



9CFE-1540

Actas del Noveno Congreso Forestal Español
Edita: **Sociedad Española de Ciencias Forestales. 2025.**
ISBN: 978-84-941695-7-1



Proyecto ‘Aigua Blava’: aplicación científico-técnica de selvicultura eco-hidrológica cincuenta años después de la restauración hidrológico-forestal del barranco de la Casassa (Girona).

GONZÁLEZ SANCHIS M.1, MARTÍN GÓMEZ P.1, GIRÓ BARTRA T.2, SOLANELLES UBACH M.3, MEYA NOS D.2, TRASOBARES A.1, SANITJAS A.2

- (1) Centre de Ciència i Tecnologia Forestal de Catalunya (CTFC).
- (2) Generalitat de Catalunya, Direcció General de Boscos.
- (3) Forestal Catalana

Resumen

Entre 1973 y 1976 tiene lugar el proyecto de restauración hidrológico-forestal del barranco de la Casassa (cabecera río Ter, Girona) consistente en hidrotecnias y trabajos de repoblación forestal en unas 280 ha. Cincuenta años después, la restauración ha cumplido su función ya que la masa arbórea se ha cerrado y las tasas de erosión han disminuido considerablemente. Sin embargo, actualmente la masa presenta una densidad y continuidad excesivas, derivadas de la falta de gestión forestal. Por otro lado, se conoce que la estructura y cobertura de la masa tienen implicaciones hidrológicas más allá de la protección del suelo, y que la realización de tratamientos selvícolas consistentes en una reducción de la densidad del arbolado puede mejorar significativamente la provisión de agua (agua azul). En el contexto actual de sequía, este aspecto resulta imprescindible en la localización y el diseño de tratamientos selvícolas. En este sentido, nace ‘Aigua Blava’ con el objetivo de, mediante la colaboración científico-técnica, co-diseñar las intervenciones selvícolas, ponerlas en práctica y monitorear sus efectos en la hidrología de las cuencas, con el fin de cuantificar in situ la relación entre agua azul y gestión forestal, y promover la realización de tratamientos selvícolas diseñados con este fin.

Palabras clave

Gestión forestal, hidrología, agua azul, monitoreo, sequía

1. Introducción

La restauración hidrológico-forestal (RHF) comprende el conjunto de actuaciones necesarias para la conservación, defensa y recuperación de la estabilidad y fertilidad de los suelos, la regulación de escorrentías, consolidación de cauces y laderas, la contención de sedimentos y, en general, la defensa del suelo contra la erosión. Desde principios del s. XX, en España se han promovido numerosas actuaciones de este tipo, utilizando técnicas como la reforestación, la protección del suelo mediante estructuras de contención, y la mejora de la gestión de cuencas, que, si bien han resultado muy efectivas en cuanto a incremento de la protección del suelo y mejora de los riesgos de inundación, también han sido frecuentemente objeto de abandono por parte de las administraciones, dejando gran parte de las repoblaciones sin los tratamientos selvícolas necesarios.



El abandono de las repoblaciones asociadas a las RHF puede generar efectos no deseados en la provisión de agua (escorrentía superficial y/o percolación profunda). Si bien es razonable esperar un efecto positivo de la restauración forestal en la calidad del agua (Neary et al 2009), los impactos de la expansión de la cubierta forestal en la provisión de agua son, en el mejor de los casos, poco claros (Calder 2007, Andréassian 2004, Ellison et al 2012). De hecho, muchas evaluaciones de los impactos de la expansión de la cubierta forestal en el balance hídrico de las cuencas hidrográficas han informado reducciones en la escorrentía anual (Jackson et al 2005; Trabucco et al 2008; Liang et al 2015), especialmente en regiones más secas y en áreas donde los bosques han reemplazado pastizales o matorrales (Faerly et al 2005).

La potencial disminución en la provisión de agua se debe fundamentalmente al incremento paulatino de la evapotranspiración (ET), que evolucionan además con el desarrollo de la masa forestal. Los bosques tienen tasas de ET relativamente altas en comparación con la mayoría de los demás usos y tipos de cobertura (Calder 1998), por lo que los rendimientos hídricos suelen disminuir cuando se convierten diferentes usos de la tierra en bosques. Sin embargo, debido a que las tasas de ET disminuyen con la edad del bosque (Van Dijk & Keenean, 2007), el tiempo transcurrido desde la implementación de proyectos de restauración forestal puede desempeñar un papel importante a la hora de determinar si la restauración forestal aumentará los rendimientos hídricos y cuándo.

La gestión de estas masas, además de jugar un papel esencial en la salud y resiliencia de las mismas, podría amortiguar la posible disminución en la provisión de agua derivada de su consumo como ET. Sin embargo, el papel de la gestión forestal en la provisión de agua, así como el momento óptimo en el que realizarla, no es algo fácil de determinar ya que depende enormemente de la especie, estructura de la masa y la estación en la que se encuentre. En este sentido, ensayos de campo que recojan la provisión de agua bajo distintas acciones de gestión forestal, especies, estructuras y/o estaciones contribuyen enormemente a planificar tratamientos selvícolas y anticiparnos así al indeseado efecto de disminución significativa de la provisión de agua (ej: del Campo et al 2018, del Campo et al 2019). No obstante, estas experiencias no dejan de representar casos particulares y periodos de tiempo relativamente cortos, disminuyendo así su capacidad de extrapolación a otras masas. Por ello, la combinación de experiencias de este tipo con herramientas de modelación mecanística, permite, aunque a veces con menor precisión, calcular la provisión de agua a lo largo de todo el ciclo de la masa forestal y diseñar el esquema de gestión más óptimo (ej: González-Sanchis et al 2015; González-Sanchis et al 2019).

Los modelos mecanísticos de vegetación son herramientas matemáticas y computacionales que buscan representar y simular el comportamiento y la dinámica de las comunidades vegetales en función de factores ecológicos, climáticos y edáficos. A diferencia de los modelos empíricos, que se basan en observaciones y estadísticas, los modelos mecanísticos intentan replicar los procesos biológicos y físicos que gobiernan el crecimiento, la competencia, la dispersión y la sucesión de las plantas. Ello permite calcular el crecimiento y desarrollo de formaciones vegetales bajo una enorme variabilidad de condiciones biofísicas. Hay numerosos modelos disponibles (Sun et al 2023), donde la elección del más adecuado depende, entre otras cosas, de la formación vegetal y las

preguntas a resolver.

2. Objetivos

Los objetivos del proyecto “Aigua blava” son: i) analizar el comportamiento hidrológico de una repoblación de *Pinus uncinata* como especie principal derivada de la restauración hidrológico-forestal realizada entre 1973 y 1976 en el barranco de la Casassa (cabecera río Ter, Girona); ii) co-diseñar un esquema de gestión, que siendo compatible con los usos del territorio, suavice el potencial efecto de disminución del agua azul; iii) establecer un sistema experimental de observación que valide los resultados obtenidos.

3. Metodología

El estudio se desarrolla en la cuenca del Torrent de la Casassa (cabecera río Ter, Girona, España), la cual, a mitad del s. XX, se encontraba prácticamente desarbolada con una fuerte presión ganadera (19.025 cabezas de ovino pacían en 1.092 ha), afección de incendios y episodios de intensas lluvias. Todo ello provocó una fuerte erosión laminar y de los barrancos, con una pérdida anual estimada de 25-50 toneladas/ha·año de suelo. Para dar respuesta a estos acontecimientos, en 1973 el antiguo ICONA inició una serie de trabajos de repoblación y construcción de hidrotecnias en el barranco de la Casassa, los cuales, después de 50 años continúan realizando una funcionalidad protectora. Entre 1973 y 1976, se repoblaron cerca de 280 ha, utilizando como especie principal el *Pinus uncinata*, *Pinus sylvestris*, *Larix* sp y píceas (estos últimos en menor proporción) (Figura 1). Durante esta época, se proyectaron hasta un total de 18 diques a lo largo de unos 3,3 km de curso fluvial y 11 muros de contención lateral (Molina, 1974; 2001).



Figura 1: Izquierda: Aspecto general del Torrent de la Casassa, vista de los diques y estado de la vegetación en la década de 1980 (Font: Tazón, Fototeca Forestal Española). Derecha: Estado de la vaguada de la Casassa e integración paisajística de los diques en 2001 (Font: Tazón, Fototeca Forestal Española).

De esas 280 ha, se seleccionó la zona del Barranco de la Casassa de la Montaña de Molló, con una elevación de 1500 m.s.n.m, un sustrato de pizarra, y que además de ser cabecera de cuenca, apenas ha sido gestionada desde su repoblación, y por tanto presenta una masa forestal densa (1174 ± 368 árboles/ha) con necesidades de gestión selvícola. Se ha establecido una zona de estudio dividida en 2 cuencas hidrológicas (Figura 2):

- Cuenca 0 o de control (azul): tiene una superficie de 10 ha y se utilizará como control y no se realizará gestión forestal.
- Cuencas 1: tiene una superficie de 19,7 ha y se realizará gestión forestal en 10 de ellas, ejecutando los tratamientos selvícolas planificados en el Proyecto de Ordenación Forestal del monte orientados al aumento de la resiliencia de la masa, al fomento de la regeneración natural de otras

especies para incrementar la biodiversidad y a la generación de agua azul.

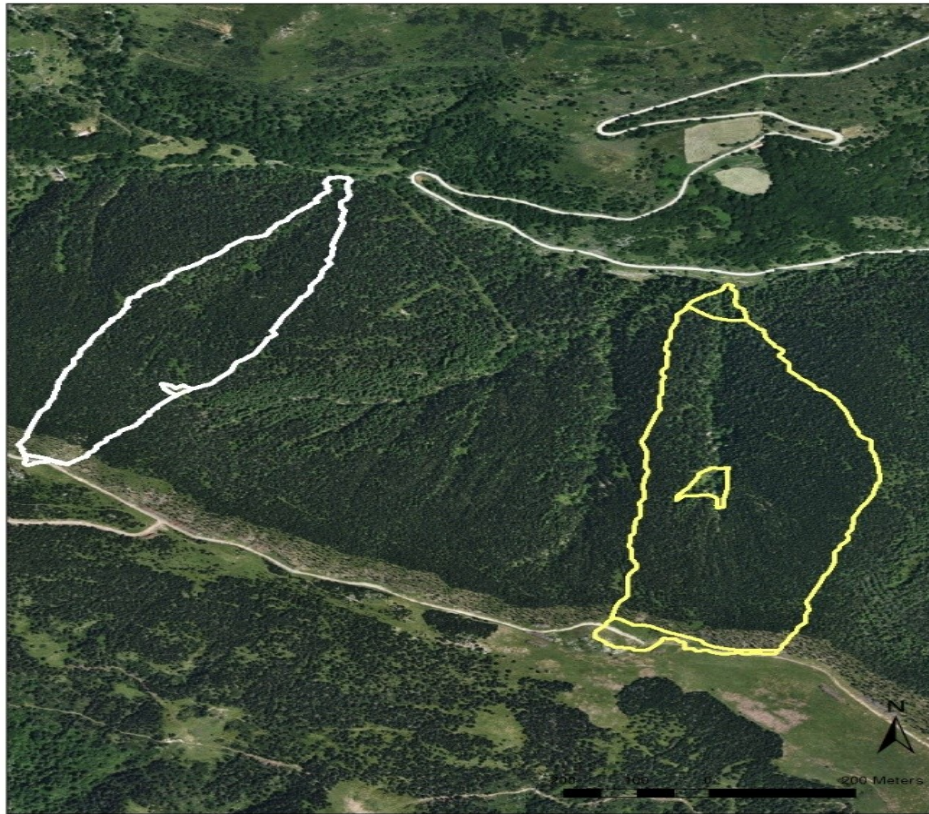


Figura 2: Cuencas experimentales control (blanco) y (tratamiento).

Las acciones actuaciones previstas comenzaron en Septiembre de 2024 y contemplan claras (por lo bajo, eliminando aproximadamente el 30 % del área basimétrica) y adhesamientos que compatibilicen el uso ganadero y recreativo (Figura 3).

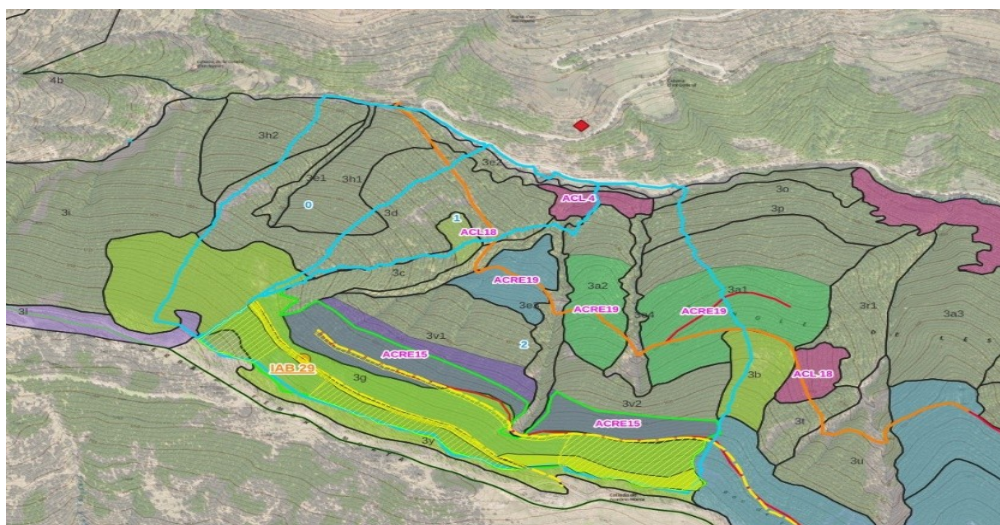


Figura 3: Ubicación de los tratamientos selvícolas en la zona de estudio. La zona



amarilla corresponde a la zona de adhesionamiento, mientras que el resto de colores representan el mismo tipo de tratamiento, claras por lo bajo eliminando aproximadamente el 30 % del área basimétrica.

Al mismo tiempo, se han instalado dos estaciones de aforo que recogen la escorrentía superficial de ambas cuencas y se están instalando diversos sensores que monitorizan los diferentes elementos del ciclo hidrológico en ambas cuencas (precipitación, humedad relativa, humedad de suelo y transpiración).

Concretamente, en este trabajo se ha analizado la evolución del balance hidrológico desde 1976 hasta 2023 considerando que no se efectuó ningún tratamiento a lo largo de dicho periodo. A continuación, se ha evaluado el efecto potencial de la gestión forestal prevista en el ciclo hidrológico, y otros posibles esquemas de gestión tratando de encontrar tanto el esquema más óptimo como el momento en el que aplicarlo.

Para realizar dichos análisis se ha empleado el programa Medfateland (de Cáceres et al 2022). Medfateland (Mediterranean Forest Vegetation Dynamics Model) es un conjunto de modelos mecanísticos diseñado para simular la dinámica de la vegetación en ecosistemas forestales mediterráneos. Este modelo está enfocado en la interacción entre especies vegetales y los factores ambientales, como el clima, el suelo y las perturbaciones (incendios, sequías, etc.). Medfateland tiene como objetivo predecir el crecimiento y la sucesión de comunidades vegetales, considerando procesos clave como la fotosíntesis, la respiración, la competencia por recursos y las estrategias de adaptación de las especies. Una característica destacada de Medfateland es su capacidad para simular la dinámica de distintas especies de árboles y arbustos, permitiendo analizar cómo varían sus poblaciones a lo largo del tiempo bajo diferentes condiciones climáticas o de gestión forestal. Por tanto es un programa que resulta muy útil para analizar y diseñar acciones de gestión forestal, restauración ecológica y de evaluación de impactos del cambio climático, proporcionando herramientas para mejorar la sostenibilidad de los ecosistemas y la adaptación de los bosques mediterráneos a nuevos escenarios.

Los datos de entrada que requiere Medfateland son los siguientes:

- Meteorología: ha sido obtenida de la red de estaciones meteorológicas de AEMET y MeteoCat.
- Descripción física del suelo: obtenida de la base de datos de SoilGrids y validada en campo.
- Descripción de la vegetación: obtenida de los datos iniciales de la repoblación validados en campo.

4. Resultados

Los resultados de la modelación de la repoblación sin gestión forestal muestran una tendencia decreciente significativa ($p\text{-value} < 0.05$) en la provisión de agua azul (Figura 4). Para asegurar que la disminución en la provisión de agua no se debe a una disminución en la precipitación anual, se ha analizado la serie de precipitación, cuya regresión ha resultado no significativa ($p\text{-value} > 0.5$) (Figura 5).

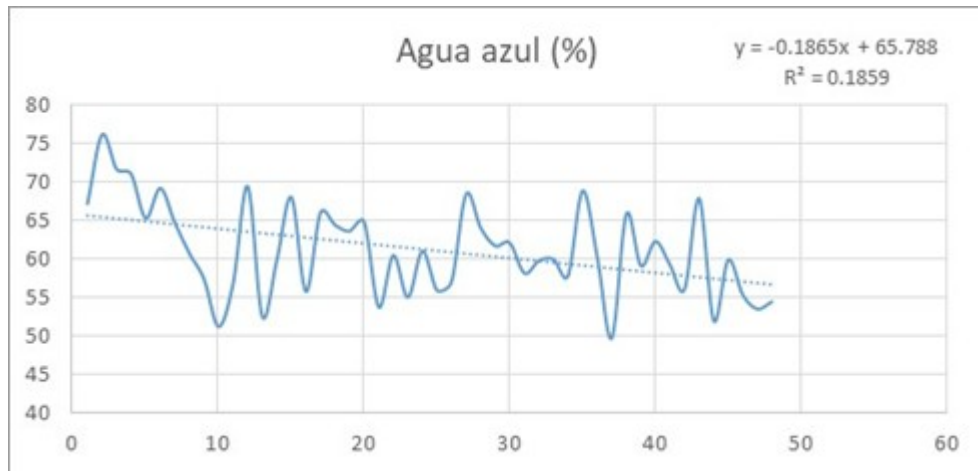


Figura 4: Evolución de la provisión anual de agua azul (expresada como porcentaje sobre la precipitación anual) en la repoblación desde 1976 hasta 2023.

Esta disminución en la provisión de agua azul se evidencia en el caudal de salida de la cuenca a partir del año 1990, cuya serie presenta una tendencia negativa (Figura 6).

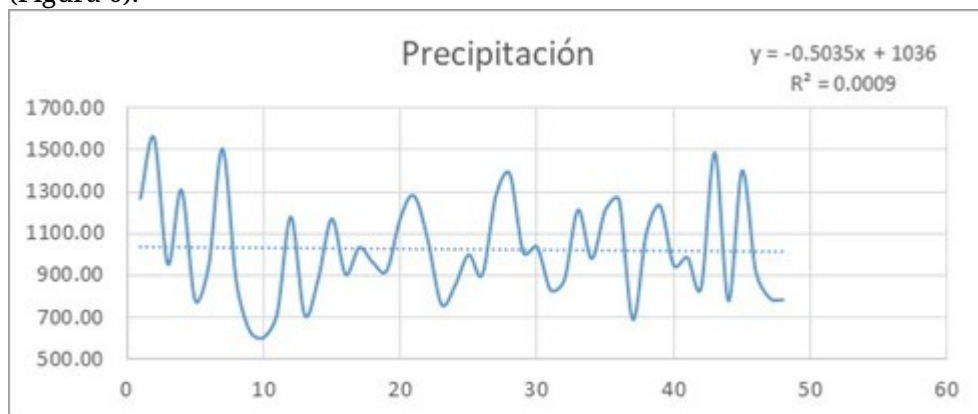


Figura 5: Precipitación anual en la zona de estudio.

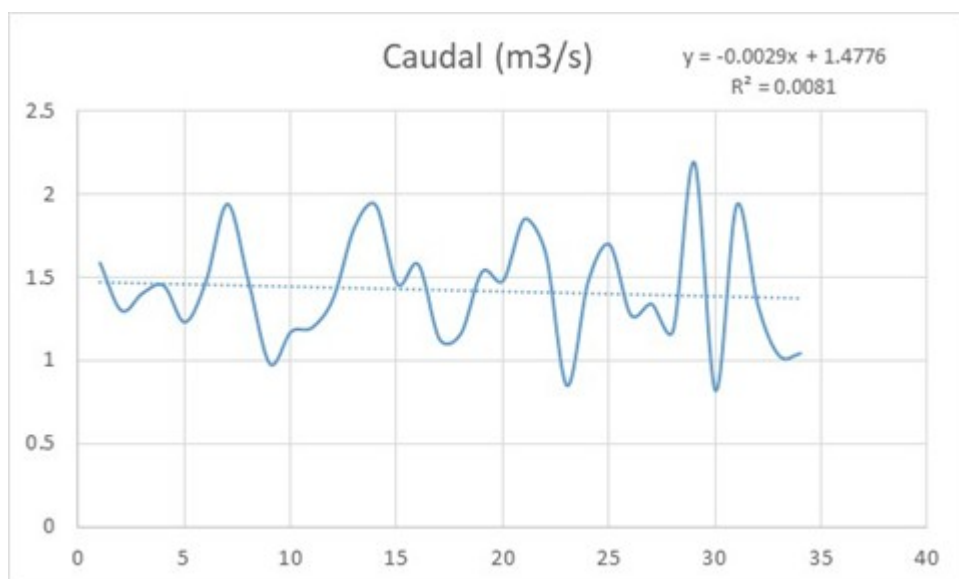


Figura 6: Evolución del caudal anual a la salida de la cuenca durante el periodo comprendido entre 1990 y 2023.

Por el contrario, cuando analizamos las series de transpiración y ET anuales, observamos una tendencia creciente significativa ($p\text{-value} < 0.01$) en ambos casos (Figura 7), indicando que la causa más probable en la disminución de la provisión de agua sea la del incremento de consumo de agua por parte de una vegetación en continuo crecimiento.



Figura 7: Evolución de la Evapotranspiración (amarillo, $R^2=0.14$) y la transpiración (verde, $R^2=0.36$) anuales desde 1976 hasta 2023.

La gestión forestal propuesta afectará a 10 ha de las 19,7 ha, donde 4 ha serán dedicadas al adehesado, y en las 6 ha restantes se aplicarán claras por lo bajo que eliminarán aproximadamente el 30 % del área basimétrica. Los resultados de la modelación muestran un incremento de agua azul en las zonas adehesadas y aclaradas del 18,6 y 6,4 % respecto de la precipitación, respectivamente (Tabla 1). Como resultado, ambas superficies incrementarían en un 12 % el caudal de salida de la cuenca, donde además el incremento fundamental se debe al caudal base.

Tabla 1: Resultados de la gestión forestal programada para la cuenca 1.

Clareo	Adehesado
5,9	11,9
57,1	115,9
3424777,1	4636314,6

Aplicando un esquema de gestión algo más intenso que eliminara el 50 % del área basimétrica en la zona de clara incrementaría significativamente la provisión de agua, alcanzando el 14 % del caudal de salida de la cuenca (Tabla 2).

Tabla 2: Resultados de la gestión forestal programada para la cuenca 1.

Clara	Adehesado
7,9	11,9
76,9	115,9
4611126,7	4636314,6
14	

De la misma forma, analizando la evolución de la masa, se observa que los tratamientos podían haber sido aplicados desde el año 2012, fijando como umbral de corta un área basimétrica de 20 m²/ha, o desde 2019 si este umbral se sube a 22 m²/ha.

5. Discusión

Los resultados muestran el efecto del cambio de cubierta de suelo de pastizal a arbolado en la disminución de la provisión de agua. Dichos resultados se alinean con los obtenidos en otros estudios (Jackson et al 2005; Trabucco et al 2008; Liang et al 2015), poniendo en relieve una vez más la necesidad de gestionar adecuadamente las masas repobladas, no sólo para mejorar la salud, resiliencia y calidad de la masa, sino para no disminuir significativamente el aporte hídrico aguas abajo, donde probablemente será requerido para otros usos.

En la evolución del consumo de agua por parte de la vegetación desde su instauración no se ha observado ningún punto de ruptura ni de inflexión que indique un cambio de tendencia, reflejando que probablemente no hayamos llegado aún al punto en el que puede invertirse esta tendencia debido a la edad del bosque (Van Dijk & Keenean, 2007). Esto se debe seguramente a que la masa, aunque densa y necesitada de intervención selvícola según los servicios forestales, es relativamente joven (49 años) y aún no ha tenido tiempo de llegar a dicho punto de inflexión.

La gestión forestal planteada supone un incremento en la provisión de agua, de nuevo alineada con los resultados obtenidos en otros estudios (González-Sanchis et al 2015; del Campo et al 2018; González-Sanchis et al 2019). De la misma forma, se ha visto que un incremento en la intensidad de la intervención genera un incremento en la provisión de agua, donde intensidades de corta del 30, 50 y 70 % del área basimétrica aumentan casi proporcionalmente el agua azul. Este efecto es altamente dependiente de la especie y la estación en la que nos encontramos, fundamentalmente de la ET potencial (ETP) y la estacionalidad de las precipitaciones. En regiones donde la ETP es significativamente más alta que la precipitación, intensidades de corta elevadas pueden producir el efecto contrario por incrementar demasiado la evaporación directa del suelo. En este caso, al ser la ETP aproximadamente un 64 % de la precipitación, y la época más cálida (verano) relativamente corta, aumenta el rango de posibilidades de intensidad de corta.



6. Conclusiones

El presente trabajo aporta información relevante que contribuye a reforzar la necesidad de gestión forestal, sobre todo en masas artificiales derivadas de un cambio en el uso del suelo. Los resultados muestran como esta gestión, además de beneficiar a la masa, estimulan el ciclo hidrológico incrementando la provisión de agua.

La herramienta de cálculo Medfateland ha demostrado ser de excelente utilidad para cuantificar un servicio ecosistémico, que, aunque apreciado, suele ser estimado de forma puntual en el tiempo y sin demasiada precisión. Dicha herramienta podría ser perfectamente adoptada por los servicios y empresas forestales para incluir el efecto hidrológico en las futuras actuaciones silvícolas.

Concretamente, el incremento en el agua azul calculado tan sólo en las 10 ha a gestionar equivaldría al consumo de agua de 4 meses del municipio de Molló (373 habitantes), considerando un consumo medio de 200 l/habitante equivalente en dicha población.

El monitoreo de las cuencas una vez terminen las actuaciones selvícolas validará estos resultados, así como contribuirá a la mejora de las herramientas de cálculo.

7. Agradecimientos

Los autores agradecen a la *Direcció General de Boscos* de la *Generalitat de Catalunya* el apoyo económico, conceptual y operacional en este proyecto. Así mismo, los autores agradecen a la Agencia Catalana del Agua y el ayuntamiento de Molló por su colaboración.

8. Bibliografía