

UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Agronómica y del Medio
Natural

“EVALUACIÓN DE LAS NECESIDADES HÍDRICAS DE DIFERENTES ACTIVIDADES AGROFORESTALES”

*“EVALUATION OF THE WATER REQUIREMENTS OF DIFFERENT AGROFORESTRY
ACTIVITIES”*



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



Escola Tècnica Superior
d'Enginyeria Agronòmica i del Medi Natural

TRABAJO FINAL DEL GRADO EN INGENIERIA FORESTAL Y DEL MEDIO NATURAL

Alumno: José Luis Calvo Radoselovics

Tutora: M^a Dolores Raigón Jiménez

Curso académico: 2017-2018

Valencia, julio de 2018



RESUMEN

La escasez de agua constituye uno de los principales desafíos del siglo XXI al que se están enfrentando ya numerosas sociedades de todo el mundo. A lo largo del último siglo, el uso y consumo de agua creció a un ritmo dos veces superior al de la tasa de crecimiento de la población y, aunque no se puede hablar de escasez hídrica a nivel global, va en aumento el número de regiones con niveles crónicos de carencia de agua. La escasez de agua es un fenómeno no solo natural sino también causado por la acción del ser humano. Hay suficiente agua potable en el planeta para abastecer a los 7000 millones de personas que lo habitan, pero ésta está distribuida de forma irregular, se desperdicia, está contaminada y se gestiona de forma insostenible. La influencia de la gestión forestal sobre el ciclo hidrológico es poco conocida, teniendo en cuenta la cantidad de factores que influyen directa e indirectamente en el ciclo hidrológico. Por ello, el principal objetivo de este trabajo es aportar datos sobre la disponibilidad del agua en un área forestal de clima mediterráneo de la Comunitat Valenciana, en concreto, en la comarca de El Camp del Túria y evaluar las repercusiones del ciclo hidrológico sobre la sostenibilidad de las masas forestales, en concreto de las masas forestales presentes en la comarca.

El estudio se lleva a cabo, realizando el balance hídrico, tomando como datos meteorológicos, los de las estaciones climáticas de Lliria y Bétera. Los resultados del balance hídrico con los datos de cada zona climática no difieren significativamente, por lo que pueden ser representativos de la zona.

Cada territorio responde a un modelo de ciclo hídrico. Por lo que el concepto de agua forestal, la gestión del ciclo hídrico forestal, así como la provisión de agua del bosque, en la comarca de El Camp del Túria se convierte en el servicio más importante de la masa forestal de esta zona y es esencial para garantizar la multifuncionalidad y los servicios ecosistémicos o ambientales de ésta zona. Las recargas de agua en la comarca de El Camp del Túria son positivas, pero ante las situaciones de cambio climático, se debería incrementar las zonas forestales, dada la influencia positiva sobre el incremento de las precipitaciones y la recarga de agua en la zona.

Palabras clave: Usos del agua, agricultura, industria forestal, turismo, jardinería, sostenibilidad.

ALUMNO: José Luis Calvo Radoselovics
TUTORA: M^a Dolores Raigón Jiménez
Valencia, julio de 2018

ABSTRACT

Water scarcity is one of the major challenges of the 21st century to which many societies around the world are facing now. Throughout the last century, the use and water consumption grew at a rate two times higher than the rate of population growth, and although I cannot speak of water scarcity globally, is increasing the number of regions with chronic levels of lack of water.

Water scarcity is a not only natural but also caused phenomenon by the action of the human being. There is enough drinking water on the planet to cater to the 7,000 million people who live in it, but this is distributed unevenly, goes to waste, is contaminated and is managed in unsustainable way.

Therefore, the main objective of this work is to provide data on the availability of water in a Mediterranean climate area of the Comunitat Valenciana, in particular, in the region of El Camp del Túria and assess the impact of the hydrological cycle on sustainability of the forest masses, in particular of the forest masses present in the region.

The study is carried out, realizing the hydric balance, taking as meteorological data, those of the climatic stations of Lliria and Bétera. The results of the water balance with the data of each climatic zone do not differ significantly, so they can be representative of the area.

Each territory responds to a water cycle model. So the concept of forest water, the management of the forest water cycle, as well as the provision of forest water, in the region of El Camp del Túria becomes the most important service of the forest in this area and is essential to guarantee the multifunctionality and ecosystem or environmental services of this area. The water recharges in the region of El Camp del Túria are positive, but in the face of situations of climate change, forest areas should be increased, given the positive influence on the increase in rainfall and the recharge of water in the area.

Keywords: Water uses, agriculture, forestry, tourism, gardening, sustainability.

STUDENT: José Luis Calvo Radoselovics
PROFESSOR: M^a Dolores Raigón Jiménez
Valencia, July 2018

Este TFG va dedicado a todos aquellos que creyeron en mí y me animaron a seguir adelante, en especial a mis padres y a mi hermana por enseñarme a perseguir mis sueños y a no rendirme jamás, por su amor, dedicación y apoyo incondicional sin el cual no habría llegado hasta aquí y que fueron fuente de inspiración y motivación para alcanzar mis metas.

A toda mi familia; a los que están y a los que ya no están, por sus palabras de ánimo y sus consejos que me animaron a no tirar la toalla.

A todos mis amigos por permanecer a mi lado tanto en los buenos como en los malos momentos y por sus palabras de aliento en mis momentos de debilidad.

Un agradecimiento muy especial a mi tutora M^a Dolores Raigón Jiménez ayuda sin la cual este TFG no habría sido posible y a su impecable dedicación durante estos años de universidad y por ser un apoyo con el que siempre he podido contar.

Quiero también agradecer a todo el profesorado, tanto a nivel universitario como el resto de profesionales de la enseñanza que han pasado por mi vida su paciencia conmigo durante estos años y por todo lo que me han enseñado.

Por ultimo a mis compañeros de carrera con los que he compartido muchas experiencias y también fueron un gran apoyo durante esta etapa de mi vida.

ÍNDICE

ÍNDICE GENERAL

1	INTRODUCCIÓN	
1.1	EL CICLO DEL AGUA	1
1.1.1	La evaporación	3
1.1.2	La transpiración	3
1.1.3	La condensación	3
1.1.4	La precipitación	3
1.1.5	La infiltración	4
1.1.6	La escorrentía	4
1.2	EL AGUA Y SU DISPONIBILIDAD	4
1.3	LOS USOS DEL AGUA	6
2	OBJETIVOS	
	Objetivos	10
3	MATERIAL Y MÉTODOS	
3.1	DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO	11
3.2	METODOLOGÍA	13
3.3	TRATAMIENTO DE LOS DATOS	14
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	
4.1	EL AGUA FORESTAL MEDITERRÁNEA COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO	15
4.2	CÁLCULO DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL CICLO DEL AGUA EN LA ZONA BOSCOsa DE EL CAMP DEL TÚRIA	17
4.2.1	Evaluación de entradas de agua en la zona boscosa de El Camp del Túria	17
4.2.2	Evaluación de salidas de agua en la zona boscosa de El Camp del Túria	22
4.2.3	Evaluación del balance hídrico en la zona boscosa de El Camp del Túria	26
5	CONCLUSIONES	29
6	BIBLIOGRAFÍA	30

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1	Representación global del ciclo del agua	2
Figura 2	Flujos anuales medios ($10^3 \text{ km}^3\text{año}^{-1}$) del ciclo global del agua en el planeta	2
Figura 3	Volúmenes (m^3) de agua en la dinámica del suelo, los océanos y la atmósfera	5
Figura 4	Localización de la comarca de El Camp del Túria y distribución vegetal	11
Figura 5	Diagramas climáticos correspondientes a las estaciones meteorológicas de Villamarchante y Casinos	12
Figura 6	Efecto de la masa forestal sobre la infiltración y la recarga de acuíferos	25

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1	Disponibilidad (km ³) del agua almacenada en las diferentes fuentes, en el planeta	5
Tabla 2	Uso del agua por subsectores de actividad industrial y valores de DBO y DQO	7
Tabla 3	Precipitación media mensual (mm) y anual registrada entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	18
Tabla 4	Temperatura media mensual (°C) y promedio anual registrada entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	18
Tabla 5	Valores de índice de calor mensual (i) y el índice de calor anual (I) entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	19
Tabla 6	Valores de la evapotranspiración potencial mensual y anual sin corregir (ETP sin corr.) entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	20
Tabla 7	Valores de la evapotranspiración potencial (mm) mensual y anual (ETP) entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	20
Tabla 8	Valores de escorrentía (mm) mensual y anual (E) entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	21
Tabla 9	Valores de entradas de agua (mm) mensual y anual entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	22
Tabla 10	Valores de evapotranspiración real (ETR) mensual y anual (mm) entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	23
Tabla 11	Valores de infiltración (I) mensual y anual (mm) entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	24
Tabla 12	Valores de salidas de agua (mm) mensual y anual entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	25
Tabla 13	Valores del balance hídrico o recarga de agua (mm) mensual y anual entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera	26

INTRODUCCIÓN

Han pasado 17 años desde la elaboración de la Directiva Marco del Agua (DMA) y en 2018 la cuestión del agua cuenta con una extraordinaria gravedad para la sociedad española. La sobreexplotación, la contaminación, las cuestiones relacionadas con el cambio climático y la ausencia de regulación del agua, entre otras cuestiones, impiden lograr una sostenibilidad de este recurso en el medio natural.

El agua es un activo renovable pero no ilimitado, fundamental para la vida y el cual tiene un papel importante en la mejora de los ejercicios humanos y en la que se basa el avance económico social y medioambiental. Los recursos hídricos y los servicios que brindan a la sociedad requieren de un cambio en la perspectiva que sea sostenible, para el medio natural y que considere la realidad del cambio climático y el incremento demográfico que sufre el planeta.

Si el calentamiento global sigue incrementando las temperaturas, es posible que el ciclo del agua se intensifique. Una intensificación del ciclo del agua puede provocar cambios en la disponibilidad de recursos hídricos, un aumento en la frecuencia e intensidad de las tormentas tropicales, inundaciones y sequías, y una amplificación del calentamiento a través de la retroalimentación del vapor de agua (Huntington, 2006).

1.1. EL CICLO DEL AGUA

Los bosques y los árboles forman parte integrante del ciclo del agua: regulan el caudal hídrico, contribuyen a recargar las aguas subterráneas y, a través de la evapotranspiración, favorecen la formación de nubes y las precipitaciones.

El ciclo del agua comienza en el mar. Los rayos del sol, atraviesan la atmósfera e inciden en las masas de agua oceánicas provocando su calentamiento y produciendo su evaporación. Con la ayuda de corrientes ascendentes de aire, el vapor de agua es transportado hacia la atmósfera, donde hay una temperatura más baja que hace que el vapor de agua se condense y constituya las nubes. Las corrientes de aire hacen que las nubes se muevan sobre el globo y las partículas de agua de la nube impacten entre ellas, creando precipitaciones.

La mayoría de la precipitación fluye sobre la superficie como escorrentía superficial siendo una parte de ésta, transportada por los cursos de agua de vuelta a los océanos. Otras precipitaciones se producen en forma de nieve, algunas se acumulan en capas de hielo, siendo almacenada durante muchos años en los glaciares. Otras precipitaciones en forma de nieve son parte de los fenómenos de deshielo, como consecuencia del incremento de las temperaturas primaverales. El agua del deshielo se suma a la de escorrentía superficial, y recorre la superficie de la tierra como agua de deshielo.

Tanto el agua de escorrentía como el agua subterránea que emerge a la superficie a través de los manantiales se almacenan en los lagos de agua dulce. Otra parte del agua de lluvia es absorbida por el suelo a través de la infiltración. El agua infiltrada es absorbida por las raíces de las plantas y devuelta a la atmósfera a través del proceso de transpiración de las plantas. Por otro lado, parte del agua de infiltración llega a las capas profundas de suelo que recargan los acuíferos que almacenan grandes cantidades de agua dulce. Con el tiempo, esta agua volverá a los océanos, donde el ciclo del agua comienza nuevamente (figura 1).

Las consecuencias más notables del cambio climático serán los impactos en el ciclo del agua (el movimiento del agua a través del océano, la atmósfera, la tierra y viceversa), cuyos cambios van a ser decisivos en la distribución de la humanidad, la agricultura, la distribución de

1. INTRODUCCIÓN

bosques y toda la vida terrestre. Tales consecuencias pueden incluir el aumento de la evaporación total, la precipitación, la humedad atmosférica y el transporte horizontal de humedad a escala global (Held y Soden, 2006), mayor aridez y más sequías en regiones semiáridas y áridas, cambios en el momento y la intensidad de los monzones, una precipitación más intensa con una fracción más pequeña que se produce como nevada, y el deshielo de la primavera, el deshielo y el flujo máximo (Trenberth y Asrar, 2014).



Figura 1. Representación global del ciclo del agua.

El conocimiento de las tasas actuales del flujo hidrológico es esencial para la evaluación y predicción del cambio climático. De tal manera que la evaluación del ciclo del agua servirá como base para los estudios de variabilidad hidroclimática y las predicciones del cambio climático y como un estándar para las evaluaciones del modelo del sistema terrestre. La figura 2 muestra los valores de los flujos anuales medios ($10^3 \text{ km}^3 \text{ año}^{-1}$) del ciclo global del agua y las incertidumbres asociadas durante la primera década del milenio (Rodell *et al.*, 2015). Los números blancos se basan en productos de observación y modelos de integración de datos. Los números azules son estimaciones que se han optimizado al forzar el cierre del presupuesto de agua y energía, teniendo en cuenta la incertidumbre en las estimaciones originales.

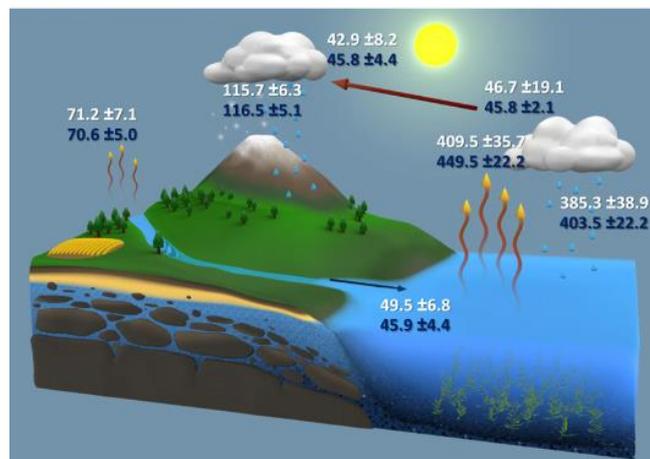


Figura 2. Flujos anuales medios ($10^3 \text{ km}^3 \text{ año}^{-1}$) del ciclo global del agua en el planeta.

1.1.1. La evaporación

La evaporación es la fase principal del ciclo del agua. Es el procedimiento por el cual el agua cambia de estado líquido a vapor. En este procedimiento, el agua de los mares de los cursos de agua y lagos, así como de la superficie terrestre, por medio de la energía solar (encargada de romper los enlaces que mantienen juntas las partículas de agua), evapora el agua, que asciende a la atmósfera como vapor de agua.

Aproximadamente el 80% del agua evaporada total proviene de los océanos, mientras que el 20% restante lo hace del agua de las regiones continentales y de la transpiración de la vegetación (Keys *et al.*, 2016).

El viento asume una parte clave en el transporte de agua disipada a lo largo y ancho del planeta. Una gran parte del agua disipada permanece en un estado de vapor en la atmósfera. La evaporación se intensifica a medida que la temperatura aumenta y decrece cuando disminuye. Asimismo, los árboles también contribuyen a disminuir la pérdida de agua causada por la evaporación de los suelos y mantener la salud de estos reduciendo la erosión.

1.1.2. La transpiración

La transpiración es el procedimiento por el cual el agua se transporta de las raíces a las hojas donde pasa a vapor de agua y es liberada a la atmósfera. Se estima que alrededor del 10% de la humedad en el aire se origina a partir de este proceso.

La cantidad de agua durante el proceso de transpiración de las plantas está controlada por varios elementos, como la temperatura (el nivel de transpiración aumenta a medida que la temperatura aumenta), la humedad relativa (a medida que la humedad aumenta, la tasa de transpiración disminuye), y el tipo de planta.

1.1.3. La condensación

La condensación es el procedimiento por el cual el agua en el estado de vapor de agua pasa a estado líquido.

El agua se evapora y se condensa junto con partículas de residuos y sales presentes en la atmósfera formando pequeñas partículas de agua. La condensación es un procedimiento imperativo en el ciclo del agua ya que produce la formación de las nubes. Las nubes pueden crear precipitaciones haciendo que el agua regrese a la Tierra.

1.1.4. La precipitación

La precipitación es el sistema fundamental para transportar el agua desde la atmósfera a la superficie terrestre. Las partículas de agua se unen formando otras más grandes y cuando alcanzan un peso específico y no son capaces de permanecer estáticas, éstas precipitan sobre la superficie terrestre. Es el procedimiento por el cual el agua descarga desde las nubes en forma de lluvia, siendo este el principal tipo de precipitación, pero adicionalmente como aguanieve, nieve o granizo debido a cambios repentinos en la temperatura.

Las precipitaciones son variables durante el año y zona del planeta, siendo más abundantes en regiones que se encuentran más al norte o en áreas montañosas.

1.1.5. La infiltración

Una vez que se produce la precipitación, el agua en los casos de suelo permeable y poroso se filtra a través del suelo convirtiéndose en aguas subterráneas. La parte del agua que no se filtra a través del suelo debido a la impermeabilización de la tierra, pasa a través de la superficie, conocida como agua de escorrentía, otra parte del agua da como resultado los acuíferos subterráneos, que más tarde darán origen a la formación de manantiales y cursos de agua.

En la infiltración afecta el tipo de vegetación predominante de la superficie así como la temperatura, la porosidad de la tierra y la cantidad de precipitación, así pues, si la precipitación es menor a la capacidad de infiltración del suelo, todo el agua caída sobre el terreno será infiltrada. Por el contrario, si la precipitación es mayor que la capacidad de infiltración del suelo, el agua quedará retenida. Dado que en las zonas tropicales semiáridas las precipitaciones son de corta duración, pero intensas, se estima que, si no fuera por la presencia de árboles, el flujo superficial del agua se produciría en al menos el 71% del área, lo que provocaría la erosión y degradación de los suelos.

1.1.6. La escorrentía

La escorrentía es el proceso que ocurre cuando parte del agua precipitada en la superficie terrestre no se filtra a través de la tierra, sino que circula sobre la superficie. La escorrentía puede ser producida también por el deshielo de la nieve acumulada en zonas montañosas en las estaciones de primavera y verano, creando una expansión en volumen en ríos y lagos. Normalmente ocurre en las regiones donde hay una medida considerable de precipitación anual. La escorrentía en estas áreas, es uno de los principales agentes erosivos del suelo, ya que el agua precipitada y no infiltrada a través del terreno forma gigantescas riadas que arrastran una amplia gama de sedimentos.

En general las precipitaciones son absorbidas por el suelo, sin embargo, en caso de que la precipitación se produzca sobre un terreno saturado de agua o impermeable, se transporta a través de la tierra siguiendo la pendiente del terreno formando riachuelos y ríos comenzando su regreso al mar. De esta manera, cuanto menor es la porosidad, mayor será la capacidad del suelo en la retención del agua. La escorrentía superficial está influenciada por las variables meteorológicas y la geografía del territorio. Solo un tercio de la precipitación sigue como escorrentía hacia los mares; el resto se evapora o es absorbida por el suelo, pasando a formar parte del agua subterránea.

1.2. EL AGUA Y SU DISPONIBILIDAD

El total de agua de la Tierra (1386 millones de km³), alrededor de un 96,5% es agua salada. Del agua dulce total, un 68,7% se encuentra en los glaciares y la nieve. Un 30,1% del agua dulce está en de forma subterránea, el 0,3% como agua dulce superficial y el 0,9% restante en otras fuentes de agua. Las fuentes superficiales de agua dulce, como lagos y ríos, sólo corresponden a unos 93100 km³, lo que representa un 1/150 del uno por ciento del total del agua (tabla 1). A pesar de esto, los ríos y lagos son la principal fuente de agua que la población usa a diario (Camilloni y Vera, 2007). El agua dulce superficial (0,3%) se encuentra acumulada en lagos (87%), pantanos (11%) y el 2% circula por los ríos.

El agua almacenada durante largos periodos de tiempo en forma de hielo o nieve, también forma parte del ciclo del agua, aunque su disponibilidad es baja y se encuentra localizada en dos

1. INTRODUCCIÓN

focos puntuales. Alrededor del 90% se encuentra en la Antártida, mientras que el 10 % restante se encuentra en Groenlandia. En los períodos más fríos, se produce el desarrollo de capas de hielo expansivas y masas heladas, cuanto mayor cantidad de agua se encuentra en forma de hielo menor es el agua disponible para el ciclo hídrico y viceversa para el periodo cálido. La escorrentía producida por el deshielo es parte del movimiento hídrico del planeta y varía en cada estación y año. De manera que el defecto de agua almacenada en forma de nieve durante el invierno, puede afectar en la cantidad de agua disponible el resto del año.

Tabla 1. Disponibilidad (km³) del agua almacenada en las diferentes fuentes, en el planeta

Fuente de agua	Volumen (km ³)	Volumen (%)	Fracción (%) de agua dulce
Océanos, mares y bahías	1338000000	96,5	--
Capas de hielo, glaciares y nieves perpetuas	24064000	1,74	68,7
Agua subterránea	23400000	1,7	--
-Dulce	10530000	0,76	30,1
-Salada	12870000	0,94	--
Humedad del suelo	16500	0,001	0,05
Hielo en el suelo y gelisuelo (permafrost)	300000	0,022	0,86
Lagos	176400	0,013	--
-Dulce	91000	0,007	0,26
-Salada	85400	0,006	--
Atmósfera	12900	0,001	0,04

El agua está presente en el planeta en movimiento continuo, a pesar de ello, esto no significa que la cantidad de agua varíe. La figura 3 muestra el balance de agua intercambiado en el planeta (en el suelo, los océanos y la atmósfera), tanto en estado líquido, como en vapor de agua.



Figura 3. Volúmenes (m³) de agua en la dinámica del suelo, los océanos y la atmósfera.

1.3. LOS USOS DEL AGUA

El agua es un bien indispensable para la vida que presenta importantes connotaciones de tipo económico, social y medioambiental. Tradicionalmente el agua se ha considerado un factor limitante del desarrollo en las regiones mediterráneas y áridas, pero ante los fenómenos de cambio climático este riesgo se está extendiendo a otras regiones. El modelo productivista ha intensificado el consumo del agua, y en paralelo se ha desarrollado un fenómeno de derroche que se hace incompatible con el objetivo de desarrollo sostenible. A esto se añade, la creciente contaminación de los recursos hídricos y una progresiva degradación de los ecosistemas asociados.

El uso de agua ha estado siempre sometido a tensiones sociales y competencia entre los usos, que se han acentuado de manera muy significativa en los momentos de cambio climático, con fenómenos extremos de lluvias y sequía en algunos territorios. Además, la calidad del agua se ve amenazada por la contaminación, la sobreexplotación y los cambios hidromorfológicos impuestos por la industria, la agricultura, el desarrollo urbano, las defensas contra las inundaciones, la generación de electricidad, la navegación, los usos recreativos o la descarga de aguas residuales.

La necesidad del agua no se centra exclusivamente, en el agua para beber. La sociedad, en general, usa el agua para crear y sostener el crecimiento económico, a través de actividades, como la obtención de energía, la agricultura y ganadería, la industria en general, la jardinería, el turismo y otros usos menores donde se puede incluir las actividades forestales. El agua es el elemento principal de todos los ecosistemas y de la regulación del clima. Pero su disponibilidad es especialmente vulnerable al cambio climático. La demanda general de agua está aumentando, lo cual aumenta la tensión sobre los recursos disponibles (Sáenz de Miera, 2002).

Más de una tercera parte de las ciudades más grandes del mundo, como por ejemplo articular, Nueva York, Bogotá, Tokio y Johannesburgo, que suman 366 millones de habitantes (Naciones Unidas, 2016) y cuya población va en aumento obtiene gran parte del agua potable de bosques protegidos (Dudley y Stolton, 2003). Aunque el número de habitantes de zonas urbanas que depende del agua recogida de los bosques resulta considerablemente mayor, si también se tienen en cuenta las zonas urbanas que dependen de bosques que no están oficialmente protegidos o reconocidos como proveedores de agua (Biao *et al.*, 2010).

La relación entre los bosques y el agua no es sencilla. Las relaciones entre los bosques y el agua dependen de múltiples factores, como son la escala (espacial y temporal), las especies, la pendiente, el suelo, el clima y las prácticas de gestión forestal. Los árboles y los bosques utilizan agua para crecer, por lo que las especies de crecimiento rápido la utilizarán más rápidamente (Gilmour, 2014; Filoso *et al.*, 2017). Los árboles también liberan agua a la atmósfera a través de la evapotranspiración, que puede volver a caer en forma de lluvia a escala local o, lo que es más probable, a escala regional (Ellison *et al.*, 2012). Por ello, la diversidad de las especies vegetales, el número de especies, la localización, la distribución, la densidad de árboles y otros aspectos de la gestión forestal tienen diferentes repercusiones sobre la cantidad y calidad del agua. Por ejemplo, en estudios recientes, se ha demostrado que los árboles de zonas secas y los ecosistemas basados en ellos pueden mejorar la capacidad del suelo de almacenar agua y la reposición de las aguas subterráneas (FAO, 2018).

1. INTRODUCCIÓN

Esta dificultad es una de las causas de por qué el agua vinculada a la actividad forestal, muy pocas veces aparece contemplada y cuantificada dentro de los parámetros del uso del agua, siendo los usos domésticos, agrícolas, industrial (generación de energía) y turístico, los que se tipifican con mayor frecuencia.

El uso doméstico es considerado como prioritario por la Ley de aguas y requiere una gran garantía de provisión en la que la calidad es un factor determinante. En los últimos años se viene observando un aumento del consumo de agua de uso doméstico en un 5% del consumo per cápita. Debido principalmente, a la modificación de los patrones de comportamiento doméstico, con mayor superficie de vivienda por habitante, uso de lavadoras, lavavajillas, riego de jardines domésticos, etc.

Las actividades agrícolas y ganaderas representan una presión significativa sobre los recursos hídricos. Según el INE (2004), las operaciones del sistema de riego son aproximadamente el 82% de las captaciones de aguas continentales y no continentales del conjunto de España, aunque la dinámica indica una mejora en la eficiencia de uso del agua, al haber aumentado la superficie de regadío, pero mantenido el nivel de consumo.

El uso de agua industrial se agrupa en función de la clasificación nacional de actividades económicas, que tipifica a la industria en doce apartados. La tabla 2 muestra esta tipificación, así como el consumo per cápita del agua dentro de cada subsector, y el volumen de agua vertida (aguas que se han consumido en puntos superiores del cauce y acaban convirtiéndose en vertidos, que tras la depuración puede volver a ser consumidas de nuevo), así como la demanda biológica de oxígeno (DBO) y la demanda química de oxígeno (DQO) (MIMAN, 2004). El sector que más consume es el industrial, seguido del papel y la industria química, siendo ésta la que más recupera sus aguas vertidas y la más contaminante.

Tabla 2. Uso del agua por subsectores de actividad industrial y valores de DBO y DQO

Subsector industrial	Volumen de agua (km ³ año ⁻¹)	Volumen de agua vertida (km ³ año ⁻¹)	DBO	DQO
Alimentación, bebidas y tabaco	14,19	5,76	1150	3290
Textil, confección, cuero y calzado	24,22	1,78	110	450
Madera y corcho	2,69	0,4	0	0
Papel; edición y artes gráficas	23,34	10,8	60	160
Industria química	21,12	12,02	1120	4570
Caucho y plástico	5,15	3,65	230	110
Otros productos minerales no metálicos	2,43	1,42	40	140
Metalurgia y productos metálicos	17,81	8,27	110	510
Maquinaria y equipo mecánico	1,65	0,88	1	9
Sector eléctrico, electrónico y óptico	0,62	0,44	13	31
Fabricación de material de transporte	2,25	0,99	5	186
Industrias manufactureras diversas	8,76	4,73	9	23

El uso del agua con fines turísticos presenta también complicación, en cuanto a la tipificación de la actividad, el turismo que se realiza en la vivienda secundaria, que cuantificaría a nivel de consumo, prácticamente, como el doméstico (incrementando el gasto de piscinas, riegos, etc.), el turismo industrial, que incluye hoteles, pensiones, apartamentos, casas rurales y camping (que tiene un consumo 4 veces superior al doméstico) y el turismo de “golf”, con alta demanda de agua (Martín-Ortega *et al.*, 2008).

Las siguientes indicaciones representan a modo de decálogo, algunas consideraciones a tener en cuenta para realizar un uso sostenible del agua (Poff *et al.*, 2016):

1. Mantenimiento y reparación de las conducciones en las ciudades, asentamientos humanos e industrias ya que se calcula que un tercio del gasto de agua no es consumo real, sino pérdidas en la red de conducciones. Lo mismo se puede decir de las conducciones agrícolas, de jardinería y del mantenimiento y control del buen funcionamiento de las depuradoras.

2. Reutilización del agua en las industrias, por razones económicas y de disminuir la contaminación, ya que parte del agua necesaria para los procesos de fabricación y que se pierde en los vertidos podría aprovecharse. Teniendo en cuenta el precio de la descontaminación del agua, es más rentable, modificar los procesos industriales para que sean prácticamente secos, es decir involucrar un consumo de cantidades muy pequeñas de agua, justo el suficiente para el funcionamiento de un esquema de circulación cerrada, de manera que no descargasen aguas residuales. En algunos casos el circuito de agua podría involucrar una cadena de industrias de manera que unas utilizaran el agua procedente de las otras o bien porque no necesitaran agua de tanta calidad o bien porque alguno de los productos que descargara al agua la industria precedente, fuera recuperado y favoreciera sus procesos industriales. Si el agua no es reutilizable directamente, la depuración debería ser una parte indispensable de la tecnología de la producción, con el fin de impedir la formación de aguas residuales.

3. Reutilización de las aguas en los usos domésticos, por ejemplo, desagües de las lavadoras o duchas conectados a las cisternas.

4. Reutilización de las aguas en espacios públicos o privados. Las aguas de riego de los jardines, campos de golf u otros espacios deberían proceder de la reutilización de las aguas residuales domésticas, más o menos depuradas, evitando la sobre-evaporación y el encharcamiento. Las fuentes ornamentales deben estar provistas de mecanismos de recirculación.

5. Reducir en los usos domésticos el consumo de agua y el de contaminantes: detergentes, lejías, productos de limpieza, insecticidas o tóxicos en general, etc.

6. Depuración de las aguas residuales cuando sea posible por métodos blandos, lagunaje, filtros verdes, lechos filtrantes aerobios o fitodepuración con macrófitos.

7. Mejora de prácticas agrícolas de riego que repercuta en la eficacia y en la reducción de las concentraciones de contaminantes en las aguas (fertilizantes, plaguicidas, etc.)

8. Evaluar el balance entre los recursos disponibles de agua (superficial y subterránea) y la capacidad de abastecimiento de las cuencas, para determinar el consumo máximo de agua y la capacidad de recarga de los acuíferos.

9. Los trasvases deben reducirse al mínimo y utilizarse exclusivamente en situaciones de emergencia, porque no sólo suponen el hipotecar los recursos de la cuenca que

proporciona el agua del trasvase, sino también los riesgos de salinización o desequilibrios en la química de los suelos que se bañaran con estas aguas.

10. Se deberían recuperar los ríos y la vegetación de la cuenca. El canalizar los ríos es nefasto ya que solo sirve para aumentar la escorrentía rápida y las avenidas y hace desaparecer el bosque de ribera, al provocar su desconexión con el acuífero subálveo asociado. La vegetación es básica para la existencia de un suelo que pueda retener el agua. La vegetación controla el flujo de agua de los ríos y contribuye a su regulación. El recuperar los ríos con su vegetación de ribera contribuiría también a tener sendas o itinerarios de la naturaleza cerca de asentamientos humanos y ciudades.

OBJETIVOS

2. OBJETIVOS

Los ecosistemas forestales desempeñan un papel crucial en el ciclo hidrológico, ya que influyen en la cantidad y calidad del agua disponible y regulan los flujos de agua superficial y subterránea. La puesta en valor de los ecosistemas forestales, sin repercusión negativa sobre los recursos hídricos, es un reto social y medioambiental, ante los escenarios de cambio climático, lo que refuerza cada vez más la importancia de la gestión sostenible del sector forestal.

La influencia de la gestión forestal sobre el ciclo hidrológico es poco conocida, teniendo en cuenta la cantidad de factores que influyen directa e indirectamente en el ciclo hidrológico. Por ello, el principal objetivo de este trabajo es aportar datos sobre la disponibilidad del agua en un área forestal de clima mediterráneo de la Comunitat Valenciana, en concreto, en la comarca de El Camp del Túria y evaluar las repercusiones del ciclo hidrológico sobre la sostenibilidad de las masas forestales, en concreto de las masas forestales presentes en la comarca.

Los objetivos específicos son:

- 1) Poner en valor el concepto de agua forestal y sus repercusiones en la zona mediterránea.
- 2) Relacionar los parámetros del ciclo hidrológico forestal con las repercusiones sobre la gestión sostenible de las masas forestales mediterráneas de la comarca de El Camp del Túria.
- 3) Evidenciar que la provisión del agua es el servicio más importante de las masas forestales mediterráneas, como medida de mitigación de cambio climático.

MATERIAL Y MÉTODOS

3.1. DESCRIPCIÓN DEL AREA DE ESTUDIO

La comarca de El Camp de Túria está situada al norte de la provincia de Valencia. Los límites naturales de esta comarca son la sierra de Calderona en la parte septentrional, las últimas alineaciones ibéricas de la sierra de Javalambre al poniente y el río Túria en su parte meridional. La comarca ocupa una extensa planicie, con una superficie aproximada de 823,35 km² y está formada por 16 poblaciones: Benaguacil, Benisanó, Bétera, Casinos, Domeño, Gatova, Puebla de Vallbona (la más poblada), Lliria (capital de la comarca), Loriguilla, La Eliana, Marines, Náquera, Olocau, Ribarroja del Turia, Serra y Villamarchante.

El paisaje de la comarca es altamente variable, donde contrasta la planicie aluvial del Túria, con las montañas limítrofes, pasando gradualmente de las zonas de agricultura intensiva, a las zonas de secano, finalizando con los mayores relieves, con una dedicación eminentemente forestal (figura 4) (Corine Land Cover, 2017). El paisaje forestal se caracteriza por un arbolado formado mayoritariamente por pino carrasco (*Pinus halepensis*), que es la especie forestal más frecuente en la Comunitat Valenciana, por encinas (*Quercus ilex*) predominantes en el norte de la comarca y por pino resinero (*Pinus pinaster*) que se encuentra en algunas zonas minoritarias.

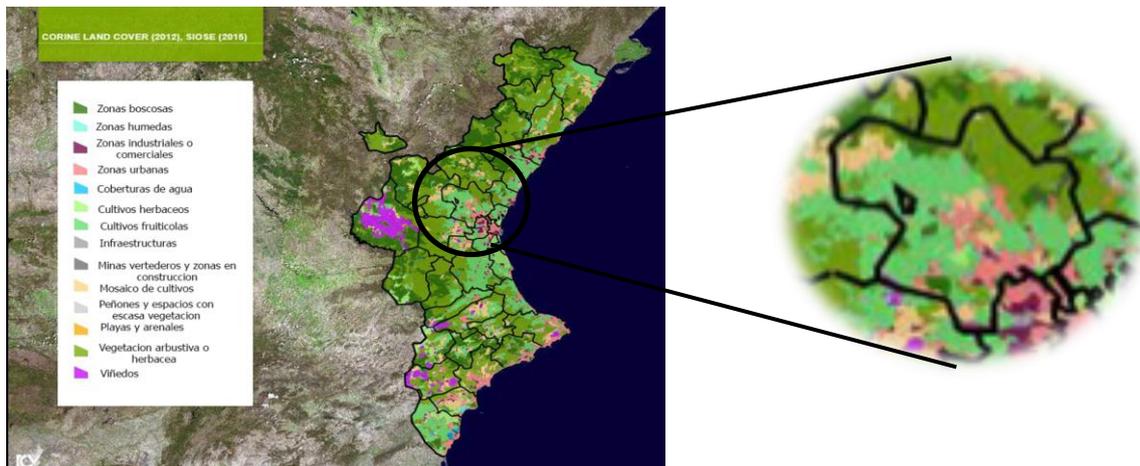


Figura 4. Localización de la comarca de El Camp del Túria y distribución vegetal.

Además, en la zona coexisten zonas de matorral esclerófilo arborescente (maquias y otros matorrales altos), matorral o herbazal de montaña y ambientes frescos, garriga, aliagar mediterráneo, jaral o brezal mediterráneo y otros matorrales y herbazales calcícolas mediterráneos, con presencia de romero y tomillo.

Dentro del marco forestal, en la comarca existen dos subtipos fitoclimáticos; en el tercio norte de la comarca el subtipo IV3-Mediterráneo ilícino, más seco, y en el resto de la comarca, el subtipo IV-2 Mediterráneo extrailícino. Aunque climáticamente las dos zonas son muy similares, el subtipo IV-3 se caracteriza por veranos secos y calurosos, con temperaturas medias por encima de los 22 °C e inviernos húmedos y lluviosos, con temperaturas suaves. Cuanto más frío es el mes, más lluvioso resulta, y a la inversa, cuanto más caluroso es el mes, más seco resulta. Y el subtipo IV-2 se caracteriza por inviernos templados y lluviosos y veranos secos y calurosos, con otoños y primaveras variables, tanto en temperaturas como en precipitaciones.

Para la descripción climática de la comarca de Camp de Túria se emplean los datos de la caracterización biogeográfica y bioclimática (Rivas Martínez, 2007) de la región mediterránea,

3. MATERIAL Y MÉTODOS

subregión mediterránea occidental, sub provincia Valenciana, sector valenciano tarraconense, subsector turiano huertano, distrito turiano, el cual abarca parcialmente el Camp de Túria. Los diagramas climáticos (figura 5) se corresponden a las estaciones meteorológicas de Villamarchante y Casinos (www.globalbioclimats.org), ya que no se pudieron obtener los diagramas de Bétera y Lliria.

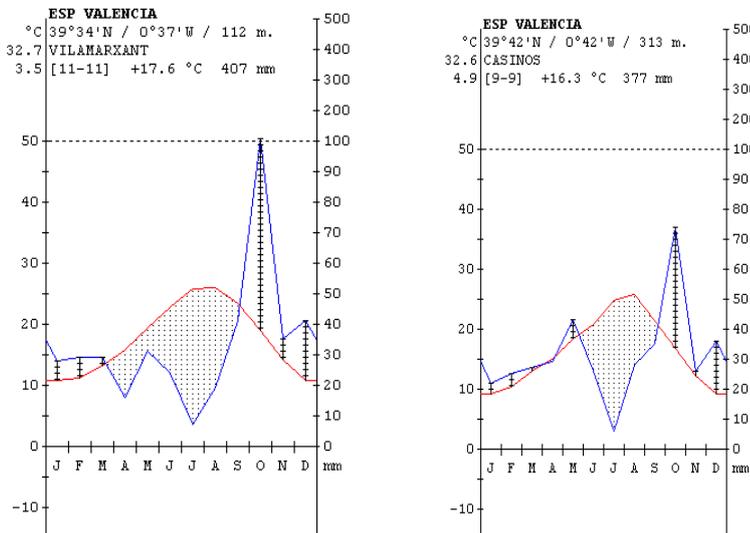


Figura 5. Diagramas climáticos correspondientes a las estaciones meteorológicas de Villamarchante y Casinos.

La zona punteada muestra los meses secos, por lo que la comarca se caracteriza por una secuencia que va desde abril-mayo hasta septiembre donde predomina las situaciones de sequía, siendo julio el mes más seco. Las precipitaciones otoñales tienen un pico de lluvias en octubre, existiendo alternancia con las lluvias menos intensas que se presentan en la primavera. En general, la precipitación acumulada anual está alrededor de los 300-400 mm, distribuidos en aproximadamente 50-75 mm durante la primavera, y otros tantos en el verano, entre 150 y 200 mm durante el otoño y entre 50-150 mm durante el invierno.

El régimen térmico se caracteriza por temperaturas máximas anuales, en la mayor parte de la comarca, de aproximadamente de 19° a 24 °C. La temperatura media, de las mínimas anuales de la zona norte de la comarca, rondan desde los 8-9 °C hasta los 11° y el resto de la comarca una temperatura mínima de 11°-12 °C. La temperatura máxima anual registrada en la comarca ha sido de 32 °C-33 °C en la zona norte de la comarca de 33 °C hasta 36 °C en la zona este y de 37 a 39 °C (ligeramente superiores) al oeste de la comarca. Mientras que las mínimas anuales más bajas han oscilado entre -6 °C y 1 °C.

La litología de la comarca se caracteriza por una gran variedad de estratos geológicos de huecos, arenas, areniscas, pizarras, conglomerados, contraconglomerado, margas, arcillas, yesos, grabas, coluviones, aluviones, limos, arcillas lacustres, dolomías, entre otras. Así, la parte norte y zona perimetral de la comarca, tiene alternancia de margas, arcillas y yesos, con calizas y dolomías, mientras que en la parte de la llanura predominan las zonas de aluvión y contraconglomerado. La erosión de la comarca es baja o media en casi todo el territorio a excepción de algunas zonas aisladas y en la parte noreste, en la cual existe una erosión alta o muy alta.

3.2. METODOLOGÍA

En ciencias forestales, la obtención de mediciones directas del uso de agua de un determinado bosque o área boscosa presenta dificultades, a veces, insalvables, por ello, en muchas ocasiones se recurre a validar modelos de simulación de variación del contenido de agua del suelo. En modelos de simulación basados en ecuaciones de balance, como la ecuación universal de balance hídrico, la precipitación y la evapotranspiración son normalmente "inputs". En el caso de bosques la evapotranspiración es desconocida por la inexistencia de coeficientes de cultivo; sin embargo ésta puede ser estimada mediante rectificación o calibración de la variación anual del contenido de agua del suelo que cumpla con supuestos de validez universal.

Para realizar el balance de agua en la zona boscosa de la comarca del Camp del Túria se aplicará la metodología que muestra Savé *et al.* (2005), donde establece que el almacenamiento de agua en el espacio es la diferencia entre las entradas y salidas de agua del bosque.

$$\text{Almacenamiento} = \text{Entradas} - \text{Salidas}$$

Donde el almacenamiento lo configura el agua del suelo y el que se acumula en la madera. Las entradas son los flujos de agua por precipitación (Pp) y escorrentía (E). Mientras que las salidas están formadas por la evapotranspiración real (ETR) y la infiltración (IF).

Los datos de la precipitación se obtienen de los registros mensuales.

La escorrentía anual se calcula mediante la fórmula de la ley regional de Budyko (1961):

$$E = P \cdot e^{-\frac{ETP}{P}}$$

Donde:

P= precipitación (mm)

ETP = evapotranspiración potencial

E= escorrentía

Thornthwaite (1948) denominó evapotranspiración potencial (ETP) a la evapotranspiración que se produciría si la humedad del suelo y la cubierta vegetal estuvieran en condiciones óptimas. Para calcular la ETP mediante la fórmula de Thornthwaite:

1º) Se calcula el índice de calor mensual (i) a partir de la temperatura media mensual (t):

$$i = \left(\frac{t}{5} \right)^{1,514}$$

2º) Se calcula el índice de calor anual (I) sumando los 12 valores de i:

$$I = \sum i$$

3º) Se calcula la ETP mensual sin corregir mediante la fórmula:

$$ETP_{\text{sin corr.}} = 16 \left(\frac{10 \cdot t}{I} \right)^a$$

Donde:

$ETP_{sin\ corr} = ETP\ mensual\ (mm)/mes$ para meses de 30 días y 12 horas de sol (teóricas)

t = temperatura media mensual (°C)

I = índice de calor anual

$$a = 675 \cdot 10^{-9} I^3 - 771 \cdot 10^{-7} I^2 + 1792 \cdot 10^{-5} I + 0,49239$$

4º) Se corrige la fórmula para el número de días del mes y el número de horas de sol, mediante la fórmula:

$$ETP = ETP_{sin\ corr} \cdot \frac{N}{12} \cdot \frac{d}{30}$$

Donde:

N = número máximo de horas de sol, dependiendo del mes y de la latitud

d = número de días del mes

Para calcular la evapotranspiración real (ETR) se emplea la fórmula de Turc (1961):

$$ETR = \frac{P}{\sqrt{0,9 + \frac{P^2}{L^2}}}$$

Donde:

ETR = evapotranspiración real (mm/año)

P = Precipitación en mm/año

$L = 300 + 25 t + 0,05 t^3$ siendo t = temperatura media anual (°C)

Para calcular la Infiltración, se emplea la expresión:

$$\text{Precipitaciones} + \text{Riego} = ETP + \text{Infiltración}$$

Teniendo en cuenta que se trata de terrenos forestales, se excluye el parámetro riego de dicha ecuación, quedando que las Precipitaciones = ETP + Infiltración

Por lo que se deduce que Infiltración = Precipitaciones - ETP

Para el cálculo del balance hídrico en la zona de El Camp del Túria se han utilizado los registros climáticos de las estaciones climatológicas de Llíria y Bétera y se ha realizado un estudio de que permite conocer el balance hídrico acontecido en los cinco últimos años, desde 2013 a 2017.

3.3. TRATAMIENTO DE LOS DATOS

Para establecer el balance de agua instantáneo de la masa forestal de la comarca de El Camp del Túria, se trabajará con los datos climáticos de las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera, desde los años 2013 al 2017, y se evaluará mediante hoja de cálculo, los valores de cada parámetro que interviene en los flujos de entradas y salidas de agua en la zona y se realizará el balance de los parámetros que influyen en el ciclo hidrológico en estas zonas boscosas, en función de los datos disponibles.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.1. EL AGUA FORESTAL MEDITERRÁNEA COMO HERRAMIENTA DE MITIGACIÓN DEL CAMBIO CLIMÁTICO

La FAO divide el planeta en 230 principales cuencas hidrográficas, que en 2015 contaban con un valor promedio del 28,8% de cubierta arbórea (FAO, 2011). La cubierta arbórea histórica hace referencia a la estimación de la cubierta de árboles correspondiente a los decenios anteriores al año 2000, y se valora que estas cuencas hidrográficas tenían en promedio un 67,8% de cubierta de árboles, pero en 2000 se situaban solo en el 30,7% de media (Hansen *et al.*, 2013). Aproximadamente el 38% de las cuencas hidrográficas perdieron más del 50% de su cubierta arbórea antes del año 2000 y más del 40% lo hicieron en 2014. De las cuencas que habían perdido más del 50% de cubierta arbórea en 2015, el 88% corre un riesgo entre medio y muy alto de erosión, el 68% tiene un riesgo entre medio y muy alto de incendios forestales y el 48% un riesgo entre medio y muy alto de sufrir estrés hídrico general (WRI, 2017), acciones que de forma aislada y en su conjunto contribuyen a los efectos de cambio climático.

La pérdida de cubierta forestal también repercute en la disponibilidad de agua, en especial cuando el uso del suelo de bosque natural se convierte a otros usos que degradan o compactan los suelos, con lo que se reduce la capacidad de infiltración, la de almacenamiento de agua y la reposición de las aguas subterráneas (Bruijnzeel, 2014).

Cada espacio y territorio tiene un ciclo hidrológico característico, que está directamente relacionado con los parámetros del clima que presenta, régimen de lluvias, fenómenos de sequía estival, heladas, lluvias torrenciales, etc. El balance hídrico del territorio presenta importantes matices asociados a la utilización que la vegetación hace del agua y de las características del suelo, donde la vegetación se sustenta, etc. A modo de ejemplo, los periodos de temporales climáticos y de lluvia y sus repercusiones, son diferentes para los suelos desnudos, las tierras agrícolas, los pastos, las áreas forestales, los roquedos o las zonas pavimentadas, las zonas de clima tropical o las zonas de clima mediterráneo.

El agua forestal es el conjunto de los caudales del ciclo hidrológico que se produce en las áreas forestales, que tienen el inicio en las precipitaciones que recibe la zona y está considerado como el servicio ambiental más valioso producido por el monte mediterráneo. El balance hídrico de la masa forestal está constituido por los siguientes elementos: precipitación, interceptación, evaporación, escorrentía, infiltración, transpiración, e infiltración profunda, es decir, los principales parámetros que intervienen en el ciclo del agua.

La composición de agua forestal se divide en dos conceptos; el agua azul y el agua verde. Bajo el término de agua azul forestal se agrupa toda el agua que va a parar a la red hidrológica. Bajo el concepto de agua verde se agrupa toda el agua que se va a convertir en materia vegetal o vuelve a la atmósfera en forma de interceptación, transpiración y evaporación.

Así el concepto de agua forestal es la suma del agua azul más el agua verde. Su volumen y proporción varían con el año climático y con la zona. Y el concepto de agua forestal en cada área boscosa es único y particular. Por lo que modificar la composición y estructura vegetal del bosque modificará la composición de su balance hídrico. En consecuencia, la composición del agua forestal se puede modificar a través de herramientas como la silvicultura y proporciona una visión innovadora sobre las posibles consecuencias que las masas forestales proporcionan sobre la mitigación al cambio climático. En la misma medida, cualquier actuación como claras,

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

desbroces, modificación de la carga ganadera, no intervención para la conservación, etc. van a influir en el agua forestal. Por ejemplo, las cortas o las claras incrementan el porcentaje y los valores absolutos medios de agua azul, pero disminuyen los de agua verde; las masas irregulares en tratamiento de entresaca, generan menores porcentajes de agua azul que los montes regulares; y en la misma línea, las precipitaciones horizontales en masas cercanas al litoral son superiores en masas con subpiso de matorral.

En la misma línea es importante tener en cuenta los servicios ecosistémicos relacionados con el agua a la hora de adoptar decisiones en materia de gestión forestal, por ejemplo sobre la elección de las especies, de modo que se gestionen de manera sostenible y responsable, con lo que se reducirá la huella hídrica, contribuyendo así al bienestar y la resiliencia del entorno. En este sentido, Granados y López (2007) indican que las zonas boscosas, independientemente de su configuración, son consumidoras de agua. Pero, la variación del consumo en función del tiempo, varía con el tipo de plantación, así las plantaciones de eucalipto sp, consumen mayor nivel de agua que las de pino sp. debido a que no entran en reposo invernal, por lo que las reforestaciones y acciones similares deben ser muy respetuosas, no sólo por el mantenimiento de la biodiversidad territorial, sino también por las repercusiones su consumo de agua.

Cada territorio responde a un modelo de ciclo hídrico. Por lo que el concepto de agua forestal, la gestión del ciclo hídrico forestal, así como la provisión de agua del bosque, se convierte en el servicio más importante de las masas forestales mediterráneas y es esencial para garantizar su función productiva, protectora y recreativa, es decir para garantizar la multifuncionalidad y los servicios ecosistémicos o ambientales del bosque.

Por otro lado, algunas teorías sobre el agua forestal, deberían revisarse y contrastarse, por ejemplo, se sobrevalora el papel de las masas forestales frente a las riadas, pero la realidad es que la capacidad de regulación del bosque frente a las avenidas de agua es claramente inferior a la real, ya que depende en mayor medida del flujo de las precipitaciones, aunque los bosques si tienen una acción muy influyente sobre la calidad de las aguas que generan estos fenómenos de avenidas, ya que disminuye o elimina las aguas marrones cargadas de sedimentos, y en consecuencia disminuye la erosión y la agresividad de la avenida (Qin *et al.*, 2016). Otro ejemplo, podría ser la creencia de que a escala local, los bosques mediterráneos aumentan las precipitaciones y que en consecuencia tienen un efecto en el incremento de los caudales de la red hidrográfica. Esta creencia no es correcta, ya que los bosques mediterráneos no incrementan las precipitaciones, pero sí garantizan su calidad y la fertilidad de los suelos.

El conocimiento sobre el agua forestal mediterránea está disperso, descontextualizado y generalmente de difícil acceso en el día a día de la gestión forestal. Sin embargo, es posible estimar la evapotranspiración en el bosque, por la huella que ésta deja en el suelo, como el contenido de agua de la porción de suelo donde crece el sistema radicular de las especies forestales. También por los movimientos de redistribución hídrica hacia estratos profundos, aunque este volumen de agua es pequeño en comparación al movimiento del agua ocasionado por el poder de evaporación de la atmósfera. El problema se reduce entonces a diseñar un método que permita obtener la tasa con que pierde agua la porción de suelo donde crece el sistema radicular del bosque durante un período climático, para obtener una estimación exacta y precisa de su evapotranspiración.

4.2. CÁLCULO DE LAS VARIABLES RELACIONADAS CON EL CICLO DEL AGUA EN LA ZONA BOSCOSA DE EL CAMP DEL TÚRIA

El ciclo del agua es un proceso permanente en la historia de la biosfera terrestre. Evoluciona continuamente y se manifiesta como un modelo climático estable, con significativas variaciones interanuales. A escala geológica ha sufrido radicales variaciones, algo que en otras dimensiones de escala es más difícil de concluir.

Las áreas forestales juegan un papel muy importante en el balance global de agua y energía del planeta. Algunos autores indican que los bosques requieren cantidades de agua mayores que otros territorios que presentan condiciones ambientales similares (Rutter, 1975; Piñol *et al.*, 1999; Valentini, 2003). El balance del ciclo del agua en una zona de bosque, y su control, es esencialmente el mismo que rige el clima en condiciones de mesoescala, con las particularidades y diferencias que se puedan producir en función de la masa forestal, la rugosidad aerodinámica de las superficies y la evapotranspiración de las cubiertas verdes. Los dos primeros están asociados a las características estructurales de los vuelos (forma, tamaño, densidad, color, inclinación, etc.), el tercero está relacionado con las resistencias al paso del agua a través de los estomas y en consecuencia también con los dos primeros factores.

Para realizar el balance de agua es importante tener en cuenta si el vuelo del bosque se encuentra en condiciones de elevada humedad, o incluso mojado, o en condiciones de sequía edáfica y ambiental. En el primer caso serán muy importantes la forma y rugosidad del vuelo del bosque, ya que permitirá una mayor y más eficiente transferencia de vapor de agua debido a la turbulencia que la rugosidad genera, lo que es importante en situaciones de baja radiación, como los días del invierno, los días de lluvia, los días de niebla, etc. En estas ocasiones, el vuelo intercepta positivamente el agua en forma de niebla, la cual, puede ser condensada y aportada al suelo como lluvia, también puede ser absorbida por las hojas e incluso puede disminuir la transpiración de las hojas al mantener húmedas sus superficies (Grammatikopoulos y Manetas, 1994; Savé *et al.*, 2005). La evaporación desde los vuelos aumenta exponencialmente con la temperatura, debido a los efectos de ésta sobre el déficit de presión de vapor, junto con la turbulencia que genera la rugosidad de la cubierta (Kelliher y Jackson, 2001). Así, los ecosistemas generalmente pierden más agua interceptada por evaporación de vuelo en climas cálidos que en fríos.

4.2.1. Evaluación de entradas de agua en la zona boscosa de El Camp del Túria

Las entradas de agua en la zona forestal de El Camp del Túria se estiman como, los valores por precipitación (Pp) y escorrentía (E). Para evaluar los cálculos se precisan los datos climáticos de las precipitaciones y de las temperaturas promedio mensuales.

La tabla 3 muestra los valores de la precipitación media mensual (Pp) de los años 2013 al 2017 registrados en las estaciones de Lliria y Bétera.

Se observa que las precipitaciones anuales han sido superiores en los registros de la zona de Lliria que en la de Bétera, siendo el registro más alto el alcanzado en 2015 en la zona de Lliria con 422,31 mm. Los años menos lluviosos han sido los de 2013 y 2014, siendo el 2014 en la zona de Bétera el año con menor pluviometría del registro analizado.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 3. Precipitación media mensual (mm) y anual registrada entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera

Mes	Precipitación media (mm) en Llíria					Precipitación media (mm) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	3,23	4,24	11,2	2,83	122,62	2,22	4,34	7	1,82	143,39
Febrero	29,49	21,41	11	6,46	14,34	31,82	16,46	5,4	9,09	19,19
Marzo	43,63	11,92	154,6	15,96	71,71	49,79	10,2	84,8	14,34	58,58
Abril	91,71	10,3	4,2	35,15	25,65	87,87	11,82	5,3	20	18,58
Mayo	23,84	2,42	18,4	48,88	5,45	3,33	7,7	11,6	32,32	6,26
Junio	6,06	35,76	39,8	0,4	28,88	0	16,3	41,7	0,61	23,61
Julio	14,55	9,69	39	3,84	7,92	3,43	24,3	14,2	1,82	1,21
Agosto	60,8	0,81	35,6	12,72	44,16	36,86	0,7	22,6	16,16	45,23
Septiembre	1,82	39,8	20,43	33,54	10,3	0	46,5	20,5	30,3	3,62
Octubre	6,46	13,4	30,91	22,22	6,73	7,47	7,3	28,28	20	8,64
Noviembre	3,23	96	54,75	101,6	6,93	1,82	60,4	61,81	95,55	10,85
Diciembre	10,91	29,6	2,42	79,18	1,39	6,67	9	1,21	116,97	1,01
Total	295,73	275,35	422,31	362,78	346,08	231,28	215,02	304,4	358,98	340,17

La tabla 4 muestra los valores de temperatura media mensual (t) de los años 2013 al 2017 registrados en las estaciones de Llíria y Bétera.

Tabla 4. Temperatura media mensual (°C) y promedio anual registrada entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera

Mes	Temperatura media mensual (°C) en Llíria					Temperatura media mensual (°C) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	9,65	10,51	8,55	10,97	7,87	10,18	11,35	8,95	11,67	8,29
Febrero	9,39	10,51	8,79	11,29	10,66	10,4	11,43	9,61	11,83	11,29
Marzo	12,39	11,87	12,21	11,87	12,38	13,37	12,19	12,61	12,39	12,66
Abril	13,08	16,61	13,93	14,53	13,61	13,8	16,93	14,48	14,96	13,9
Mayo	15,58	17,61	19,27	16,95	18,4	16,31	18,08	19,73	17,58	18,88
Junio	20,48	21,82	22,21	21,94	23,68	20,95	22,1	22,57	21,92	23,81
Julio	24,62	23,62	26,26	24,67	24,81	24,91	23,86	26,38	24,65	25
Agosto	23,72	24,81	24,41	24,31	24,41	24,08	25,05	25,15	24,5	24,62
Septiembre	21,53	22,86	20,25	21,86	20,86	22,09	23,39	21,01	22,22	21,12
Octubre	19,22	19,14	16,91	18,18	18,06	19,73	19,51	17,44	18,75	18,15
Noviembre	12,3	13,14	12,98	12,18	11,93	13,2	13,81	13,38	12,67	12,08
Diciembre	8,4	8,77	10,46	9,62	8,93	8,81	9,29	10,7	10,16	9,23
Promedio	15,863	16,772	16,352	16,531	16,3	16,486	17,249	16,834	16,942	16,586

Se observa que la zona de Bétera presenta temperaturas unas décimas de grado ligeramente superiores a las de Llíria, coincidiendo los años menos lluviosos con los más cálidos.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Para el cálculo de las entradas por escorrentía se calcula previamente los datos de evapotranspiración potencial (ETP), para ello, hay que determinar el índice de calor mensual (i) y el índice de calor anual (I), con estos valores se determina el valor de la evapotranspiración potencial mensual y anual sin corregir (ETP *sin corr.*) y por último se corrige la fórmula para el número de días del mes y el número de horas de sol, y se obtiene los datos de la evapotranspiración potencial mensual y anual.

La tabla 5 muestra los valores del índice de calor mensual (i) y el índice de calor anual (I) con los registros climáticos de las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera. Donde se observa que en todos los casos los meses con los índices más altos son julio y agosto, y excepcionalmente el mes de junio de 2017. También se observa que la zona de Bétera presenta los años con mayor índice de calor y que el año con mayor índice fue en ambas zonas el 2014.

Tabla 5. Valores de índice de calor mensual (i) y el índice de calor anual (I) entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera

Mes	Índice de calor mensual (i) en Lliria					Índice de calor mensual (i) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	2,706	3,079	2,253	3,286	1,987	2,934	3,460	2,414	3,608	2,150
Febrero	2,596	3,079	2,349	3,432	3,146	3,031	3,497	2,689	3,683	3,432
Marzo	3,951	3,702	3,864	3,702	3,946	4,433	3,855	4,057	3,951	4,082
Abril	4,288	6,157	4,717	5,028	4,554	4,651	6,338	5,002	5,255	4,702
Mayo	5,589	6,727	7,710	6,349	7,189	5,990	7,001	7,991	6,710	7,475
Junio	8,455	9,306	9,559	9,384	10,534	8,750	9,488	9,795	9,371	10,621
Julio	11,173	10,493	12,319	11,207	11,304	11,373	10,655	12,404	11,194	11,435
Agosto	10,560	11,304	11,029	10,961	11,029	10,804	11,470	11,539	11,091	11,173
Septiembre	9,120	9,986	8,312	9,332	8,694	9,481	10,339	8,788	9,566	8,858
Octubre	7,680	7,632	6,327	7,060	6,989	7,991	7,856	6,629	7,397	7,042
Noviembre	3,907	4,318	4,239	3,850	3,731	4,348	4,656	4,438	4,087	3,802
Diciembre	2,193	2,341	3,057	2,693	2,406	2,358	2,555	3,164	2,925	2,530
Índice de calor anual (I)	72,219	78,127	75,736	76,285	75,509	76,144	81,168	78,912	78,839	77,302

La tabla 6 muestra los valores de la evapotranspiración potencial mensual y anual sin corregir (ETP *sin corr.*) con los registros climáticos de las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 6. Valores de la evapotranspiración potencial mensual y anual sin corregir (ETP *sin corr.*) entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera

Mes	Evapotranspiración potencial sin corregir (ETP <i>sin corr.</i>) en Llíria					Evapotranspiración potencial sin corregir (ETP <i>sin corr.</i>) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	92,983	90,996	95,875	90,015	97,908	91,733	89,242	94,772	88,616	96,628
Febrero	93,628	90,996	95,206	89,362	90,670	91,238	89,084	93,081	88,311	89,362
Marzo	87,284	88,236	87,608	88,236	87,302	85,618	87,644	86,896	87,284	86,809
Abril	86,095	81,043	84,734	83,834	85,234	84,935	80,653	83,907	83,218	84,780
Mayo	82,367	79,853	78,053	80,628	78,971	81,418	79,322	77,588	79,887	78,458
Junio	76,859	75,636	75,298	75,531	74,086	76,419	75,392	74,992	75,548	73,984
Julio	73,360	74,134	72,172	73,322	73,217	73,143	73,944	72,089	73,337	73,076
Agosto	74,054	73,217	73,519	73,595	73,519	73,773	73,039	72,965	73,451	73,360
Septiembre	75,893	74,750	77,079	75,601	76,502	75,401	74,318	76,364	75,289	76,263
Octubre	78,104	78,187	80,677	79,212	79,344	77,588	77,809	80,049	78,595	79,245
Noviembre	87,445	85,995	86,262	87,662	88,124	85,896	84,919	85,602	86,791	87,845
Diciembre	96,306	95,261	91,106	93,057	94,826	95,151	93,882	90,584	91,779	94,036
ETP <i>sin corr.</i> anual	1004,38	781,03	988,30	990,05	999,70	992,31	979,25	988,89	982,11	993,84

La tabla 7 muestra los valores de la evapotranspiración potencial (mm) mensual y anual (ETP) con los registros climáticos de las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera. En general el mes de mayor evapotranspiración es mayo y el año con mayores valores el 2017.

Tabla 7. Valores de la evapotranspiración potencial (mm) mensual y anual (ETP) entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera

Mes	Evapotranspiración potencial (ETP) en Llíria					Evapotranspiración potencial (ETP) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	61,012	46,153	61,507	51,933	58,005	53,873	47,645	61,534	48,380	55,832
Febrero	61,864	56,197	57,602	59,185	56,351	53,626	55,575	58,872	57,242	55,749
Marzo	74,936	69,751	64,652	69,751	73,071	66,723	71,622	63,378	70,200	72,958
Abril	73,109	74,695	76,966	74,473	73,301	69,576	73,259	75,656	74,064	73,759
Mayo	84,616	81,552	82,268	79,706	81,739	80,206	81,283	81,711	79,523	81,884
Junio	74,873	76,644	77,933	79,874	76,864	78,138	76,460	76,742	79,452	76,943
Julio	78,206	79,031	75,324	77,597	77,108	78,604	78,447	74,678	77,297	77,525
Agosto	68,998	71,938	69,892	71,993	70,715	69,053	71,071	69,429	72,357	70,878
Septiembre	64,572	61,793	62,434	64,261	64,134	57,682	61,807	61,982	64,435	63,870
Octubre	54,478	58,901	54,591	53,930	59,178	57,480	58,681	54,233	54,624	59,235
Noviembre	51,806	49,762	56,379	48,085	57,748	52,294	49,652	57,201	48,803	58,473
Diciembre	52,968	54,616	49,880	46,606	56,105	47,734	53,826	49,217	44,972	55,795
ETP anual (mm)	801,44	781,03	789,43	777,39	804,32	764,99	779,33	784,64	771,35	802,90

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

La tabla 8 muestra los valores de la escorrentía (mm) mensual y anual (E) con los registros climáticos de las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera. Se observa que los datos de escorrentía son variables, si bien en los años 2013 y 2014, independientemente de la zona es donde menor escorrentía se produce.

Tabla 8. Valores de escorrentía (mm) mensual y anual (E) entre 2013 y 2017 en las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera

Mes	Escorrentía (E) en Lliria					Escorrentía (E) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	0,002	$3,0 \cdot 10^{-8}$	76,405	$6,4 \cdot 10^{-11}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	0,001	$5,2 \cdot 10^{-12}$	97,144
Febrero	3,6	$3,1 \cdot 10^{-1}$	0,002	$6,8 \cdot 10^{-4}$	0,282	5,9	$5,6 \cdot 10^{-1}$	0,000	$1,7 \cdot 10^{-2}$	1,051
Marzo	7,8	$7,3 \cdot 10^{-3}$	87,722	$2,0 \cdot 10^{-1}$	25,885	$1,3 \cdot 10^{+1}$	$9,110^{-3}$	40,161	$1,1 \cdot 10^{-1}$	16,860
Abril	$4,1 \cdot 10^{+1}$	$3,9 \cdot 10^{-3}$	0,000	4,2	1,472	$4,0 \cdot 10^{+1}$	$2,410^{-2}$	0,000	$4,9 \cdot 10^{-1}$	0,351
Mayo	$6,9 \cdot 10^{-1}$	$1,1 \cdot 10^{-14}$	0,265	9,6	0,000	$1,2 \cdot 10^{-1}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,010	2,8	0,000
Junio	$2,6 \cdot 10^{-5}$	4,3	6,001	$7,6 \cdot 10^{-88}$	2,017	0,00	$1,5 \cdot 10^{-1}$	6,621	$1,7 \cdot 10^{-57}$	0,907
Julio	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	6,129	$6,4 \cdot 10^{-9}$	0,000	$3,8 \cdot 10^{-10}$	$9,6 \cdot 10^{-1}$	0,074	$6,5 \cdot 10^{-19}$	0,000
Agosto	$2,0 \cdot 10^{+1}$	$4,5 \cdot 10^{-40}$	4,514	$4,410^{-2}$	8,904	5,7	$5,6 \cdot 10^{-45}$	1,047	$1,8 \cdot 10^{-1}$	9,438
Septiembre	$7,1 \cdot 10^{-16}$	6,1	0,470	4,9	0,020	0,00	$1,2 \cdot 10^{+1}$	0,997	3,6	0,000
Octubre	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	2,273	2,0	0,001	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	4,155	1,3	0,009
Noviembre	$3,5 \cdot 10^{-7}$	$3,9 \cdot 10^{+1}$	11,327	$6,310^{+1}$	0,002	$6,0 \cdot 10^{-13}$	$2,7 \cdot 10^{+1}$	24,499	$5,7 \cdot 10^{+1}$	0,050
Diciembre	$8,5 \cdot 10^{-2}$	1,2	0,000	$4,4 \cdot 10^{+1}$	0,000	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,000	$8,0 \cdot 10^{+1}$	0,000
E anual (mm)	73	51	118,7	128,2	115	64	41	77,5	145	125,8

Con los datos de la precipitación y la escorrentía se determina la entrada de agua en el territorio. La tabla 9 muestra los valores de las entradas de agua en la zona con los registros climáticos de las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera.

La zona de Bétera, presenta menores entradas de agua para el balance hídrico que la zona de Lliria. Los años 2013 y 2014, independientemente de la zona de registro de datos, son los que menos entradas de agua registran en la zona, siendo 2015 el año de mayor entrada en la zona de Lliria y el 2016 para la zona de Bétera.

La gran mayoría de episodios de precipitación, la cantidad de lluvia que atraviesa el vuelo del bosque está muy condicionada por la forma, tamaño y grosor de la cubierta. Desde el punto de vista hidrológico y de la mantención de los equilibrios hídricos, es preferible tener la zona forestada ya que la vegetación, en conjunto con el suelo, ejercen un rol regulador en un proceso precipitación-escorrentía. Así, una vez precipitada la lluvia, este complejo la retiene, impidiendo su libre circulación. Con ello se propicia la posibilidad de generar una infiltración de agua en el suelo, lo que favorece una infiltración más profunda (percolación), que se traduce en una recarga de agua hacia el acuífero, aumentando o manteniendo las reservas de agua. Estas reservas son las responsables de la generación de los caudales estivales, especialmente en la zona de clima mediterráneo donde los cuales las precipitaciones son muy bajas en el periodo primavera-verano.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 9. Valores de entradas de agua (mm) mensual y anual entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera

Mes	Entradas (mm) en Llíria					Entradas (mm) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	3,230	4,240	11,202	2,830	199,025	2,220	4,340	7,001	1,820	240,534
Febrero	33,109	21,715	11,002	6,461	14,622	37,719	17,022	5,400	9,107	20,241
Marzo	51,462	11,927	242,322	16,162	97,595	62,826	10,209	124,961	14,447	75,440
Abril	133,035	10,304	4,200	39,375	27,122	127,677	11,844	5,300	20,493	18,931
Mayo	24,525	2,420	18,665	58,451	5,450	3,330	7,700	11,610	35,080	6,260
Junio	6,060	40,073	45,801	0,400	30,897	0,000	16,450	48,321	0,610	24,517
Julio	14,617	9,695	45,129	3,840	7,920	3,430	25,263	14,274	1,820	1,210
Agosto	80,346	0,810	40,114	12,764	53,064	42,522	0,700	23,647	16,344	54,668
Septiembre	1,820	45,884	20,900	38,477	10,320	0,000	58,808	21,497	33,913	3,620
Octubre	6,461	13,439	33,183	24,182	6,731	7,473	7,302	32,435	21,303	8,649
Noviembre	3,230	135,196	66,077	164,892	6,932	1,820	86,948	86,309	152,884	10,900
Diciembre	10,995	30,785	2,420	123,133	1,390	6,675	9,023	1,210	196,604	1,010
Entrada anual (mm)	368,891	326,489	541,014	490,967	461,068	295,693	255,609	381,965	504,424	465,979

De no existir la masa forestal, los suelos superficiales son erosionados, lo que genera la destrucción de los horizontes superficiales del suelo y una escasa capacidad de retención del agua. La capacidad de retención se incrementa cuando se mezcla el suelo mineral con la materia orgánica aportada por la vegetación, y si la presencia de la vegetación arbórea es alta, hace que se genere un obstáculo notable al paso del agua, disminuyendo las velocidades de escorrentía fuera de la zona. Bajo la ausencia del horizonte superior del suelo y la ausencia de materia orgánica, se produce en un corto plazo de tiempo, la transformación de la precipitación en escorrentía superficial. Este movimiento superficial del agua posee una importante capacidad de arrastre, incrementando el fenómeno erosivo y la emisión de sedimentos (Wine y Zou, 2012). Todo esto hace reducir el ciclo hidrológico al contexto de la precipitación y la escorrentía superficial como las variables más relevantes, descartándose en gran medida, el rol que juega la variable hidrogeológica a la posibilidad de aumentar y mantener las reservas de agua.

4.2.2. Evaluación de salidas de agua en la zona boscosa de El Camp del Túria

En el balance hídrico las salidas de agua en la zona forestal de El Camp del Túria se estiman como, los valores por la evapotranspiración real (ETR) y la infiltración (IF). Para evaluar los cálculos se precisan los datos climáticos de las precipitaciones y de las temperaturas promedio mensuales.

La tabla 10 muestra los valores de la evapotranspiración real (RTR) media mensual y anual (mm) de los años 2013 al 2017 registrados en las estaciones de Llíria y Bétera.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Tabla 10. Valores de evapotranspiración real (ETR) mensual y anual (mm) entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera

Mes	ETR (mm) en Llíria					ETR (mm) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	3,405	4,469	11,806	2,983	129,308	2,340	4,575	7,379	1,918	151,218
Febrero	31,088	22,569	11,595	6,810	15,116	33,544	17,351	5,692	9,582	20,229
Marzo	45,994	12,565	163,012	16,824	75,599	52,488	10,752	89,401	15,116	61,755
Abril	96,686	10,857	4,427	37,053	27,039	92,636	12,460	5,587	21,082	19,586
Mayo	25,130	2,551	19,396	51,527	5,745	3,510	8,117	12,228	34,069	6,599
Junio	6,388	37,695	41,954	0,422	30,443	0,000	17,182	43,956	0,643	24,887
Julio	15,337	10,214	41,110	4,048	8,348	3,616	25,615	14,968	1,918	1,275
Agosto	64,090	0,854	37,526	13,408	46,549	38,854	0,738	23,823	17,034	47,677
Septiembre	1,918	41,954	21,535	35,355	10,857	0,000	49,016	21,609	31,939	3,816
Octubre	6,809	14,125	32,583	23,422	7,094	7,874	7,695	29,811	21,082	9,107
Noviembre	3,405	101,210	57,717	107,117	7,305	1,918	63,673	65,160	100,736	11,437
Diciembre	11,501	31,204	2,551	83,481	1,465	7,031	9,487	1,275	123,334	1,065
ETR anual (mm)	311,751	290,267	445,213	382,450	364,869	243,811	255,609	320,889	378,456	358,652

Los árboles consumen agua mediante dos procesos distintos. En primer lugar, el agua es absorbida por las raíces del árbol en el suelo, evaporándose a través de los poros o estomas en la superficie de las hojas. Este proceso es conocido como transpiración y es un proceso fisiológico que actúa en respuesta a factores edáficos y atmosféricos. El segundo proceso es la interceptación de agua por las superficies de las hojas, ramas y troncos durante los eventos de lluvia, y su posterior evaporación. Las pérdidas por interceptación se ven reforzadas por la elevada turbulencia atmosférica creada por las copas de los árboles, debido a su altura y su rugoso perfil aerodinámico. En cualquier cubierta vegetal y sobretodo en un bosque, el vuelo, las hojas que constituyen la cubierta, son el primer gran factor que condicionará la cantidad de agua que recibe un bosque.

El conjunto de los dos procesos es denominado como evapotranspiración y se refiere a la cantidad de agua que podría evapotranspirarse dependiendo de las disponibilidades de agua. Ambos procesos se ven fuertemente afectados por la cantidad de luz solar, la temperatura y la humedad atmosférica, así como también la velocidad del viento. De este modo, los árboles tienen la capacidad de utilizar más agua que la mayoría de los otros tipos de vegetación, aunque la cuestión de si lo hacen o no, y en qué medida, depende de muchos factores (Jofre y Rambal, 1993).

La ETR depende, evidentemente, de las disponibilidades hídricas del territorio, ya que no puede evaporarse más agua de la que de forma efectiva éste dispone. La ETP, en cambio, representa la cantidad máxima de agua que podría perderse hacia la atmósfera si no existieran límites a su suministro. Las mayores diferencias relativas entre ETP y ETR se dan en los territorios más secos y las menores en los más húmedos. La ETR en España tiene un valor medio de 454

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

mm al año (GeoPortal, 2018), valores que se alcanzan en la zona de Llíria para el año 2015, en el resto de los casos la ETR está por debajo de la media nacional

La infiltración es el segundo parámetro para calcular las salidas hídricas. La tabla 11 muestra los valores de la infiltración (I) media mensual y anual (mm) de los años 2013 al 2017 registrados en las estaciones de Llíria y Bétera.

Tabla 11. Valores de infiltración (I) mensual y anual (mm) entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Llíria y Bétera

Mes	I (mm) en Llíria					I (mm) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	57,78	41,91	50,31	49,10	-64,62	51,65	43,31	54,53	46,56	-87,56
Febrero	32,37	34,79	46,60	52,72	42,01	21,81	39,12	53,47	48,15	36,56
Marzo	31,31	57,83	-89,95	53,79	1,36	16,93	61,42	-21,42	55,86	14,38
Abril	-18,60	64,39	72,77	39,32	47,65	-18,29	61,44	70,36	54,06	55,18
Mayo	60,78	79,13	63,87	30,83	76,29	76,88	73,58	70,11	47,20	75,62
Junio	68,81	40,88	38,13	79,47	47,98	78,14	60,16	35,04	78,84	53,33
Julio	63,66	69,34	36,33	73,76	69,19	75,17	54,15	60,48	75,48	76,32
Agosto	8,20	71,13	34,29	59,27	26,56	32,19	70,37	46,83	56,20	25,65
Septiembre	62,75	21,99	42,00	30,72	53,83	57,68	15,31	41,48	34,13	60,25
Octubre	48,02	45,50	23,68	31,71	52,45	50,01	51,38	25,95	34,62	50,60
Noviembre	48,58	-46,24	1,63	-53,51	50,82	50,47	-10,75	-4,61	-46,75	47,62
Diciembre	42,06	25,02	47,46	-32,574	54,72	41,06	44,83	48,01	-72,00	54,78
I anual (mm)	505,71	505,68	367,12	414,61	458,24	533,71	564,31	480,23	412,37	462,73

El agua que precipita es interceptada por la vegetación, disminuyendo la cinética de caída de las gotas de lluvia y propiciando la infiltración del agua. El agua infiltrada al suelo llega a las zonas de recarga. Así, esta agua vuelve a salir a la superficie, aguas abajo de donde infiltró. Si no existiese vegetación en la zona alta de un sector cualquiera, el agua proveniente de las precipitaciones infiltraría más superficialmente, emergiendo en puntos más cercanos como vertientes y recargando pozos cercanos. Sin embargo, al establecerse masas forestales en esa zona desprovista de vegetación, el agua proveniente de las lluvias se encontraría con mayor dificultad para desplazarse pendiente abajo, aumentando así la cantidad y profundidad de la infiltración, lo que generaría que el agua ya no saldría por el mismo sitio, sino más abajo (figura 6) (Pizarro *et al.*, 2017).

Por otro lado, la disminución de las precipitaciones genera una menor capacidad de recarga superficial, a lo que se pueden sumar factores hidrogeológicos, tipo de suelo, incendios forestales, cambios de uso del suelo, alteración de los puntos naturales de recarga de los acuíferos, etc. Ward y Trimble (2004), señalan que la tasa de infiltración en bosques con suelos no alterados, normalmente excede la intensidad de la lluvia y, por lo tanto, predominan los flujos subsuperficiales.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

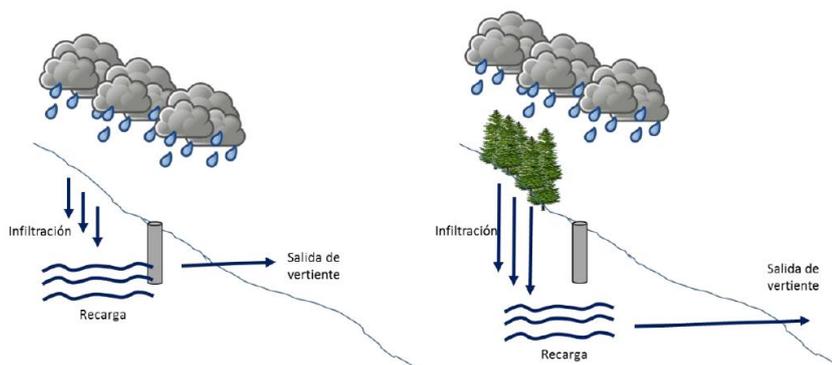


Figura 6. Efecto de la masa forestal sobre la infiltración y la recarga de acuíferos.

El tiempo que tarda una gota de lluvia infiltrada en las secciones altas de una cuenca, para emerger en la red de drenaje, es función de las características hidrogeológicas de la cuenca en cuestión. Dicho lapso se denomina tiempo de transcendencia. En otras palabras, el proceso de infiltración y salida del agua desde el acuífero, puede llevar varios años (Stone *et al.*, 2008). Así, las reservas de agua en un, tienen un desfase entre lo precipitado en el periodo invernal y lo almacenado, por lo que las reservas de agua provienen de las lluvias de años anteriores.

Con los datos de la evapotranspiración real y la infiltración se determina la salida de agua en el territorio. La tabla 12 muestra los valores de las salidas de agua en la zona con los registros climáticos de las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera.

Tabla 12. Valores de salidas de agua (mm) mensual y anual entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera

Mes	Salidas (mm) en Lliria					Salidas (mm) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	3,23	4,24	11,2	2,83	122,62	2,22	4,34	7	1,82	143,39
Febrero	29,49	21,41	11	6,46	14,34	31,82	16,46	5,4	9,09	19,19
Marzo	43,63	11,92	154,6	15,96	71,71	49,79	10,2	84,8	14,34	58,58
Abril	91,71	10,3	4,2	35,15	25,65	87,87	11,82	5,3	20	18,58
Mayo	23,84	2,42	18,4	48,88	5,45	3,33	7,7	11,6	32,32	6,26
Junio	6,06	35,76	39,8	0,4	28,88	0	16,3	41,7	0,61	23,61
Julio	14,55	9,69	39	3,84	7,92	3,43	24,3	14,2	1,82	1,21
Agosto	60,8	0,81	35,6	12,72	44,16	36,86	0,7	22,6	16,16	45,23
Septiembre	1,82	39,8	20,43	33,54	10,3	0	46,5	20,5	30,3	3,62
Octubre	6,46	13,4	30,91	22,22	6,73	7,47	7,3	28,28	20	8,64
Noviembre	3,23	96	54,75	101,6	6,93	1,82	60,4	61,81	95,55	10,85
Diciembre	10,91	29,6	2,42	79,18	1,39	6,67	9	1,21	116,97	1,01
Salida anual (mm)	295,73	275,35	422,31	362,78	346,08	231,28	215,02	304,4	358,98	340,17

La zona de Bétera, presenta menores salidas de agua para el balance hídrico que la zona de Lliria. Los años 2013 y 2014, independientemente de la zona de registro de datos, son los que menos salidas de agua registran en la zona, siendo 2015 el año de mayor salidas en la zona de Lliria y el 2016 para la zona de Bétera.

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

4.2.3. Evaluación del balance hídrico en la zona boscosa de El Camp del Túria

Una vez establecidos los valores de entradas y salidas de agua, en la zona boscosa de El Camp del Túria, bajo los registros climáticos de las zonas de Lliria y Bétera se procede a evaluar el balance de agua en esta zona, y por tanto el almacenamiento o recarga de agua.

La tabla 13 muestra los valores del balance hídrico o almacenamiento de agua (l) media mensual y anual (mm) de los años 2013 al 2017 registrados en las estaciones de Lliria y Bétera.

Tabla 13. Valores del balance hídrico o recarga de agua (mm) mensual y anual entre 2013 y 2017 para las estaciones meteorológicas de Lliria y Bétera

Mes	Balance hídrico o recarga (mm) en Lliria					Balance hídrico o recarga (mm) en Bétera				
	2013	2014	2015	2016	2017	2013	2014	2015	2016	2017
Enero	$2,0 \cdot 10^{-8}$	$2,0 \cdot 10^{-9}$	0,002	$3,03 \cdot 10^{-8}$	76,405	$6,4 \cdot 10^{-11}$	$7,4 \cdot 10^{-5}$	0,001	$5,2 \cdot 10^{-12}$	97,14
Febrero	3,6	$3,1 \cdot 10^{-1}$	0,002	$6,8 \cdot 10^{-4}$	0,282	5,9	$5,6 \cdot 10^{-1}$	0,000	$1,7 \cdot 10^{-2}$	1,051
Marzo	7,8	$7,3 \cdot 10^{-3}$	87,722	$2,02 \cdot 10^{-2}$	25,885	13	$9,1 \cdot 10^{-3}$	40,161	$1,1 \cdot 10^{-1}$	16,86
Abril	4,10	$3,9 \cdot 10^{-3}$	0,000	4,22	1,472	40	$2,4 \cdot 10^{-2}$	0,000	$4,9 \cdot 10^{-1}$	0,351
Mayo	$6,9 \cdot 10^{-1}$	$9,3 \cdot 10^{-15}$	0,265	9,57	0,000	$1,2 \cdot 10^{-10}$	$2,0 \cdot 10^{-4}$	0,010	2,8	0,000
Junio	$2,6 \cdot 10^{-5}$	4,3	6,001	$-5,7 \cdot 10^{-15}$	2,017	0,000	$1,5 \cdot 10^{-1}$	6,621	0,000	0,907
Julio	$6,7 \cdot 10^{-2}$	$4,6 \cdot 10^{-3}$	6,129	$6,43 \cdot 10^{-9}$	0,000	$3,8 \cdot 10^{-10}$	$9,6 \cdot 10^{-1}$	0,074	$6,9 \cdot 10^{-15}$	0,000
Agosto	20,0	$-2,2 \cdot 10^{-15}$	4,514	$4,4 \cdot 10^{-2}$	8,904	5,7	$-2,9 \cdot 10^{-15}$	1,047	$1,8 \cdot 10^{-1}$	9,438
Septiembre	0,00	6,1	0,470	4,94	0,020	0,000	12	0,997	3,6	0,000
Octubre	$1,4 \cdot 10^{-3}$	$3,9 \cdot 10^{-2}$	2,273	1,96	0,001	$3,4 \cdot 10^{-3}$	$2,4 \cdot 10^{-3}$	4,155	1,3	0,009
Noviembre	$3,5 \cdot 10^{-7}$	39	11,327	63,3	0,002	$6,0 \cdot 10^{-13}$	27	24,499	57,3	0,050
Diciembre	$8,5 \cdot 10^{-2}$	1,2	0,000	44,0	0,000	$5,2 \cdot 10^{-3}$	$2,3 \cdot 10^{-2}$	0,000	79,6	0,000
Recarga anual (mm)	73	51	119	128	115	64	41	77,5	145	126

Se observa que la recarga en todos los casos es positiva, es decir, que se produce acumulación de agua, aunque ésta en lámina de agua (mm) no sea muy alta. El año donde mayor acumulación se produce es el 2016 para la zona de Lliria y en el 2017 para la zona de Bétera. Los años 2013 y 2014, son años donde la acumulación es menor, coincidente con las menores precipitaciones que se producen en estos años y que pone de manifiesto la importancia de las precipitaciones para la acumulación de agua.

Los valores encontrados con los datos climáticos de ambas estaciones no se diferencian significativamente por lo que los resultados obtenidos de las dos zonas pueden ser representativos de la zona y en consecuencia de las áreas boscosas que se incluyen en la comarca de El Camp del Túria.

Pizarro *et al.* (2005) señalan que en la cuenca del río Purapel (Chile), el elemento más determinante en el comportamiento hidrológico, es la cantidad e intensidad de las precipitaciones caídas a nivel mensual y anual, y no el tipo de cobertura vegetal boscosa. Así indican que el efecto de la cubierta viva o muerta sobre el suelo, disminuye la energía cinética de la lluvia, aumentando la resistencia a la circulación superficial del flujo y disminuyendo la línea de máxima pendiente de circulación; esto se traduce en el aumento de la retención del

agua proveniente de las precipitaciones, favoreciendo la infiltración y la emisión de escorrentía subsuperficial.

Teniendo en cuenta el rol que el complejo suelo-vegetación juega como regulador de los equilibrios hídricos, es altamente recomendable la forestación de estas áreas para alcanzar equilibrios hidrológicos y macroecológicos. El rol del complejo suelo vegetación es vital para asegurar la recarga de agua en los acuíferos. Esta situación no se verifica en zonas degradadas o que han sufrido incendio forestal, y en general, en estos casos la escorrentía superficial se produce, incluso con una muy baja cantidad de precipitación, es decir que la saturación del suelo se produce con bajos niveles de precipitación y eso determina que el agua fluya superficialmente, provocando erosión y sedimentación aguas abajo.

El agua de las primeras lluvias invernales, siguiendo el paso de un verano seco (como es el caso de los climas mediterráneos), es retenida en los microporos del suelo con bajo potencial matricial, hasta que la transpiración vacía estos poros durante los veranos subsiguientes. El agua de lluvia no desplaza esta agua fuertemente unida a dichos microporos (Brooks *et al.*, 2009). En este sentido, los árboles toman el agua retenida en los microporos que retienen fuertemente el agua, la cual no escurre verticalmente hacia las capas freáticas ubicadas en zonas más profundas, sino que queda retenida en el suelo superficial. Esto explica el crecimiento de árboles en zonas montañosas en las cuales no hay ninguna posibilidad de la presencia de napas subterráneas o flujos laminares sub-superficiales que pudiesen satisfacer sus demandas hídricas. No obstante, si los árboles están próximos a los cursos superficiales de agua, habrá un importante consumo de agua, ya que las raíces consiguen capturar el flujo hipodérmico del cauce, reduciendo su caudal.

Así, durante el aumento de humedad en otoño, los poros del suelo se llenan secuencialmente con una progresiva disminución del agua isotópica, a medida que el frente húmedo avanza en profundidad y mientras ocurre un mayor humedecimiento del suelo durante los mayores eventos de precipitación. Durante la estación lluviosa invernal la precipitación caída se mueve a través de los poros más grandes hacia la zona de percolación. Durante la estación estival seca, los macroporos drenan, vaciándose hacia la zona de percolación. El agua del suelo remanente es retenida por los microporos y es utilizada por las plantas en la transpiración. Esto sugiere que la cubierta vegetal, podría estar ejerciendo un rol estabilizador de las relaciones precipitación-escorrentía superficial-recarga de acuíferos, ya que la vegetación actúa reteniendo las precipitaciones y favoreciendo su infiltración.

En general, el incremento de las precipitaciones, define un incremento de los caudales, pero también se produce un incremento de la evapotranspiración, como consecuencia de las altas temperaturas que alcanzan, sobre todo en el período de verano, por lo que, aunque la evapotranspiración se pueda mantener relativamente estable, la recarga de agua puede variar, aunque ésta no se manifieste directamente sobre la zona, por la importancia de la infiltración. Si bien las masas forestales propician una mayor infiltración de agua en el suelo, es también cierto que la infiltración pasa a percolación profunda en muchas ocasiones, incrementando las reservas de agua de la cuenca mediante la recarga de sus láminas. Estas reservas pueden aflorar nuevamente a los cauces superficiales, pero en una zona aguas abajo muy distantes de la zona en la cual se produjo la infiltración. Esto determina que la zona alta pueda verse afectada por

4. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

una reducción de agua, pero el conjunto de la cuenca se ve en teoría favorecida por esta acción reguladora de las masas forestales.

El cambio climático, entendido como la variabilidad del clima que se manifiesta, por razones diferentes a las que de forma natural afectan a la variabilidad del clima, está determinando escenarios de incertidumbre climática que, dependiendo de la zona del país de que se trate, podría ser explicado por fenómenos de cambio climático, o por otras teorías que plantean la existencia de oscilaciones a lo largo del tiempo. Cualquiera sea la causa de los procesos climáticos que hoy se visualizan, el hecho concreto se manifiesta en la presencia de grandes episodios de sequías en una zona amplia del territorio, lo que ha determinado un déficit de precipitación. Este déficit de precipitación involucra una reducción de las escorrentías y una reducción de las disponibilidades de agua para los diversos usos a los cuales se somete el recurso hídrico. Por tanto, aunque las masas forestales ejercen un rol amortiguador en el proceso precipitación-escorrentía, es evidente que si disminuye la principal entrada de agua en la cuenca, también disminuirán las disponibilidades de agua y eso con o sin presencia de masa arbórea forestal.

CONCLUSIONES

Las principales conclusiones obtenidas del presente trabajo son:

1. Cada territorio responde a un modelo de ciclo hídrico. Por lo que el concepto de agua forestal, la gestión del ciclo hídrico forestal, así como la provisión de agua del bosque, en la comarca de El Camp del Túria se convierte en el servicio más importante de la masa forestal de esta zona y es esencial para garantizar la multifuncionalidad y los servicios ecosistémicos o ambientales de ésta zona.
2. Los bosques brindan contribuciones decisivas tanto a las personas como al planeta al fortalecer los medios de vida, suministrar aire y agua limpios, conservar la biodiversidad y responder al cambio climático.
3. Los bosques son una infraestructura natural que contribuye a los objetivos relacionados con el abastecimiento de agua en el medio. A medida que crezcan los núcleos urbanos, es necesario fortalecer las zonas forestales para mantener el equilibrio hídrico y asegurar la provisión de agua.
4. El mantenimiento de las áreas forestales en la zona de la comarca de El Camp del Túria es importante para regular el caudal y reponer las aguas subterráneas, siendo una herramienta para aumentar la accesibilidad de los recursos hídricos, con lo que se reducirá el tiempo necesario para recolectar agua en el sistema.
5. Las recargas de agua en la comarca de El Camp del Túria son positivas, pero ante las situaciones de cambio climático, se debería incrementar las zonas forestales, dada la influencia positiva sobre el incremento de las precipitaciones y la recarga de agua en la zona.

BIBLIOGRAFÍA

- Biao, Z.; Wenhua, L.; Gaodi, X.; Yu, X. 2010. Water conservation of forest ecosystem in Beijing and its value. *Ecological Economics*, 69: 1416-1426.
- Brooks, J.R.; Barnard, H.R.; Coulombe, R.; McDonnell, J. 2009. Ecohydrologic separation of water between trees and streams in a Mediterranean climate. *Nature Geosciences*, 3(2): 100-104.
- Bruijnzeel, L.A. 2014. Hydrological functions of tropical forests: not seeing the soil for the trees? *Agriculture, Ecosystems and Environment*, 104: 185-228.
- Budyko, M.I. 1961. The heat balance of the earth's surface. *Soviet Geography*, 2(4), 3-13.
- Camilloni, I.; Vera C. 2007. El aire y el agua en nuestro planeta. Ed. Eudeba. Colección Ciencia Joven 19. 104 pp.
- Corine Land Cover, 2017. <http://datos.gob.es/es/catalogo/e00125901-mapa-de-ocupacion-del-suelo-en-espana-corine-land-cover>
- Dudley, N. y Stolton, S. 2003. Running Pure: The importance of forest protected areas to drinking water. A research report for the World Bank and WWF Alliance for Forest Conservation and Sustainable Use. Banco Mundial, Washington, DC.
- Ellison, D.; Futter, M.N.; Bishop, K. 2012. On the forest cover-water yield debate: from demand-to supplyside thinking. *Global Change Biology*, 18(3): 806-820.
- FAO. 2018. El estado de los bosques del mundo - Las vías forestales hacia el desarrollo sostenible. Roma. Licencia: CC BY-NC-SA 3.0 IGO. 133 pp.
- FAO. 2011. World Map of the Major Hydrological Basins.
- Filoso, S.; Bezerra, M.O.; Weiss, K.C.B.; Palmer, M.A. 2017. Impacts of forest restoration on water yield: A systematic review. *PLoS ONE*, 12(8): e0183210.
- GeoPortal. 2018. Evapotranspiración Real (ETR) media anual. 6 pp. http://sig.mapama.es/Docs/PDFServiciosProd2/RECHID_ETR.pdf
- Gilmour, D. 2014. Forests and water: A synthesis of the contemporary science and its relevance for community forestry in the Asia–Pacific region. RECOFTC Issue paper n.º 3. Bangkok. Regional Community Forestry Training Center for Asia and the Pacific (RECOFTC).
- Grammatikopoulos, G.; Manetas Y. 1994. Direct absorption of water by hairy leaves of *Phlomis fruticosa* and its contribution to drought avoidance. *Can. J. Bot.* 72: 1805-1811.
- Hansen, M.C.; Potapov, P.V.; Moore, R.; Hancher, M.; Turubanova, S.A.; Tyukavina, A.; Thau, S.V; et al. 2013. High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160): 850-853.
- Held, I.; Soden, B. 2006. Robust responses of the hydrological cycle to global warming. *J. Climate*, 19: 5686–5699, doi: 10.1175/JCLI3990.1
- Huntington, T.G. 2006. Evidence for intensification of the global water cycle: review and synthesis. *Journal of Hydrology*, 319(1): 83-95.

- INE. Instituto Nacional De Estadística. 2004. Suministro y tratamiento de agua por volumen de agua disponible y abastecida. www.ine.es
- Jofre, R.; Rambal, S. 1993. How tree cover influences the water-balance of Mediterranean rangelands. *Ecology*, 74(2): 570–582.
- Kelliher, F.M.; Jackson R. 2001. Evaporation and the water balance. In the *Physical Environment*. Oxford University Press. Melbourne.
- Keys, P.W.; Wang-Erlandsson, L.; Gordon, L.J. (2016). Revealing invisible water: moisture recycling as an ecosystem service. *PloS one*, 11(3), e0151993.
- Martín-Ortega, J.; Gutiérrez Martín, C.; Berbel Vecino, J. 2008. Caracterización de los usos del agua en la Demarcación del Guadalquivir en aplicación de la Directiva Marco de Aguas. *Revista de Estudios Regionales*, 81: 45-76.
- MIMAN. Ministerio De Medio Ambiente. 2004. Manuales de las aplicaciones informáticas para la caracterización económica de los usos del agua. curso técnico sobre análisis económico en la Directiva Marco del agua. http://hispagua.cedex.es/documentacion/documentos/analeconomico_dma/manuales.pdf
- Naciones Unidas. 2016. The world's cities in 2016. Compilación de datos. http://www.un.org/en/development/desa/population/publications/pdf/urbanization/the_worlds_cities_in_2016_data_booklet.pdf.
- Piñol J.; Avila A.; Escarré A. 1999. Water balance in catchments. In *Ecology of Mediterranean evergreen oak forests*. Rodà F., Retana J., Gracia C.A., Bellot J. (eds.) Springer-Verlag. Berlin.
- Pizarro, R.; Benitez, A.; Farias, C.; Jordan, C.; Santibañez, F.; Sangüesa, C.; Flores, J.P.; Martínez, E.; Roman, L. 2005. Influencia de las masas boscosas en el régimen hídrico de una cuenca semiárida, Chile. *Bosque (Valdivia)*, 26(1): 77-91.
- Pizarro, R.; Vallejos, C.; Mendoza, R.; Pino, J.; Berríos, Á.; Ibáñez, A.; García, P.; Arumi, J.L.; Iroumé, A. (2017). Antecedentes de la relación masa forestal y disponibilidad hídrica en Chile central. Universidad de Talca. Chile. 35 pp.
- Poff, N.L.; Brown, C.M.; Grantham, T.E.; Matthews, J.H.; Palmer, M.A.; Spence, C.M., Wilby, R.L.; Haasnoot, M.; Mendoza, G.F.; Dominique, K.C.; Baeza, A. 2016. Sustainable water management under future uncertainty with eco-engineering decision scaling. *Nature Climate Change*, 6(1): 25-34.
- Qin, Y.; Gartner, T.; Minnemeyer, S.; Reig, P.; Sargent, S. 2016. Global forest watch water metadata document. Technical Note. World Resources Institute, Washington, DC.
- Rivas Martínez, S. 2007. Mapa de series, geoseries y geopermaseries de vegetación de España. En: *Memoria del mapa de vegetación potencial de España. Parte I. Itinera geobotánica*, 17: 5-436.
- Rodell, M.; Beaudoin, H.K.; L'Ecuyer, T.S.; Olson, W.S.; Famiglietti, J.S.; Houser, P.R.; Adler, R.; Bosilovich, M.G.; Clayson, C.A.; Chambers, D.; Clark, E.; Fetzer, E.J.; Gao, X.; Gu, G.; Hilburn, K.; Huffman, G.J.; Lettenmaier, D.P.; Liu, W.T.; Robertson, F.R.; Schlosser, C.A.; Sheffield,

6. BIBLIOGRAFÍA

J.; Wood, E.F. 2015. The observed state of the water cycle in the early twenty-first century. *Journal of Climate*, 28(21), 8289-8318.

- Rutter, A.J. 1975. The Hydrological cycle in vegetation. In Monteith J.L. (Edit). *Vegetation and atmosphere*. Vol.I. Academic Press. London.
- Sáenz de Miera, G. 2002. *Agua y economía*. Colección de Estudios Ediciones de la Universidad Autónoma de Madrid. Ediciones Iberdrola, Madrid. 65 pp.
- Savé, R.; de Herralde, F.; Biel, C. 2005. Aproximación al ciclo del agua en ecosistemas forestales. *Invest Agrar: Sist Recur For*, 14(3): 497-512.
- Stone, J.J.; Paige, G.B.; Hawkins, R.H. 2008. Rainfall intensity-dependent infiltration rates on rangeland rainfall simulator plots. *Transactions of the ASABE*, 51(1); 45-53.
- Thornthwaite, C.W. 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical review*, 38(1): 55-94.
- Trenberth, K.E.; Asrar, G.R. 2014. Challenges and opportunities in water cycle research: WCRP contributions. *Surv. Geophys.*, 35: 515–532, doi: 10.1007/s10712-012-9214-y
- Turc, L. 1961. Estimation of irrigation water requirements, potential evapotranspiration: a simple climatic formula evolved up to date. *Ann. Agron*, 12(1): 13-49.
- Valentíni, R. 2003. *Fluxes of Carbon, Water and Energy of European Forest*. Ecological Studies 163. Springer-Verlag. Berlin.
- Ward, A.D.; Trimble, S.W. 2004. *Environmental Hydrology*. London, UK. Lewis Publishers CRC Press Company. 472 pp.
- Wine, M.; Zou, C. 2012. Long-term streamflow relations with riparian gallery forest expansion into tallgrass prairie in the Southern Great Plains, USA. *Forest Ecology and Management*, 266: 170-179.
- WRI. 2018. Global forest water watch. <http://www.wri.org/our-work/topics/water>