medio mes, ha llovido al día la precipitación media calculada para ese medio mes) (Fig.13), donde se puede observar mejor las diferencias entre pinar y bosque mixto. Viendo este gráfico parece que la masa podría interceptar prácticamente toda la precipitación, ya que sólo en la media diaria de la segunda quincena de octubre de 2012 y la de enero de 2013, así como la primera de febrero de 2013, se supera la cantidad de agua que puede interceptarse por los dos tipos de bosque.

Comparando pinar y bosque mixto observamos que en el conjunto del sistema de intercepción, el bosque mixto consigue retener más agua que el pinar, si bien sólo en la segunda quincena de abril esa diferencia pasaría a ser apreciable si tomamos como referencia esta precipitación media cada medio mes. Si en vez de esto se toma la precipitación que se ha producido día a día en una quincena, como la primera de octubre de 2012 y ampliamos la escala (Fig. 14), se observan las diferencias con más detalle.

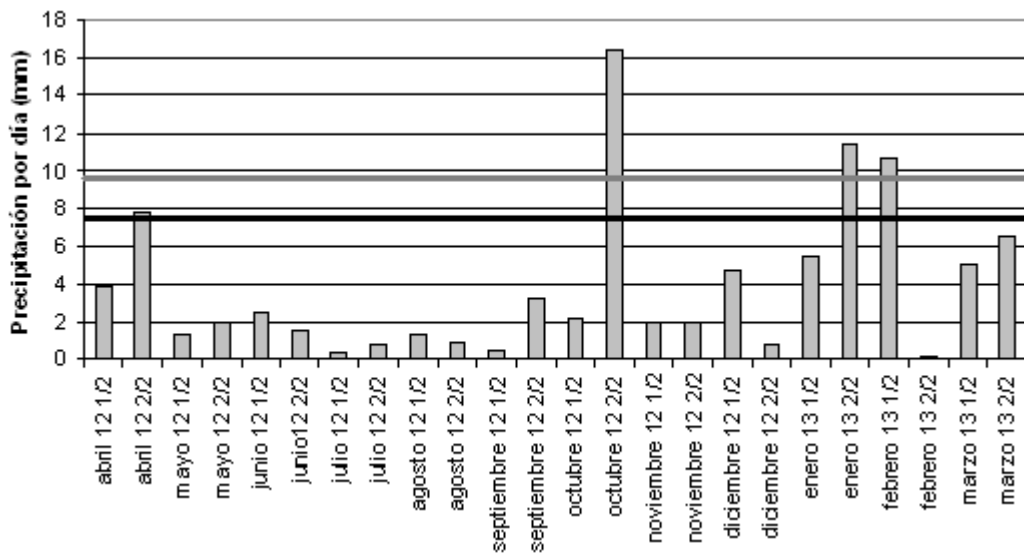


Figura 13. Cantidad de agua precipitada de media por día, cada medio mes, en Navascués. La línea gruesa gris indica la cantidad de precipitación que puede interceptar el dosel, la hojarasca y el HO del bosque mixto (9,79 mm). La línea gruesa negra indica la cantidad de precipitación que puede interceptar el dosel, la hojarasca y el HO del pinar (7,48 mm).

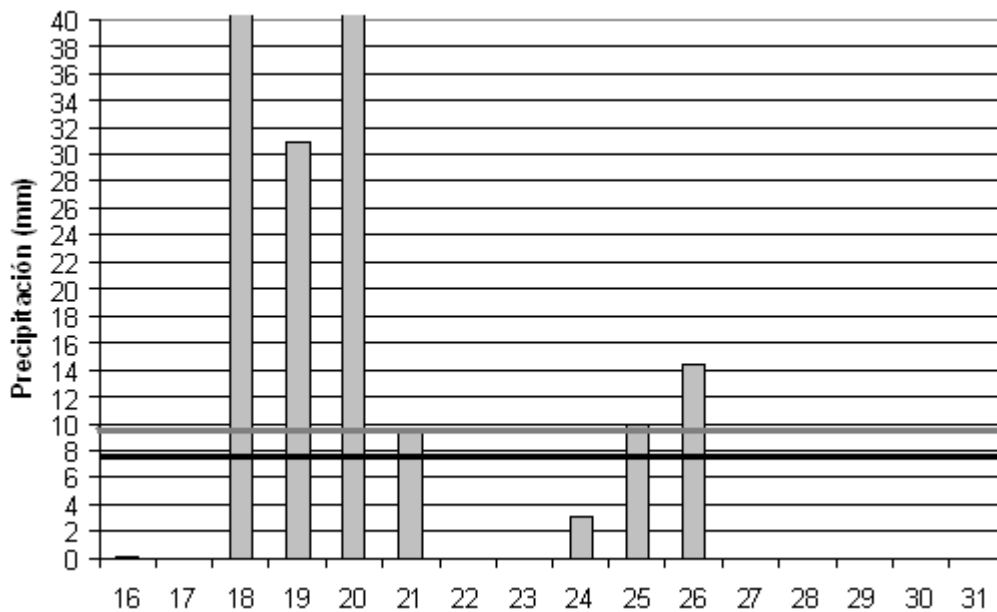


Figura 14. Cantidad de agua precipitada por día en la segunda quincena de octubre, en Navascués. La línea gruesa gris indica la cantidad de precipitación que pueden interceptar dosel mixto, hojarasca y HO juntos (9,79 mm). La línea gruesa negra indica la cantidad de precipitación que puede interceptar dosel, hojarasca y HO de pinar juntos (7,48 mm).

Se observa que el día 21 (precipitación de 9,3 mm), si hubiera sido un bosque de pinar, casi 2 mm de precipitación no habrían podido ser interceptados y habrían fluido por escorrentía o se habrían infiltrado a capas inferiores, mientras que en el bosque mixto se hubiera interceptado la totalidad. Así mismo, el día 25 (precipitación de 9,9 mm), en el pinar no se hubieran interceptado más de 2 mm de agua mientras que en un bosque mixto apenas 0,1 mm. En los otros 3 días que superan ambas capacidades de interceptación, la cantidad de agua que no se interceptaría por el bosque es de 2,51 mm más si el bosque es pinar que si es mixto.

Por otro lado, dentro de un mismo día, puede haber suficientes horas entre precipitación y precipitación para que pueda vaciarse el agua de cualquiera de estos tres y pueda almacenar más agua de la que está calculada. Por tanto, podemos comprobar que el estudio de intercepción debe realizarse con sumo detalle, ya que, aún sabiendo la capacidad máxima de almacenamiento de hojarasca y suelo e incluyéndolo en los modelos, hay que tener en cuenta cada cuanto tiempo puede llenarse y vaciarse cada almacén y cómo suceden las precipitaciones para poder tener una información completa que permita prever como va a comportarse el ecosistema con cambios en su manejo o en el clima y los riesgos para el ser humano.

5. DISCUSIÓN

En este estudio se ha observado que el principal factor que afecta a la acumulación de hojarasca y HO, así como a la capacidad de estos sistemas de acumular agua, es el tipo de dosel que existe sobre ellos. Los doseles mixtos permiten una mayor acumulación de hojarasca y HO debajo de ellos y permiten además que estos sistemas acumulen una mayor cantidad de agua. Esto último se debe a que una mayor acumulación de hojarasca permite que la C_{max} sea superior (Sato et al., 2004). Por otro lado, la presencia de las hojas de haya es la que permite acumular una mayor cantidad de agua en la hojarasca debido a que poseen cutículas menos reacias a asimilar el agua (hidrófilas o menos hidrófobas), poseen una mayor área foliar y una mayor relación superficie/volumen (Holder, 2007). De hecho, diferentes autores han encontrado valores de almacenamiento de agua por parte de la hojarasca de *Fagus sylvatica* similares a los obtenidos en este trabajo. Así, Walsh y Voigt (1977) calcularon que la hojarasca de esta especie podía almacenar entre 0,9 y 2,8 mm de agua, Gerrits (2010) obtuvo valores de 1,8 mm durante gran parte del año, y Sato et al. (2004) estudió la hojarasca de *Lithocarpus edulis*, especie de la familia *Fagaceae*, la misma familia a la que pertenece *F. sylvatica* y encontró valores de almacenamiento de agua por parte de su hojarasca de 1,56 mm. Todos estos datos son algo superiores a los obtenidos en este trabajo para la hojarasca mixta, valores medios de 1,32 mm, debido a que en la hojarasca mixta también se encuentran acículas de pino que no son capaces de acumular igual cantidad de agua que las hojas de haya. De hecho, Sancho (2013) estudiando la capacidad máxima de las dos especies estudiadas determinó que la hojarasca de *F. sylvatica* de la zona de estudio, acumulaba como media 2,9 mm ($\pm 0,06$) frente a 1,87mm ($\pm 0,08$) de *P. sylvestris*. En el caso de la hojarasca formada únicamente por acículas de *P. sylvestris*, también se han encontrado valores similares a los obtenidos en este estudio. En el estudio realizado por Walsh y Voigt (1977) encontraron valores de almacenamiento de agua por parte de la hojarasca de 0,6-1,7 mm, rango en el que entra el dato obtenido en este estudio que es de 0,74 mm. Otro estudio relacionado con la familia *Pinaceae* es el realizado por Gerrits (2010) en el que encontró valores de almacenamiento de agua para la hojarasca de especies del género *Cedrus* de 1 mm ($\pm 0,3$), valores también muy similares a los obtenidos en este estudio.

Respecto al grado de clara parece que no afecta ni a la acumulación de hojarasca ni a su capacidad de almacenamiento de agua. De hecho, otros autores (Blanco et al., 2006) ya habían demostrado que la producción de hojarasca no depende de las claras. Esto puede ser explicado por la Ley de Yoda, que aplicada a esta situación enunciaría que no importa el número de individuos (grado de clareo), ya que se tiende a producir en un lugar la misma cantidad de hojarasca si se mantienen las condiciones, ya sea mayor cantidad de necromasa producida por menos individuos (mayor grado de clareo) o menor cantidad de necromasa producida por más individuos (menor grado de clareo).

Por otro lado, la acumulación del horizonte O del suelo también dependió del tipo de dosel, siendo mayor bajo doseles mixtos, sin embargo, la capacidad de almacenar agua si se vio afectada por el grado de clara. La mayor acumulación del horizonte O en el dosel mixto es fácil de entender por la mayor acumulación de hojarasca también en estos sistemas que permite una transformación en horizonte O pero que a la vez puede favorecer que el proceso de descomposición de la materia orgánica sea más lento. Sin embargo, la menor capacidad de almacenar en zonas entresacadas por parte del horizonte O posiblemente sea debido a una mayor mezcla de la muestra con suelo

mineral que haya podido llevar a pesos similares pero a capacidad de almacenar agua menor, teniendo en cuenta que el horizonte O del suelo es el más superficial y frágil de los horizontes del suelo. Por otro lado, la perturbación del clareo ha podido llevar a un cambio en la comunidad descomponedora (Siira-Pietikäinen 2001), que haya podido cambiar las propiedades fisicoquímicas del horizonte O, y, por tanto, su capacidad de almacenar agua. Estos datos requieren de un estudio más profundo de la estructura tanto del suelo como de la hojarasca, con el fin de hallar qué es lo que cambia en las parcelas clareadas respecto a las que no lo están, que haga variar la capacidad de almacenar agua por parte del horizonte O del suelo. Este fenómeno puede ser la compactación (Trimble y Mendel, 1995), que en este caso ha sufrido el suelo al realizar los trabajos de clara.

A pesar de que los datos tanto de acumulación de hojarasca y horizonte O y su almacenamiento de agua de este estudio son similares a los obtenidos en otros artículos, hay que decir que el valor de almacenamiento de agua por un sistema sólo es válido para las condiciones concretas del experimento que se haya realizado, como ya han comentado anteriormente otros autores como Llorens y Gallart (2000), Sato et al. (2004) y Putuhena et al. (1996). La edad del bosque puede influir sobre el almacenamiento de agua en el mismo, ya que los bosques jóvenes (de alrededor de 25 años) tienen una capacidad de almacenar agua mucho menor que los bosques más antiguos (de alrededor de 450 años) (Pypker et al. 2005). También puede verse influenciada por la estacionalidad anual, ya que una capa de hojarasca más gruesa puede almacenar más agua (Guevara-Escobar et al. 2007) y el grosor de la capa de hojarasca se incrementa en otoño debido a la caída de las hojas (Leiva et al. 2011), capa que a lo largo del año se va haciendo más delgada por descomposición (Gerrits 2010).

Por otro lado, la capacidad mayor de acumulación de agua de la hojarasca frente al horizonte O es interesante ya que una de las funciones que se ha observado para la hojarasca en los ecosistemas forestales es la de almacenaje de agua (Tobon-Martin 1999), mientras que el horizonte O sería una zona de paso del agua en su camino hacia el suelo propiamente mineral, aunque si bien ayuda a frenar la velocidad de dichos flujos (Ward et al. 2000). Mientras que la hojarasca puede retener más fácilmente el agua al rellenar los armazones celulares que quedan de su estructura originaria, formados por elementos recalcitrantes del suelo como celulosa, hemicelulosa, taninos y lignina (Arellano et al. 2004), en el horizonte O del suelo el agua acaba circulando si no es retenida por capilaridad (Tobon-Martin 1999), por lo tanto, al pesar las muestras de horizonte O tras escurrirlo, gran parte del agua se pierde (como sucede mediante el drenaje en campo), con lo que la capacidad de retener agua acaba siendo menor que la de la hojarasca. Aún así, al haber mayor masa de horizonte O que de hojarasca, la cantidad de agua total absorbida es mayor en el horizonte O que en la hojarasca.

6. CONCLUSIONES

- El único factor que influyó tanto en la acumulación de hojarasca del suelo como del horizonte O del suelo fue el tipo de dosel arbóreo.
- La presencia de la hojarasca de *F. sylvatica* en el pinar aumentó su capacidad de acumular agua ya que la hojarasca mezclada con esta especie mostró una mayor capacidad de almacenamiento.
- El horizonte O del suelo bajo dosel mixto fue mayor que en el pinar, sin embargo, el grado de clareo tuvo un efecto negativo al disminuir su cantidad y así la capacidad de almacenamiento de agua, posiblemente debido a la perturbación del suelo.
- En general, aunque la capacidad de almacenar agua por la hojarasca fue mayor que la del horizonte O del suelo, la mayor cantidad presente del segundo hizo que tuviera un papel más importante a la hora de la intercepción de agua.
- La capacidad del sistema de interceptar el agua transcolada fue suficiente en el periodo estudiado para que no hubiera escorrentía salvo en momentos puntuales de precipitaciones especialmente intensas.

7. BIBLIOGRAFÍA

Arellano, R., J. Paolini, L. Vásquez, E. Mora. 2004. Producción y descomposición de hojarasca en tres agroecosistemas de café en el estado de Trujillo, Venezuela. *Rev. Forest. Venez.* 48: 7-14.

Blanco, J.A., Imbert, J. B., Castillo, F.J.(2006). Influence of site characteristics and thinning intensity on litterfall production in two *Pinus sylvestris* L. forests in the western Pyrenees. *Forest Ecology and Management* 237: 342–352.

Blanco, J.A., Imbert, J. B., Castillo, F.J.(2011). Thinning affects *Pinus sylvestris* needle decomposition rates and chemistry differently depending on site conditions. *Biogeochemistry*, 106: 397-414.

Bulcock, H.H. y Jewitt G.P.W. (2012a): Field data collection and analysis of canopy and litter interception in commercial forest plantations in the KwaZulu-Natal Midlands, South Africa. *Hidrology and Earth Systems Science Discussions*, 16: 3717–3728.

Bulcock, H.H. y Jewitt G.P.W. (2012b): Modelling canopy and litter interception in commercial forestplantations in South Africa using the Variable Storage Gash model and idealised drying curves *Hidrology and Earth Systems Science Discussions*, 16: 4693–4705.

Coenders-Gerrits, A.M.J., Hopp, L., Savenije, H.H.G., Pfister, L. (2013). The effect of spatial throughfall patterns on soil moisture patterns at the hillslope scale. *Hidrology and Earth Systems Science Discussions*, 17: 1749–1763.

De Groen, M.M. y Savenije, H.H.G. (2006). A monthly interception equation based on the statistical characteristics of daily rainfall. *Water Resources Research* 42: 1-10.

Gash, J.H.C. (1979) An analytical model of rainfall interception by forests. *Quart J R Meteorol Soc* 105:43–55.

Gerrits, M. (2010). The role of interception in the hydrological cycle. Tesis doctoral dirigida por H.H.G. Savenije.

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, *Hydrological Processes*, 24: 3011–3025.

Gobierno de Navarra: Estación de Navascués (navarra.es)

Gonzalez, M.J., Merino Sánchez, A., Edeso Fito, J.M., Marauri, P (1995) Modificaciones en las características de los suelos de la vertiente cantábrica del País Vasco producidas por prácticas forestales. *Lurralde. Investigación y espacio*, 18: 293-300.

Guevara-Escobar, A., Edwards, W. R. N., Morton, R. H., Kemp, P. D., and Mackay, A. D. (2000). Tree water use and rainfall partitioning in a mature poplar-pasture system, *Tree Physiology*, 20: 97–106.

Guevara-Escobar, A., Gonzalez Sosa, E., Ramos-Salinas, M, Hernández-Delgado, G.D. (2007). Experimental analysis of drainage and water storage of litter layers. *Hidrology and Earth Systems Science Discussions*, 4: 1767–1794.

Holder, C.D. (2007). Leaf water repellency of species in Guatemala and Colorado (USA) and its significance to forest hydrology studies. *Journal of Hidrology*. Volume 336, Issues 1–2, 30: 147–154.

Jonckheere, I., Fleck, S., Nackaerts, K., Muys, B., Coppin, P., Weiss, M., Baret, F. (2004). *Agricultural and Forest Meteorology* 121:19–35.

Klaasens, W., Bosveld, F., and deWater, E. (1998). Water storage and evaporation constituents of rainfall interception. *Journal of Hydrology*, 212–213, 36–50.

Levia, Delphis F.; Carlyle-Moses, Darryl; Tanaka, Tadashi (2011). *Forest Hydrology and Biogeochemistry: Synthesis of Past Research and Future Directions*. *Ecological Studies*, Vol. 216. Cap. 18. Pág. 371; Cap.20. Págs. 407-415; Cap. 21. Pág. 426; Cap. 22. 443-450.

Liu, S. (1998). Estimation of rainfall storage capacity in the canopies of cypress wetlands and slash pine uplands in North-Central Florida. *Journal of Hydrology* 207: 32-41.

Llorens, P., Gallart, F. (2000). A simplified method for forest water storage capacity measurement. *Journal of Hydrology* 240: 131-144.

Martínez Alfaro, Pedro Emilio.; Martínez Santos, Pedro; Castaño Castaño, Silvino (2006). *Fundamentos de hidrogeología*. Ediciones Mundi-Prensa Cap. 1. Págs, 17-23.

Putuhena, W. M., Cordey, I. (1996). Estimation of interception capacity of the forest floor. *Journal of Hydrology* 180: 283-299.

Pypker, T.G., Bond, B.J., Link, T. E., Marks, D., Unsworth, M.H. (2005). The importance of canopy structure in controlling the interception loss of rainfall: Examples from a young and an old-growth Douglas-fir forest. *Agricultural and Forest Meteorology* 130: 113–129.

Sancho, G. (2013). *Análisis de la capacidad de acumulación de agua de diferentes especies de hojarasca en relación con la interceptación arbórea*. Proyecto de Fin de Grado. UPV/EHU.

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

Siira-Pietikäinen, A., Pietikäinen, J., Fritze, H., Haimi, J. (2001) Short-term responses of soil decomposer communities to forest management: clear felling versus alternative forest harvesting methods. *Canadian Journal of Forest Research*, 31(1): 88-99

Tobon-Martin, C. (1999). Monitoring and modelling hydrological fluxes in support of nutrient cycling studies in Amazonian rain forest ecosystems. Universidad de Amsterdam.

Trimble, S. W., Mendel, A. C. (1995). The cow as a geomorphic agent – A critical review. *Geo*. 13: 233 – 253 pp.

Tsiko, C. T., Makurira, H., Gerrits, A.M.J., Savenije H.H.G. (2012). Measuring forest floor and canopy interception in a savannah ecosystem. *Physics and Chemistry of the Earth* 47–48, 122–127.

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 coverwater yield debate: commentary on Ellison et al. (2012) *Global Change Biology*, 18, 806–820. *Global Change Biology* 18, 2677–2680

Walsh, R.P.D. y Voigt P.J. (1977) Vegetation litter an underestimated variable in hydrology and geomorphology. *Journal of Biogeography* 4: 253-274.

Ward R.C. y Robinson M . (2000). *Inteception En: Principles of hidrology*. Fourth edition. McGraw Hill. London. 63-90.

ANEXO 1. Datos sobre la precipitación en Navascués entre el 1/04/12 y el 31/03/13

Fecha	Precipitación acumulada l/m²	Fecha	Precipitación acumulada l/m²	Fecha	Precipitación acumulada l/m²
01/04/2012	0.0	19/05/2012	19.5	06/07/2012	0.0
02/04/2012	3.4	20/05/2012	3.2	07/07/2012	4.0
03/04/2012	0.0	21/05/2012	0.9	08/07/2012	0.0
04/04/2012	6.0	22/05/2012	1.7	09/07/2012	0.0
05/04/2012	6.0	23/05/2012	0.0	10/07/2012	0.0
06/04/2012	17.2	24/05/2012	0.0	11/07/2012	0.0
07/04/2012	2.5	25/05/2012	0.0	12/07/2012	0.0
08/04/2012	0.1	26/05/2012	0.0	13/07/2012	0.0
09/04/2012	2.8	27/05/2012	0.0	14/07/2012	0.0
10/04/2012	5.2	28/05/2012	0.0	15/07/2012	0.0
11/04/2012	0.3	29/05/2012	0.0	16/07/2012	0.0
12/04/2012	0.4	30/05/2012	0.0	17/07/2012	0.0
13/04/2012	3.5	31/05/2012	0.0	18/07/2012	0.0
14/04/2012	4.0	01/06/2012	0.0	19/07/2012	0.0
15/04/2012	6.5	02/06/2012	24.6	20/07/2012	0.0
16/04/2012	0.0	03/06/2012	0.0	21/07/2012	0.0
17/04/2012	3.3	04/06/2012	0.0	22/07/2012	0.0
18/04/2012	22.5	05/06/2012	0.0	23/07/2012	0.0
19/04/2012	5.0	06/06/2012	0.0	24/07/2012	0.0
20/04/2012	1.1	07/06/2012	1.0	25/07/2012	0.0
21/04/2012	12.0	08/06/2012	0.0	26/07/2012	2.9
22/04/2012	0.0	09/06/2012	0.0	27/07/2012	10.1
23/04/2012	7.0	10/06/2012	5.0	28/07/2012	0.0
24/04/2012	0.6	11/06/2012	4.8	29/07/2012	0.0
25/04/2012	2.8	12/06/2012	3.0	30/07/2012	0.0
26/04/2012	0.0	13/06/2012	0.0	31/07/2012	0.0
27/04/2012	9.0	14/06/2012	0.0	01/08/2012	0.0
28/04/2012	25.5	15/06/2012	0.0	02/08/2012	0.0
29/04/2012	17.6	16/06/2012	0.0	03/08/2012	0.0
30/04/2012	9.4	17/06/2012	0.0	04/08/2012	10.3
01/05/2012	0.0	18/06/2012	20.7	05/08/2012	9.7
02/05/2012	0.0	19/06/2012	2.5	06/08/2012	0.0
03/05/2012	3.8	20/06/2012	0.0	07/08/2012	0.0
04/05/2012	2.5	21/06/2012	0.0	08/08/2012	0.0
05/05/2012	3.0	22/06/2012	0.0	09/08/2012	0.0
06/05/2012	0.0	23/06/2012	0.0	10/08/2012	0.0
07/05/2012	5.5	24/06/2012	0.0	11/08/2012	0.0
08/05/2012	4.0	25/06/2012	0.0	12/08/2012	0.0
09/05/2012	0.0	26/06/2012	0.0	13/08/2012	0.0
10/05/2012	0.0	27/06/2012	0.0	14/08/2012	0.0
11/05/2012	0.0	28/06/2012	0.0	15/08/2012	0.0
12/05/2012	0.0	29/06/2012	0.0	16/08/2012	0.0
13/05/2012	0.0	30/06/2012	0.0	17/08/2012	0.0
14/05/2012	0.0	01/07/2012	0.0	18/08/2012	0.0
15/05/2012	0.0	02/07/2012	0.0	19/08/2012	2.0
16/05/2012	0.0	03/07/2012	0.0	20/08/2012	0.0
17/05/2012	1.0	04/07/2012	1.0	21/08/2012	0.0
18/05/2012	5.7	05/07/2012	0.5	22/08/2012	0.0

Fecha	Precipitación acumulada l/m ²	Fecha	Precipitación acumulada l/m ²	Fecha	Precipitación acumulada l/m ²
23/08/2012	0.0	10/10/2012	18.0	27/11/2012	2.0
24/08/2012	0.0	11/10/2012	2.6	28/11/2012	1.0
25/08/2012	0.0	12/10/2012	0.0	29/11/2012	0.0
26/08/2012	0.0	13/10/2012	0.7	30/11/2012	0.0
27/08/2012	9.5	14/10/2012	10.5	01/12/2012	0.0
28/08/2012	0.0	15/10/2012	0.0	02/12/2012	0.5
29/08/2012	3.5	16/10/2012	0.1	03/12/2012	5.5
30/08/2012	0.0	17/10/2012	0.0	04/12/2012	15.3
31/08/2012	0.0	18/10/2012	120.0	05/12/2012	18.0
01/09/2012	0.0	19/10/2012	31.0	06/12/2012	0.4
02/09/2012	0.0	20/10/2012	75.0	07/12/2012	2.5
03/09/2012	0.0	21/10/2012	9.3	08/12/2012	0.6
04/09/2012	0.0	22/10/2012	0.0	09/12/2012	0.0
05/09/2012	0.0	23/10/2012	0.0	10/12/2012	0.0
06/09/2012	0.0	24/10/2012	3.0	11/12/2012	0.0
07/09/2012	0.0	25/10/2012	9.9	12/12/2012	0.0
08/09/2012	5.5	26/10/2012	14.5	13/12/2012	14.0
09/09/2012	0.0	27/10/2012	0.0	14/12/2012	13.0
10/09/2012	0.0	28/10/2012	0.0	15/12/2012	0.0
11/09/2012	0.0	29/10/2012	0.0	16/12/2012	9.8
12/09/2012	0.5	30/10/2012	0.0	17/12/2012	0.3
13/09/2012	0.3	31/10/2012	0.0	18/12/2012	0.5
14/09/2012	0.0	01/11/2012	4.9	19/12/2012	0.0
15/09/2012	0.0	02/11/2012	0.0	20/12/2012	2.1
16/09/2012	0.0	03/11/2012	10.0	21/12/2012	0.0
17/09/2012	0.0	04/11/2012	6.2	22/12/2012	0.0
18/09/2012	0.5	05/11/2012	0.5	23/12/2012	0.0
19/09/2012	0.0	06/11/2012	0.0	24/12/2012	0.0
20/09/2012	0.0	07/11/2012	0.5	25/12/2012	0.3
21/09/2012	0.4	08/11/2012	0.3	26/12/2012	0.0
22/09/2012	0.0	09/11/2012	2.7	27/12/2012	0.0
23/09/2012	14.2	10/11/2012	3.5	28/12/2012	0.0
24/09/2012	0.0	11/11/2012	0.0	29/12/2012	0.0
25/09/2012	15.6	12/11/2012	0.0	30/12/2012	0.0
26/09/2012	0.0	13/11/2012	0.0	31/12/2012	5.0
27/09/2012	0.0	14/11/2012	0.0	01/01/2013	1.9
28/09/2012	17.6	15/11/2012	0.0	02/01/2013	0.0
29/09/2012	0.0	16/11/2012	0.0	03/01/2013	0.0
30/09/2012	0.0	17/11/2012	1.0	04/01/2013	0.0
01/10/2012	0.0	18/11/2012	0.0	05/01/2013	0.0
02/10/2012	0.0	19/11/2012	0.0	06/01/2013	0.0
03/10/2012	0.0	20/11/2012	0.4	07/01/2013	0.0
04/10/2012	0.0	21/11/2012	0.0	08/01/2013	0.0
05/10/2012	0.0	22/11/2012	0.0	09/01/2013	1.5
06/10/2012	0.0	23/11/2012	0.0	10/01/2013	0.0
07/10/2012	0.0	24/11/2012	0.0	11/01/2013	0.0
08/10/2012	0.0	25/11/2012	18.0	12/01/2013	8.5
09/10/2012	0.0	26/11/2012	6.9	13/01/2013	1.9

Fecha	Precipitación acumulada l/m ²	Fecha	Precipitación acumulada l/m ²
14/01/2013	35.0	03/03/2013	0.0
15/01/2013	33.0	04/03/2013	2.0
16/01/2013	18.0	05/03/2013	3.4
17/01/2013	13.5	06/03/2013	4.0
18/01/2013	16.5	07/03/2013	16.5
19/01/2013	30.8	08/03/2013	18.0
20/01/2013	4.5	09/03/2013	0.0
21/01/2013	1.4	10/03/2013	0.0
22/01/2013	13.5	11/03/2013	17.0
23/01/2013	51.0	12/03/2013	13.3
24/01/2013	8.5	13/03/2013	1.0
25/01/2013	11.0	14/03/2013	0.5
26/01/2013	1.7	15/03/2013	0.0
27/01/2013	13.0	16/03/2013	14.1
28/01/2013	0.0	17/03/2013	5.5
29/01/2013	0.0	18/03/2013	0.0
30/01/2013	0.0	19/03/2013	4.7
31/01/2013	0.0	20/03/2013	0.0
01/02/2013	22.0	21/03/2013	0.0
02/02/2013	11.0	22/03/2013	4.5
03/02/2013	1.8	23/03/2013	0.0
04/02/2013	0.4	24/03/2013	0.0
05/02/2013	5.5	25/03/2013	21.5
06/02/2013	38.0	26/03/2013	2.3
07/02/2013	13.0	27/03/2013	8.5
08/02/2013	8.0	28/03/2013	3.6
09/02/2013	2.5	29/03/2013	32.0
10/02/2013	38.0	30/03/2013	1.5
11/02/2013	18.0	31/03/2013	5.8
12/02/2013	1.6		
13/02/2013	0.2		
14/02/2013	0.3		
15/02/2013	0.0		
16/02/2013	0.0		
17/02/2013	1.0		
18/02/2013	0.4		
19/02/2013	0.0		
20/02/2013	0.0		
21/02/2013	0.0		
22/02/2013	0.0		
23/02/2013	1.0		
24/02/2013	0.3		
25/02/2013	0.0		
26/02/2013	0.0		
27/02/2013	0.0		
28/02/2013	0.0		
01/03/2013	0.0		
02/03/2013	0.0		