

Trabajo Fin de Máster

Evaluación de la transpiración y humedad del suelo en una masa repoblada de Pinus halepensis a los diez años de la realización de claras de distinta intensidad

Intensificación: ORDENACIÓN, RESTAURACIÓN Y GESTIÓN DE CUENCAS

Autor:

MAURICIO SEBASTIÁN CAÑAR RAMÍREZ

Tutor:

DR. ANTONIO DÁMASO DEL CAMPO GARCÍA

Cotutor:

DR. ANTONIO J. MOLINA HERRERA

MAYO, 2019



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

Resumen del Trabajo de Fin de Máster

Datos del proyecto

Título del TFM en español: Evaluación de la transpiración y humedad del suelo en una masa repoblada de *Pinus halepensis* a los diez años de la realización de claras de distinta intensidad.

Título del TFM en inglés: Evaluation of perspiration and soil moisture in a repopulated mass of *Pinus halepensis* ten years after the realization of clearings of different intensity.

Título del TFM en Valenciano: Avaluació de la transpiració i humitat del sòl en una massa repoblada de *Pinus halepensis* als deu anys de la realització de clares de distinta intensitat.

Alumno: Mauricio Sebastián Cañar Ramírez.

E-mail: maucaara@posgrado.upv.es

Tutor: Antonio Dámaso Del Campo García.

Fecha de Lectura: Mayo, 2019

Resumen

RESUMEN

La ecohidrología es importante en sistemas áridos y semiáridos donde las reacciones entre ecología e hidrología pueden ser particularmente estrictas. Los bosques juegan un papel muy importante en el balance global de agua y energía de la tierra, así como la de generar una serie de beneficios para la sociedad tales como la conservación del suelo, protección frente a la erosión, mejora de la calidad del agua, prevención del aterramiento de embalses.

El objetivo de este trabajo es estudiar si persisten las diferencias entre las intensidades de clara a los 10 años en la transpiración a nivel individuo (litros/árbol·día) como a nivel de masa (mm) en una repoblación de *Pinus halepensis*. Además, consiste en comparar cual ha sido la evolución de dicha variable en el transcurso de los 10 años en cada intensidad de clareo o tratamiento.

La metodología que se utilizó es de base experimental por ejemplo para medir la transpiración se utilizó el método de pulso de calor y para el contenido de humedad del suelo se colocaron sensores FDR. Para comprender de una mejor manera la situación en las parcelas experimentales, se estudiaron las variables en situaciones óptimas y de sequía.

Uno de los resultados que se destacó en este proyecto es el de la transpiración y el contenido de humedad del suelo en el tratamiento de media intensidad, ya que este tratamiento contiene pocos árboles y su copa está desarrollada lo suficiente ocasionando una sombra adecuada para mantener húmedo el suelo y abastecer al árbol en épocas de sequía.

RESUM

L'ecohidrologia és important en sistemes àrids i semiàrids on les reaccions entre ecologia i hidrologia poden ser particularment estrictes. Els boscos juguen un paper molt important en el balanç global d'aigua i energia de la terra, així com la de generar una sèrie de beneficis per a la societat com ara la conservació del sòl, protecció front de l'erosió, millora de la

qualitat de l'aigua o prevenció de l'aterrament d'embassaments.

L'objectiu d'aquest treball és estudiar si persisteixen les diferències entre les intensitats de clara als 10 anys en la transpiració a nivell d'individu (litres/arbre·dia) com a nivell de massa (mm) en una repoblació de *Pinus halepensis*. A més, consistix a comparar quina ha sigut l'evolució d'aquesta variable en el transcurs dels 10 anys en cada intensitat d'aclarida o tractament."

La metodologia que s'ha utilitzat és de base experimental, per exemple per a mesurar la transpiració s'ha utilitzat el mètode de pols de calor i per al contingut d'humitat del sòl s'han col·locat sensors FDR. Per a comprendre d'una millor manera la situació en les parcel·les experimentals, s'han estudiat les variables en situacions òptimes i de sequera."

Un dels resultats que ha destacat en aquest projecte és el de la transpiració i el contingut d'humitat del sòl en el tractament de mitja intensitat, ja que aquest tractament conté pocs arbres i la seua copa està prou desenvolupada ocasionant una ombra adequada per a mantindre humit el sòl i abastir a l'arbre en èpoques de sequera.

SUMMARY

Ecohydrology is important in arid and semi-arid systems where the reactions between ecology and hydrology can be particularly strict. Forests play a very important role in the global water and energy balance of the earth, as well as generating a number of benefits for society such as soil conservation, protection against erosion, improvement of water quality, prevention of reservoir siltation.

The aim of this work is to study whether differences persist between the intensities of clear at 10 years in transpiration at individual level (litres/tree-day) as well as at mass level (mm) in a *Pinus halepensis* repopulation. In addition, it consists of comparing the evolution of this variable over the course of 10 years in each intensity of thinning or treatment.

The methodology used is experimental, for example, to measure transpiration, the heat pulse method was used, and FDR sensors were placed for soil moisture content. In order to better understand the situation in the experimental plots, the variables were studied in optimal and drought situations.

One of the results highlighted in this project is the transpiration and moisture content of the soil in the treatment of medium intensity, since this treatment contains few trees and its crown is developed enough causing adequate shade to keep the soil moist and supply the tree in times of drought.

Palabras clave: Ecohidrología, transpiración, contenido de humedad del suelo, *Pinus halepensis*, tratamiento.

Paraules claus: Ecohidrología, transpiració, contingut d'humitat del sòl, *Pinus halepensis*, tractament.

Key words: Ecohydrology, transpiration, soil moisture content, *Pinus halepensis*, treatment.



Mauricio Sebastián Cañar Ramírez

Fdo. (Alumno)



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA

máster en ingeniería
hidráulica y medio ambiente
mihma

A mis Padres y Hermanos.



AGRADECIMIENTOS

A Dios porque me ha dado la capacidad, la valentía y la fortaleza para cumplir un nuevo objetivo en mi vida profesional.

A mis padres Humberto Cañar y Sulamita Ramírez que siempre estuvieron apoyándome incondicionalmente, por sus esfuerzos y sacrificios que han hecho por mí, para llegar alcanzar un nuevo logro académico.

A mis hermanos por el apoyo que siempre me brindaron día a día en el transcurso del máster.

A Antonio del campo por su tiempo, consejos, motivación y guía en este trabajo.

A Antonio Molina por su ayuda y comprensión.

A María González Sanchis por su ayuda y enseñanzas.

A los profesores de la intensificación de la Gestión, Ordenación y Restauración de Cuencas por los conocimientos compartidos.

A mis amigos que junto a ellos he pasado grandes momentos.

Índice

1	INTRODUCCIÓN	1
1.1	Ecohidrología	1
1.2	El papel del bosque en el ciclo hidrológico	2
1.3	<i>Pinus halepensis</i>	4
1.4	Gestión forestal con objetivo ecohidrológico	5
1.5	Contextualización del trabajo	7
2	OBJETIVOS.....	8
2.1	Objetivo general	8
2.2	Objetivos específicos.....	8
3	MATERIALES Y MÉTODOS.....	9
3.1	Sitio de Estudio.....	9
3.2	Descripción del Medio.....	10
3.3	Descripción de la masa forestal	13
3.4	Descripción del diseño experimental y de los tratamientos	14
3.5	Transpiración.....	15
3.6	Tratamiento y análisis estadístico de los datos	19
4	RESULTADOS Y DISCUSIÓN	20
4.1	Lluvia bruta	20
4.2	Valoración de la transpiración como consumo del agua por árbol (l/árbol).....	21
4.2.1	Comparación evolutiva de la transpiración (l/árbol) frente al contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en distintos tratamientos de clareo.	23
4.2.2	Análisis estadístico	26
4.3	Valoración de la transpiración como consumo de agua por masa forestal (mm).	28
4.3.1	Comparación evolutiva de la transpiración (mm) frente al contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en distintos tratamientos de clareo.	30
4.3.2	Análisis estadístico	32
4.4	Resultados del contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en los distintos tratamientos a lo largo del periodo estudiado.....	34
4.5	Comparación estadística entre los años 2009 – 2010 y 2018	36
4.5.1	Transpiración (l/árbol) entre los años 2009 – 2010 y 2018.....	36
4.5.2	Transpiración (mm) entre los años 2009 – 2010 y 2018.....	37
4.5.3	Comparativa múltiple entre transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) para los dos periodos considerados	38
4.5.4	Contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) entre los años 2009 – 2010 y 2018	43
5	CONCLUSIONES	44
6	BIBLIOGRAFÍA.....	46

Índice de figuras

Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico forestal. Fuente: (Tesón, 2011)	1
Figura 2. Bosque mediterráneo.	4
Figura 3. Repoblación <i>Pinus halepensis</i>	5
Figura 4. Esquema de los efectos de la gestión forestal basada en la Ecohidrología.	6
Figura 5. Localización del Monte La Hunde.	9
Figura 6. Diagrama ombrotérmico de Ayora. Fuente: Globalbioclimatics.....	10
Figura 7. Hidrografía del monte de La Hunde y Palomera.	11
Figura 8. Pisos bioclimáticos y series de vegetación de Rivas Martínez. (Rivas, 1987)	12
Figura 9. Esquema del funcionamiento de un sensor HRM30 en un tronco.....	16
Figura 10. Sensor HRM30 y Data Logger.	17
Figura 11. Diagrama del suministro energético.	17
Figura 12. Sensor FDR (EC – 5, Decagon Dervices Inc., Pullman, WA).	18
Figura 13. Colocación del Data Logger.	19
Figura 14. Precipitaciones medias diarias de Ayora – La Hunde	21
Figura 15. Evolución de la transpiración en l/árbol considerando los 3 escenarios indicados (agua, transición y sequia) en las diferentes intensidades de tratamiento, en el periodo de tiempo (14 junio – 26 agosto).	22
Figura 16. Transpiración en l/árbol en diferentes intensidades de tratamiento (junio y agosto 2018). 6 y 8 son las medias para los meses de junio y agosto, respectivamente. Las barras de error representan la desviación típica.....	22
Figura 17. Evolución temporal de la transpiración (l/árbol) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento más intenso de clareo (10% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.	24
Figura 18. Evolución temporal de la transpiración (l/árbol) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento de intensidad media de clareo (30% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.	24
Figura 19. Evolución temporal de la transpiración (l/árbol) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento de intensidad baja de clareo (60% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.	25
Figura 20. Evolución temporal de la transpiración (l/árbol) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento sin clareo (100% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.....	26
Figura 21. Diagrama de cajas de la distribución de la transpiración por cada tratamiento.....	27
Figura 22. Representación de la transpiración en “mm” para las diferentes intensidades de tratamiento, en el periodo de tiempo (14 junio – 26 octubre).	28
Figura 23. Transpiración en mm en diferentes intensidades de tratamiento (junio y agosto 2018). 6 y 8 son las medias para los meses de junio y agosto, respectivamente. Las barras de error representan la desviación típica.....	29
Figura 24. Evolución temporal de la transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento más intenso de clareo (10% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.	30

Figura 25. Evolución temporal de la transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento a media intensidad de clareo (30% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.	31
Figura 26. Evolución temporal de la transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento a baja intensidad de clareo (60% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.	31
Figura 27. Evolución temporal de la transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento con ausencia de clareo (100% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.	32
Figura 28. Diagrama de cajas de la distribución de la transpiración por cada tratamiento.....	33
Figura 29. Evolución temporal del contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en las diferentes intensidades de clareo en el periodo junio – agosto 2018.	35
Figura 30. Contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en diferentes intensidades de tratamiento (junio y agosto 2018). 6 y 8 son las medias para los meses de junio y agosto, respectivamente. Las barras de error representan la desviación típica	35
Figura 31. Transpiración (l/árbol) registradas a nivel individuo en diferentes intensidades de tratamiento en un período a medio plazo (10 años). (P) árbol promedio. * Única muestra del promedio de los distintos árboles.	36
Figura 32. Transpiración (mm) registradas por masa en diferentes intensidades de tratamientos en un periodo a medio plazo (10 años).....	38
Figura 33. Comparativa múltiple entre transpiración(mm) y contenido de humedad del suelo en el tratamiento T0 en un periodo a medio plazo (a) evolución transpiración mm (b) evolución SWC.	39
Figura 34. Comparativa múltiple entre transpiración(mm) y contenido de humedad del suelo en el tratamiento T1 en un periodo a medio plazo (a) evolución transpiración mm (b) evolución SWC.	40
Figura 35. Comparativa múltiple entre transpiración(mm) y contenido de humedad del suelo en el tratamiento T2 en un periodo a medio plazo (a) evolución transpiración mm (b) evolución SWC.	41
Figura 36. Comparativa múltiple entre transpiración(mm) y contenido de humedad del suelo en el tratamiento T3 en un periodo a medio plazo (a) evolución transpiración mm (b) evolución SWC.	42
Figura 37. Contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) registrados en diferentes tratamientos en un periodo a medio plazo (10 años).....	43

Índice de tablas

Tabla 1. Características físicas del suelo. Los datos proceden de muestreos realizados en suelo por el departamento de IHMA de la UPV en parcelas que se encuentran muy cercanas a las destinadas al ensayo.....	11
Tabla 2. Formaciones vegetales presentes en la zona de estudio según el mapa forestal de Ruiz de la Torre (1990).	13
Tabla 3. Medias de las variables de la estructura forestal en las parcelas de control y tratadas para el año 2008	15
Tabla 4. Resultados de cobertura para el año 2018 en los diferentes tratamientos.....	20
Tabla 5. Nomenclatura de los Tratamientos.....	20
Tabla 6. Estadística descriptiva de la transpiración (l/árbol) para los diferentes tratamientos.	26
Tabla 7. Significancia comparativa entre tratamientos aplicando (kruskal – wallis).....	27
Tabla 8. Estadística descriptiva de la transpiración (mm) para los diferentes tratamientos. ..	32
Tabla 9. Significancia comparativa entre tratamientos aplicando (kruskal – wallis).....	34
Tabla 10. Valores de transpiración (l/árbol) a medio plazo en los diferentes tratamientos. ...	37
Tabla 11. Valores de transpiración (mm) a medio plazo en los diferentes tratamientos.	38
Tabla 12. Valores de contenido de humedad de suelo SWC (m^3/m^3) a medio plazo en los diferentes tratamientos.	43

1 INTRODUCCIÓN

1.1 Ecohidrología

La Ecohidrología se considera como una disciplina de reciente creación en el ámbito de las ciencias ambientales que promueve la integración de la hidrología y la ecología para una gestión sostenible de los recursos hídricos. Estos procesos se dan generalmente en sistemas acuáticos, ya sea en aguas subterráneas o en aguas superficiales (ríos, lagos, etc.), pero también se pueden dar estos procesos en la vegetación y en el suelo. Esta ciencia busca entender como los procesos hidrológicos regulan e interactúan con los procesos ecológicos y viceversa; también pretende generar conocimientos para entender procesos fundamentales de los ecosistemas en función de la dinámica del ciclo hidrológico.

El ciclo hidrológico es un sistema complejo que puede representarse de muchas formas. En la biosfera se producen multitud de fenómenos que determinan las entradas y salidas del ciclo (Martínez de Azagra, *et al.*, 1996). Además, es un factor importante en el funcionamiento de los ecosistemas forestales (Figura 1) especialmente en zonas semiáridas y áridas que se ven afectadas por déficit hídrico, como en la región mediterránea de España (80% de la superficie) (Santa-Regina *et al.*, 1989).

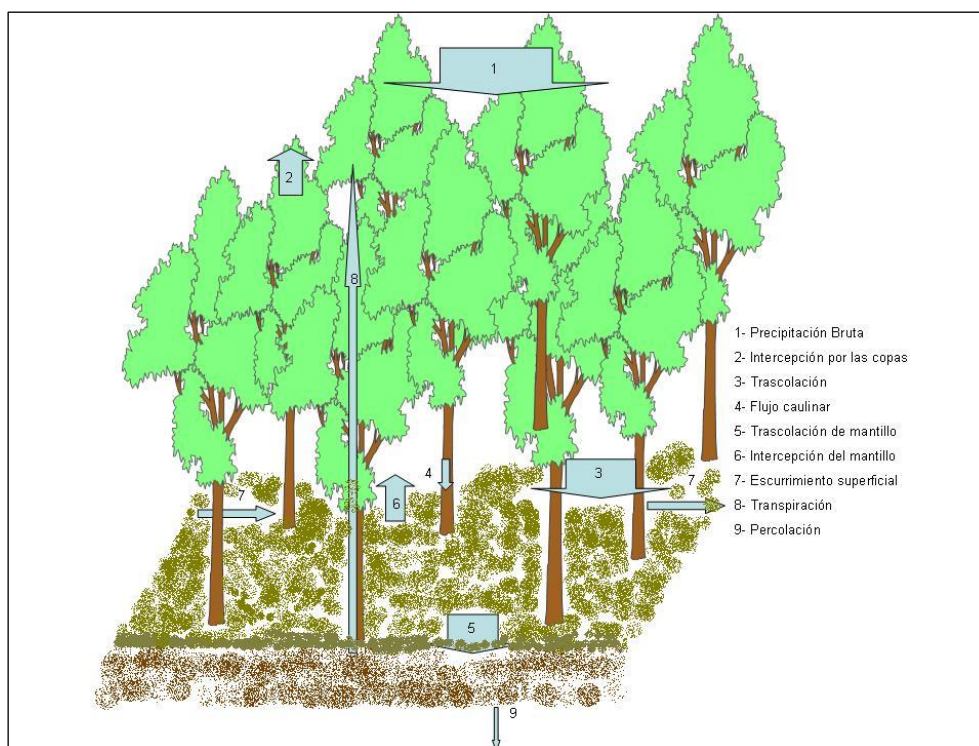


Figura 1. Esquema del ciclo hidrológico forestal. Fuente: (Tesón, 2011)

1.2 El papel del bosque en el ciclo hidrológico

Los bosques juegan un papel muy importante en el balance global de agua y energía de la tierra (Gracia et al., 1999, Piñol et al., 1999). De la cantidad de agua total presente en nuestro planeta, sólo un 2.6 % es agua dulce. Un 77 % del agua dulce se concentra en los casquetes polares y un 11 % en acuíferos profundos, quedando un 12 % para el ciclo hidrológico (Brooks, et al., 2003), el cual representa los flujos de agua entre los diversos compartimentos de nuestro planeta, gracias a la energía procedente del sol. En la Figura 1 se presenta un esquema de lo que podría ser el ciclo hidrológico en una masa forestal (Savé et al., 2005).

Además, la influencia de los bosques en el recurso agua es generalmente positiva, sin embargo, no siempre mayor biomasa forestal implica más cantidad de agua disponible para uso humano (Calder, 2007). Los bosques generan una serie de beneficios para la sociedad tales como la conservación del suelo, protección frente a la erosión, mejora de la calidad del agua, prevención del aterramiento de embalses, etc (Hewlett, 1982, Brooks et al., 2003).

Algunos estudios realizados en todo el mundo han confirmado que el balance hídrico anual de una cuenca fluvial cambia sustancialmente cuando se altera el tipo o la extensión de vegetación (Bosch y Hewlett, 1982; Brooks et al., 2003; Llorens y Domingo, 2007). Así, el aporte específico aumenta cuando (Brooks et al., 2003):

- El bosque es cortado o aclarado
- La vegetación de una cuenca es transformada de especies de enraizamiento profundo a otras de enraizamiento más superficial
- Se sustituyen especies con altas capacidades de interceptación por otras con menor capacidad
- Se favorecen las especies con bajas tasas anuales de transpiración frente a las de altas tasas

Transpiración

La transpiración es la transformación que realiza el vapor de agua que se escapa de las plantas a través de la superficie de las hojas para ingresar a la atmósfera. Dicho así, es el agua que se evapora desde las hojas de las plantas. Vale la pena mencionar que es un proceso que no se lo puede ver.

La transpiración va asociada a dos procesos básicos en la economía hídrica de la planta que son: la captación de agua y su transporte desde las raíces a las superficies que transpiran.

Además, la transpiración de las plantas varía según la región geográfica, así como existen muchos factores los cuales la afectan como son: temperatura, humedad relativa, el viento y el movimiento del aire, tipos de especies vegetales.

Se considera que el componente de la evapotranspiración en la cubierta vegetal es de gran interés, sobre todo en masas muy densas donde en ocasiones la interceptación de la precipitación por parte de la vegetación llega hasta un 50% Molina (2008) y Franco (2009).

La vegetación en las regiones de clima mediterráneo, donde existe un periodo muy seco, ha desarrollado un mecanismo de regulación estomática que le impide deshidratarse por una excesiva transpiración; las hojas de los *Pinus halepensis* tienen poca superficie y dispone de ciertas sustancias (ceras) para evitar la transpiración cuticular residual.

Características de un bosque mediterráneo.

Los bosques mediterráneos se caracterizan por estar dominados por ciertas especies de árbol como pueden ser: encina, pino, alcornoque, etc. (Figura 2). El sotobosque de un bosque mediterráneo es bastante denso, con la presencia de arbustos de distintas alturas por la influencia de factores como la humedad y la luz; en las praderas de los bosques mediterráneos las hierbas son escasas. La vegetación de un bosque mediterráneo se convierte en vegetación xerófila por su necesidad de adaptarse a soportar la aridez del verano; posee numerosas adaptaciones a la sequía, por ejemplo, tener raíces profundas y muy desarrolladas, así como hojas pequeñas y duras, y lo más importante, lignotúbers para almacenar reservas.

Además, hay una gran heterogeneidad edáfica dependiendo de la región y el área geográfica en la que se encuentre. En general son suelos que tienden a un color rojizo característico por poseer gran cantidad de óxidos de hierro y pobres en nutrientes como el nitrógeno; también tienen poca cantidad de biomasa y contienen baja cantidad de materia orgánica. La roca madre que da origen es muy importante en este sentido.



Figura 2. Bosque mediterráneo.

1.3 Pinus halepensis

Las plantaciones de *Pinus halepensis* forman parte del paisaje del este de España (Figura 3); tal es el caso de las que se han seleccionado en este trabajo, que forman parte de las repoblaciones forestales que desde finales de la guerra civil española y hasta entrada la década de los 70 se plantaron con elevadas densidades (aproximadamente 1.500 árboles/ha). Frecuentemente estas plantaciones no han recibido ningún manejo forestal debido al papel del bosque en la protección del suelo (del Campo et al., 2014). Además, la reforestación con especies del género *Pinus* en tierras áridas se ha considerado como una técnica apropiada para la conservación del suelo y el agua en la región mediterránea, habiéndose reforestado millones de hectáreas, especialmente en España y Turquía (del Campo et al., 2014).

En nuestro trabajo se optó por centrar la investigación en la especie *Pinus halepensis* debido a que es una de las especies forestales más importantes de la cuenca mediterránea (Quezél, 2000, tomado de Maestre et al., 2003). Además, existe una notable deficiencia de estudios sobre la relación entre el pino carrasco y el ciclo hídrico en comparación con otras especies del Mediterráneo (Llorens y Domingo, 2007).

En la Comunidad Valenciana el *Pinus halepensis* puede considerarse como la especie más abundante, ya que la misma predomina en el 72% de la superficie arbolada (la superficie arbolada ocupa más de un 54% de la superficie forestal). Gracias a su potencialidad fitoclimática puede llegar a desarrollarse en más de la mitad de la superficie autonómica (Colomé et al., 2018) y en los escenarios de cambio climático se prevé su expansión en zonas

del interior con limitaciones actuales por bajas temperaturas. Por ello, estudiar su efecto sobre el ciclo hidrológico en sus diversas componentes es de mucha importancia en esta región.



Figura 3. Repoblación *Pinus halepensis*.

1.4 Gestión forestal con objetivo ecohidrológico

La gestión forestal con objetivo ecohidrológico nace en Europa a mediados del siglo XIX como consecuencia de la deforestación de sus cadenas montañosas y las lluvias torrenciales que se dan en la zona del Mediterráneo, que son las causantes de inundaciones por el fenómeno conocido como gota fría, ocasionando aterramientos y efectos en el recorrido natural de las aguas de avenida.

La gestión forestal de base ecohidrológica sitúa al agua en el centro de la planificación y gestión del bosque y persigue manipular y optimizar las interacciones entre los bosques y el agua mediante un enfoque de base ecosistémica. Lo que quiere decir que distintas variables del ecosistema como el crecimiento de los árboles, la sensibilidad de los árboles al clima y la disminución del riesgo de incendios forestales deben ser considerados explícitamente y cuantificados de acuerdo con los objetivos de gestión (García et al., 2018).

Para mejorar la capacidad de recuperación de los bosques, los administradores forestales necesitan estrategias de adaptación que ayuden hacer que la gestión forestal sea más eficiente

y efectiva con la disponibilidad cambiante de los recursos hídricos (Sjölund y Jump, 2013). Sin embargo, aunque muchos estudios han abordado esta necesidad en los últimos años, las directrices adecuadas para el manejo adaptativo en línea con el contexto ecorregional y social siguen siendo escasas (Fitzgerald et al., 2013).

En las regiones con escasez de agua, el manejo adaptativo generalmente se centra en las relaciones bosque-agua donde la silvicultura se orienta hacia un contexto más hidrológico. Las pautas para esta silvicultura deben desarrollarse a través de un enfoque completo que cubra las escalas desde el árbol hasta la cuenca. La escala se relaciona con el rendimiento hidrológico de la estructura física del bosque (densidad, IAF, almacenamiento de dosel, etc.), en la que se sabe que el clareo afecta a la transpiración, la humedad del suelo y la infiltración profunda (Fernandes et al., 2016).

Es decir, la gestión forestal basada en la ecohidrología (silvicultura proactiva) es un enfoque integrado que tiene en cuenta las prioridades en materia de agua en la planificación y gestión del bosque. Su objetivo es manipular y optimizar la relaciones entre el bosque y el agua a través de la gestión de los bosques. Esto significa que otras variables del ecosistema, que en última instancia están moduladas y reguladas por el agua, como el crecimiento de los árboles y de la masa, su vigor fisiológico, las propiedades del suelo y los ciclos biogeoquímicos, la sensibilidad de los árboles al clima, o el riesgo de incendios forestales, también son explícitamente consideradas y cuantificadas en los objetivos de gestión (Figura 4).

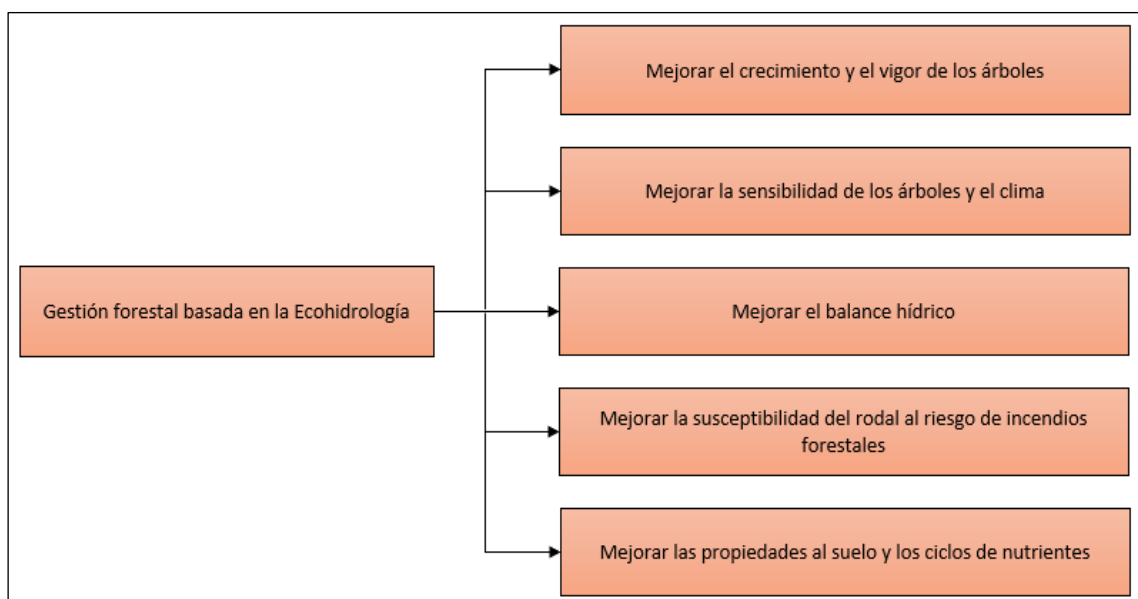


Figura 4. Esquema de los efectos de la gestión forestal basada en la Ecohidrología.

1.5 Contextualización del trabajo

Con respecto al estudio expuesto en esta memoria, cabe recalcar que es continuación en el tiempo de trabajos previos en las mismas parcelas de experimentación, donde se cuantificó el efecto de la gestión forestal (clareos a diferentes intensidades) sobre el ciclo hidrológico de una masa forestal de *Pinus halepensis* en el corto plazo (Molina y del Campo, 2012). Dependiendo de la intensidad de clareo aplicada y el flujo hídrico medido, los resultados pusieron de manifiesto que la intervención forestal mejoró la resiliencia de la masa forestal ya que aumenta la precipitación neta que llega al suelo y con ello la humedad disponible para el consumo de los árboles y mejora de su estado fisiológico.

El presente trabajo complementa las investigaciones realizadas ya que evalúa de nuevo el efecto de la intensidad del clareo sobre la transpiración, pero una vez transcurridos 10 años desde la intervención (efectos al medio plazo).

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo general

El objetivo general de este trabajo es evaluar en el medio plazo (10 años) el efecto de ciertos tratamientos selvícolas (clareos a diferentes intensidades) sobre la transpiración de una masa repoblada de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill.). La hipótesis de partida es que los árboles donde la intervención forestal ha sido más fuerte aún mantienen diferencias significativas en el consumo de agua con respecto a la masa forestal sin tratar, mientras que en aquellos dónde la intervención ha sido de menor intensidad, los consumos serán muy similares. Los resultados previos obtenidos en las parcelas experimentales donde se realiza este trabajo arrojaban diferencias muy notables para el corto plazo (hasta tres años desde la intervención) en el funcionamiento ecohidrológico de las masas tratadas (del Campo et al., 2014; Fernandes et al., 2016); de modo que, a mayor intensidad de la clara, se obtenía un mayor crecimiento, mayor uso de agua del árbol y una disminución de la transpiración a escala de superficie.

2.2 Objetivos específicos

El objetivo general se subdivide en los siguientes objetivos específicos:

- Estudiar si persisten las diferencias entre las distintas intensidades de clara o tratamientos a los 10 años en lo relativo a la transpiración de los árboles, expresada tanto como consumo individual de los árboles (litros/árbol·día), como en altura de agua (mm) una vez tenidos en cuenta todos los árboles presentes por unidad de superficie en cada tratamiento.
- Evaluar paralelamente el contenido de humedad del suelo en cada uno de los tratamientos, como variable que controla el flujo transpirador desde el componente suelo.
- Estudiar comparativamente para cada intensidad de claro o tratamiento, cuál ha sido su evolución en el transcurso de diez años para las citadas variables y en lo relativo a la estructura forestal y el crecimiento de los árboles.

3 MATERIALES Y MÉTODOS

En este apartado se detallan tanto las características de la zona de estudio como los materiales y la metodología empleados para la instalación de los experimentos.

3.1 Sitio de Estudio

El sitio de estudio se denomina "La Hunde y La Palomera", que se encuentra situado en la comarca del valle de Ayora-Cofrentes, en las estribaciones de la Sierra Palomera y que pertenece a la provincia de Valencia. Sus coordenadas son latitud $39^{\circ}04'30''\text{N}$, longitud $01^{\circ}14'26''\text{O}$ y se encuentra a una altitud de 1.090 msnm.

Nuestro estudio se lleva a cabo en el monte público de selección número V1007 N°154, que se extiende en 4500 hectáreas pertenecientes a la Generalitat Valenciana. La forma de acceder es cómoda a través de la carretera V440, vía que une las poblaciones de Ayora y Carcelén; a la altura del kilómetro 12 de la citada carretera existe un desvío el cual llega hasta el vivero de "Casas de la Hunde" (Figura 5). Esta zona destaca especies forestales como arces, fresnos, sabinas, encinas y pinos.

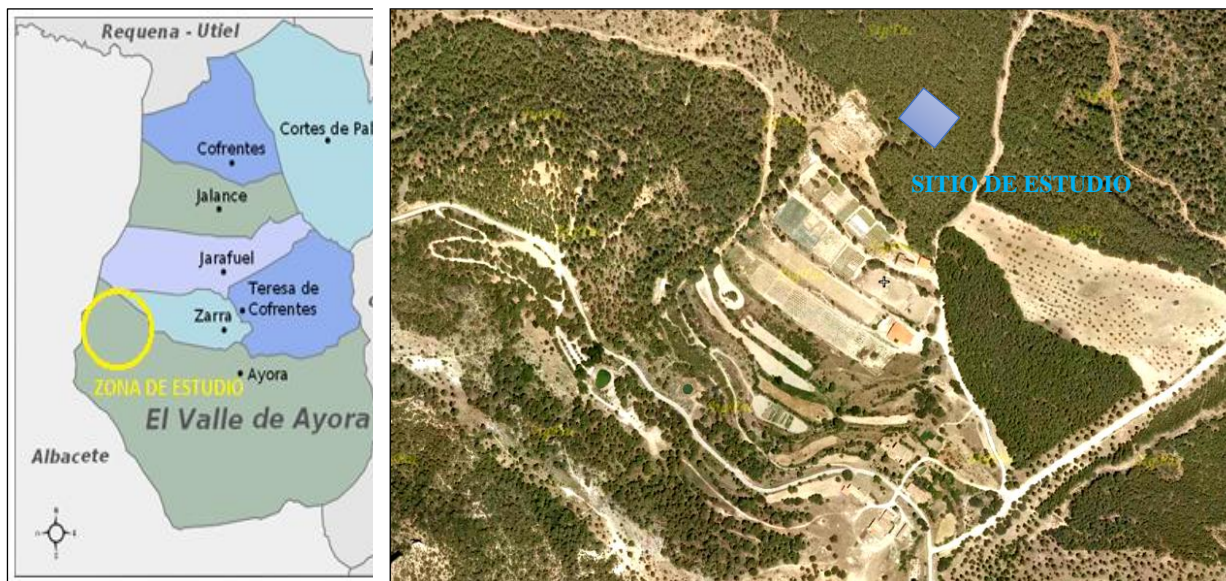


Figura 5. Localización del Monte La Hunde.

3.2 Descripción del Medio

Climatología

El clima en esta zona expresa diferencias con respecto al litoral, lo que se debe a la influencia de la continentalidad y la altitud. Dicha zona contiene una temperatura media anual que se aproxima a los 14.1 ° C la cual es inferior a las registradas en zonas más costeras y su precipitación promedio anual total es de 477 mm (Fernandes et al., 2016). Hay que tener en cuenta que el ombroclima que caracteriza a la zona de estudio es de tipo seco. En la Figura 6 se puede visualizar el diagrama ombrotérmico del municipio de Ayora en el que se encuentra.

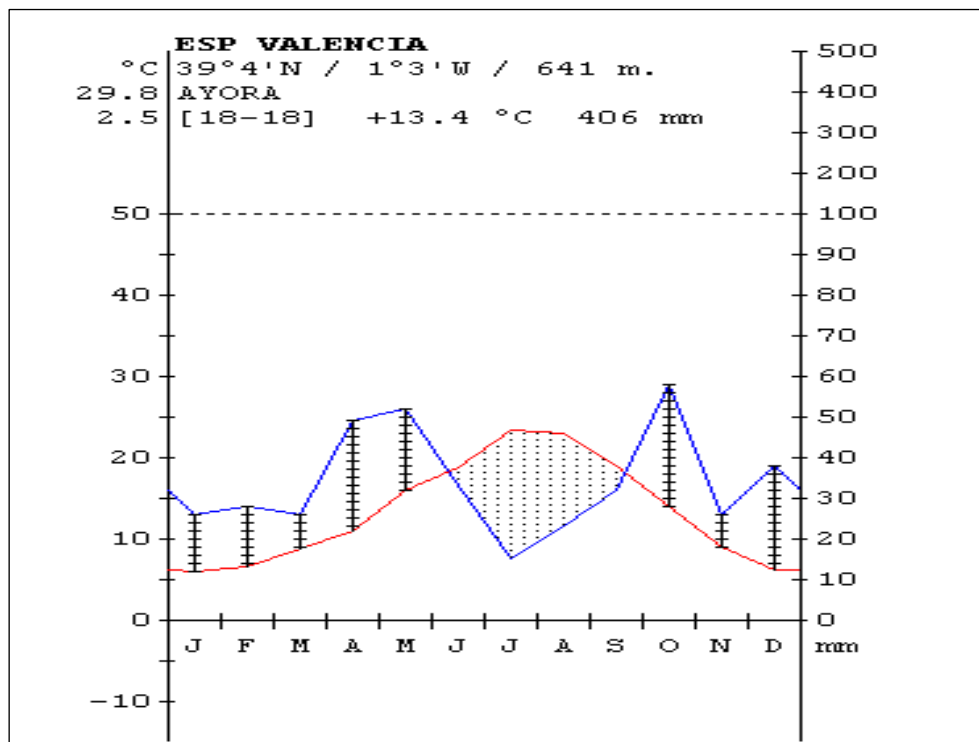


Figura 6. Diagrama ombrotérmico de Ayora. Fuente: Globalbioclimatics.

Según la FAO, el clima en nuestro monte se puede considerar como mediterráneo, con rasgos de continentalidad con tres meses de sequía. Otro autor dice que nuestro monte posee unos índices de precipitación superiores a los de las zonas circundantes, lo que hace que el monte sea húmedo, a pesar de que su exposición predominante sea sur y este (Cervelló Royo 2008).

Geomorfología y edafología

Valencia tiene 2 sistemas montañosos, sistema Ibérico Suroriental y el sistema Prebético Externo. Del segundo sistema no se hablará ya que nuestro estudio se encuentra localizado en el primero.

El Sistema Ibérico Suroriental distingue 3 sectores (septentrional, meridional y zona de transición), y es en el sector meridional dónde se encuentra el monte “La Hunde y La Palomera”.

El suelo contiene un pH entre 7,5 a 8,1; dependiendo del nivel de carbonatos que contenga el suelo, su porcentaje va entre 15% al 60%; según estudios realizados (del Campo et al., 2008), se define este (según la clasificación de la USDA) como franco arenoso, de una textura equilibra (Tabla 1).

Tabla 1. Características físicas del suelo. Los datos proceden de muestreos realizados en suelo por el departamento de IHMA de la UPV en parcelas que se encuentran muy cercanas a las destinadas al ensayo

PARCELA LA HUNDE			
Altitud (m)	940	Textura (usda)	Franco arcilloso arenoso, equilibrada.
Arena (%)	54.84	Pendiente	Menor 5%.
Limo (%)	22.05	Orientación	Todos los vientos.
Arcilla (%)	23.12	Profundidad del suelo (cm)	57

Hidrología

El monte de estudio forma parte de la cuenca hidrográfica del Júcar; posee una orografía que facilita la formación de barrancos y ramblas por donde los cauces existentes evacuan el agua (Figura 7). Esta cuenca tiene cauces de régimen mediterráneo, fuertes sequías en los meses de verano y probabilidades de inundaciones en los de otoño (Alarcón, 2010).

El río de más importancia en la comarca es el Reconque, cuyo nacimiento está al sur de la población de Ayora. Se nutre de varios cauces y barrancos aguas arriba, una gran parte de éstos son efímeros y no llevan cauce en la etapa estival (Molina, 2010).

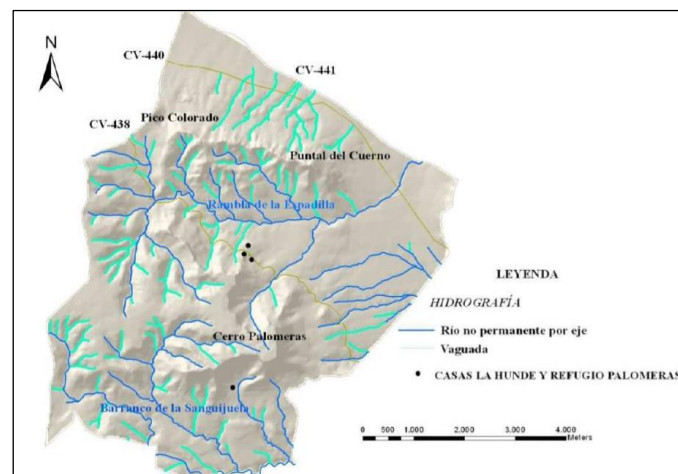


Figura 7. Hidrografía del monte de La Hunde y Palomera.

Los valores de lluvia que se registran en esta cuenca de superficie de 42.99 Km² generan un aporte medio anual de 3.200 Hm³, constituyendo el fenómeno de la evapotranspiración pérdidas que rondan el 85 % del total de precipitación registrada (IIAMA, 2006).

Vegetación potencial

Se entiende por vegetación potencial a la vegetación que dominaría de forma óptima una zona bajo condiciones de sol, orientación, altitud y climatología concretas. Dicha vegetación coincidirá con la vegetación primitiva del lugar siempre y cuando cualquier alteración producida a lo largo del tiempo no produjese modificaciones en la composición florística.

Se consultó el mapa de series de vegetación de Salvador Rivas Martínez (1987) para identificar las series de vegetación potencial presentes en el monte de estudio (Figura 8).

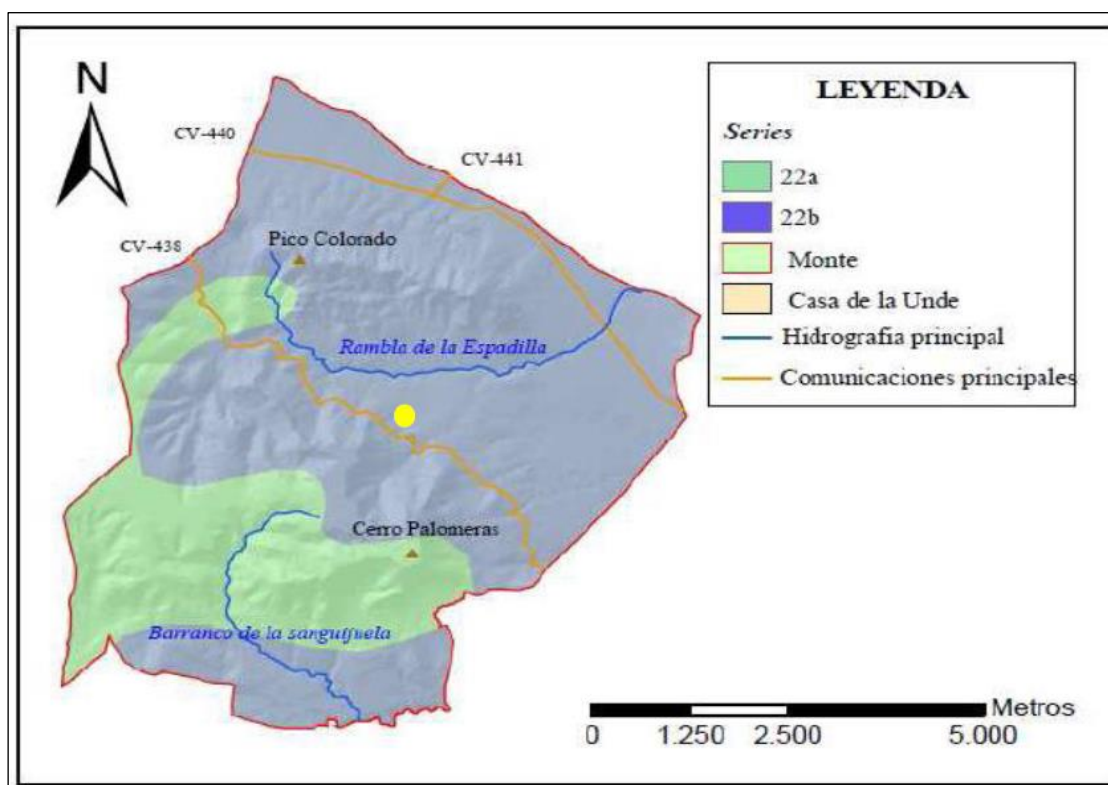


Figura 8. Pisos bioclimáticos y series de vegetación de Rivas Martínez. (Rivas, 1987)

Vegetación actual

El monte de “La Hunde y La Palomera” cuenta con las siguientes unidades de vegetación según el mapa forestal de España a una escala de 1:200.000 (1990) (Tabla 2).

Tabla 2. Formaciones vegetales presentes en la zona de estudio según el mapa forestal de Ruiz de la Torre (1990).

N.º	Unidades de vegetación presentes en el monte	Superficie (ha)
1	Repoblación forestal de <i>Pinus halepensis</i> con matorral de <i>Rosmarinus officinalis</i> y tomillar mixto. Cobertura del 95%.	719.07
2	Repoblación forestal de <i>Pinus halepensis</i> con matorral de <i>Rosmarinus officinalis</i> y <i>Brachypodium retusum</i> . Cobertura del 70%.	385.15
3	Matorral de degradación del pinar con <i>Rosmarinus officinalis</i> y tomillar mixto.	46.34
4	Masa aclarada de <i>Pinus pinaster</i> , <i>Quercus coccifera</i> , matorral con <i>Rosmarinus officinalis</i> y tomillar mixto. Inclusión de crestones rocosos.	410.00
5	Masa mezclada de <i>Pinus halepensis</i> y <i>Quercus ilex</i> . Cobertura del 70%.	374.54
6	Masa mezclada con 30% de cubierta de <i>Pinus halepensis</i> , 20% rodales de repoblación de <i>Pinus halepensis</i> y 10% de <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> . Pies de <i>Populus nigra</i> en vaguadas húmedas.	1,043.34
7	Mosaico de <i>Pinus halepensis</i> , <i>Quercus coccifera</i> , <i>Juniperus oxycedrus</i> y <i>Rosmarinus officinalis</i> . Pies de <i>Pinus pinea</i>	1,322.94
8	Matorral degradado. Tomillar mixto.	165.47
9	Matorral denso <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> , <i>Ulex parviflorus</i> y tomillar mixto.	145.70
10	Masa forestal de <i>Pinus halepensis</i> , <i>Juniperus phoenicea</i> y <i>Quercus ilex</i> subsp. <i>ballota</i> .	23.90
11	Cultivos agrícolas.	29.66

La vegetación que se encuentra en la zona de experimentación se corresponde con la primera unidad de vegetación descrita por Ruiz de la Torre (1990), tratándose de una repoblación monoespecífica de *Pinus halepensis* Mill. con una superficie próxima a las 720 ha. Además de las mencionadas especies de romero y tomillo, el sotobosque también presenta regenerados de encina (*Quercus ilex* subsp. *ballota*), numerosos individuos de coscoja (*Quercus coccifera*) y enebros (*Juniperus oxycedrus*).

3.3 Descripción de la masa forestal

La zona elegida para la instalación de los ensayos fue una repoblación forestal de finales de los años 40 ubicada sobre antiguos bancales agrícolas, y localizada en las inmediaciones del vivero forestal “La Hunde”, perteneciente a la Generalitat Valenciana y gestionado por la empresa pública Vaersa, que se encuentra en el monte de Utilidad Pública “La Hunde y La Palomera”. Gracias a la colaboración del personal del vivero se logra el mecanismo de coordinación y la vigilancia pasiva de los ensayos.

Las masas seleccionadas eran masas debilitadas que presentaban un estancamiento de su productividad y un alto riesgo fitosanitario y de incendio, demandando tratamientos silvícolas urgentes. El objetivo de haber elegido este tipo de masas fue representar la situación actual y futura de un alto porcentaje del territorio forestal de la Comunidad Valenciana, con muy bajos niveles de cortas y gestión forestal.

El control, o masa no tratada, es una masa homogénea de alta densidad de pino carrasco de 70 años de edad. Como consecuencia de la competencia intraespecífica, los árboles muestran fustes de diámetros reducidos debido a dicha densidad. El sotobosque está bastante disperso, lo que facilita las labores de trabajo (Alarcón, 2010).

3.4 Descripción del diseño experimental y de los tratamientos

Este trabajo parte del diseño estadístico el de bloques completos al azar, que se mantienen desde el ensayo original de hace 10 años, con tres bloques o repeticiones para cada tratamiento de clara y control. Cada bloque se subdivide en 4 parcelas experimentales cada una con dimensiones de 30 x 30 m, en las cuales se aplicaron los tratamientos de clareos hace 10 años; cada tratamiento correspondiéndose con diferentes intensidades de corta y un control (fuerte, moderada, baja y control). Los valores objetivos de cobertura o fracción de cabida cubierta que se pretendían alcanzar eran de 10 %, 30 %, 60 % y el control que es del 100 %, si bien los valores finales reales medidos in situ se desviaron ligeramente de éstos (Tabla 3). Todas las parcelas se encuentran con una pendiente inferior al 5%, de manera que se pueden despreciar los procesos de escorrentía superficial (Molina y del Campo, 2012).

Se seleccionaron un total de 16 árboles dentro del bloque 1 (4 por parcela) para poder estudiar el crecimiento y la transpiración, considerando una distribución de diámetro de 3 clases en cada parcela (<20.5, 20.5 – 26.5, > 26.5 cm). Se seleccionaron 2 árboles de la clase de diámetros más bajo y más alto, respectivamente, y los otros 2 se seleccionaron de la clase media. Esta muestra, aunque de tamaño modesto, se encuentra dentro del rango considerado en los estudios de relaciones árbol – agua (Granier, 1987; Klein et al., 2013; Martínez-Vilalta, Piñol, & Beven, 2002).

La Fracción de cabida cubierta (Fcc, %) se midió con la ayuda de una escuadra óptica, un instrumento que nos permite visualizar la vertical exacta desde cualquier punto del terreno ya que contiene 2 niveles alojados en su interior (Molina, 2010).

Para este trabajo la metodología fue la siguiente: 4 transectos por parcela, separados 7.5 m, en los que se midió la FCC cada 50 cm hasta final de la parcela, por eso la longitud de los transectos es irregular.

De igual modo se determinó también el índice de área foliar, utilizándose un Licor LAI – 2000. Este instrumento se basa en la atenuación que sufre la radiación solar a su paso por la cubierta vegetal, siguiendo la Ley de Lambert – Beer, adaptada para un follaje más o menos denso (Larcher, 1977).

Tabla 3. Medias de las variables de la estructura forestal en las parcelas de control y tratadas para el año 2008

TRATAMIENTO	FCC %	DENSIDAD (árboles/ha)	LAI (m ² /m ²)	SUPERFICIE DE ALBURA (m ² /ha)
Control (C)	84	1,489	2.6	230.9
Baja Intensidad (L)	68	744	1.7	256.3
Media Intensidad (M)	50	478	1.7	250.8
Alta Intensidad (H)	22	178	0.5	332.0

3.5 Transpiración

Método HRM (Heat Ratio Method)

Este método consiste en medir la velocidad de flujo de savia (V_s) a través de una resistencia la cual emite un pulso de calor. Este artefacto se puede utilizar en tallos, ramas y troncos de plantas leñosas y frente a otros métodos más extendidos, es capaz de medir velocidades bajas de transpiración (Alarcón, 2010).

Además, este método parte de la hipótesis de que la propagación de calor dentro de un tronco se debe al flujo ascendente de agua a través del tejido xilemático, ocasionado por la transpiración. El calor es emitido por una resistencia que está acoplada a una aguja. A la misma distancia de la resistencia existen 2 agujas localizadas aguas arriba y aguas abajo en las que se encuentra colocados 4 medidores de temperatura (2 termopares por aguja) a una misma profundidad. Estas agujas (termopares) captan el aumento de la temperatura (Figura 9).

Una vez transcurrido un tiempo inicial tras la emisión del pulso de calor (periodo de estabilización de la temperatura), los termopares captan el aumento de la temperatura, de manera que, conociéndose la distancia entre éstos y la aguja emisora (0.5 cm), es posible calcular la velocidad para cada uno de ellos (Molina, 2010).

En los ensayos de hace 10 años, para empezar la instalación de los sensores en los árboles previamente se tuvieron que realizar varias pruebas, una de ellas fue derribar algunos árboles en la zona aledaña a los tratamientos con el fin de conocer si disponían de madera no conductora (duramen), lo que permitió descartar la presencia de ello (Molina, 2010). Para esta segunda etapa del experimento, se requiso recalcular el área conductora por la cual se estaría propagando el pulso de calor, por lo que fue necesario extraer muestras de madera, en este caso de 7 árboles de la misma especie en la zona colindante a los tratamientos, dichas muestras se tomaron a una altura de 1.30 m con la ayuda de una barrena de Pressler.

Para el análisis de los datos se tomó en cuenta el periodo que fue desde el 14 de junio hasta el 26 de agosto del 2018. Las elecciones de las fechas en las que fueron medido los datos de transpiración es debido a ser un periodo típico estival la transpiración tiene a ser elevada debido a las altas temperaturas.

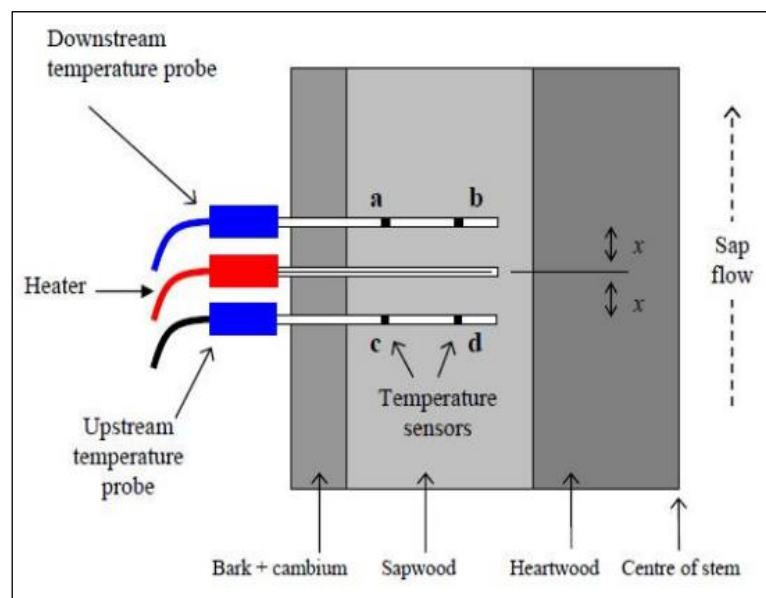


Figura 9. Esquema del funcionamiento de un sensor HRM30 en un tronco.

En la Figura 9 se puede observar el sensor de flujo de savia, que posee 3 agujas de acero inoxidable que están ligadas a un microprocesador, el cual su función es la de enviar la información a un Logging Station.



Figura 10. Sensor HRM30 y Data Logger.

La Figura 10 nos indica como el sensor de flujo de savia está ligado a el data logger el cual es el encargado de almacenar la información.

Con la ayuda del programa Hyperterminal se logró descargar los datos de transpiración, estos fueron exportados a una hoja de MS Excel.

Los sensores se alimentan gracias a la instalación de un panel solar que recarga a una batería de 12 V similar a la que usan los automóviles. El panel está ubicado a 9 metros de altura con relación al suelo, en un árbol en una parcela con dirección Sur, con el objetivo de recibir mucha más radiación solar y alimentar de mejor manera a la batería. La mayoría de los sensores requieren una alimentación de 12 V para que funcionen correctamente, pero también acogen voltajes entre 7 y 28 Voltios (Figura 11). Tanto el panel solar como la batería van conectados al Logging Station (Alarcón, 2010).

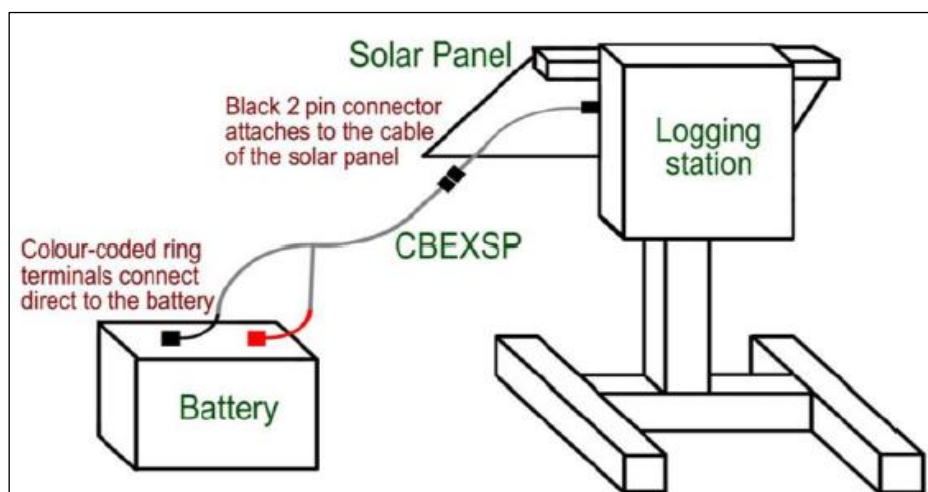


Figura 11. Diagrama del suministro energético.

Sensores humedad del suelo.

El contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) se midió continuamente durante todo el periodo en todos los tratamientos cada 20 minutos mediante la ayuda de sensores FDR (EC – 5, Decagon Dervices Inc., Pullman, WA) que están conectados a varios registradores de datos EM₅₀ (Decagon).

En cada tratamiento, se colocaron entre 6 y 9 sensores a una profundidad de 30 cm considerando la influencia del árbol o no (es decir, con / sin influencia de la copa: los sensores aumentaron de 6 (control, C) a 9 (tratamiento del máxima intensidad de clareo, H) para tener en cuenta la variabilidad de la cubierta. Las calibraciones de campo de las sondas se realizaron determinando el contenido de agua gravimétrica en cuatro fechas de muestreo. Las cuales son: saturación, capacidad de campo, ente la capacidad de campo y el punto de marchitamiento y el marchitamiento). El rango completo de SWC en el sitio se obtuvo de del Campo et al. (2014).



Figura 12. Sensor FDR (EC – 5, Decagon Dervices Inc., Pullman, WA).

Las mediciones que realizan estos sensores (Figura 12) son almacenadas en un data logger de la misma marca que el sensor (Decagon modelo EM – 50, Figura 13). El data-logger se encuentra ubicado a escasos metros de los sensores. La descarga de la información de los datos se la efectúa cada 25 a 30 días aproximadamente in situ con la ayuda de un portátil a través del software (*H2O Eco – Utility*) que el mismo fabricante proporcionó. Este software crea archivos informáticos en formato *MS Excel* (Alarcón, 2010).



Figura 13. Colocación del Data Logger.

Es importante señalar que el periodo de recogida de datos de los sensores fue desde el 14 de junio hasta el 26 de agosto del 2018.

3.6 Tratamiento y análisis estadístico de los datos

Todos los datos fueron tomados de forma manual (no telemétrica) o con la ayuda de distintos programas y fueron transformados a formatos Excel a través de Microsoft Office 2010.

Con los datos en formato de Excel se comenzaron a depurar los que presentaban errores para posteriormente ingresarlos en el programa estadístico; el análisis estadístico se realizó con el programa SPSS Statistics 25.

Las diferencias en la transpiración y SWC entre los tratamientos se analizaron con ANOVA considerando como factor fijo el tratamiento. Los datos se examinaron para garantizar la homogeneidad de las varianzas con la prueba de Levene. Cuando se violó esta suposición, es decir las variables resultaron ser heterocedásticas, se aplicó un análisis de pruebas no paramétricas o Kruskal – Wallis. Se utilizó un nivel de significancia de $p < 0.05$ para todos los análisis.

4 RESULTADOS Y DISCUSIÓN

A continuación, en la Tabla 4 se observa los resultados que se midió de la fracción de cubierta cubierta (Fcc, %) y las densidades correspondientes para nuestro periodo de estudio, en el cual se puede observar que los porcentajes en los tratamientos en cobertura con el pasar de los años han aumentado con relación a los del 2008 (Tabla 3).

Tabla 4. *Resultados de cobertura para el año 2018 en los diferentes tratamientos.*

TRATAMIENTO	FCC %	DENSIDAD (árboles/ha)
Control (C)	88.91	1,414
Baja Intensidad (L)	91.52	713.69
Media Intensidad (M)	80.83	463.92
Alta Intensidad (H)	41.35	224.18

A continuación, presentamos los resultados de transpiración expresados en l/árbol y mm, como también el contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en los diferentes tratamientos de intensidad de clareo en nuestro sitio de estudio. Además, vale la pena recordar que los porcentajes de cobertura o fracción de cubierta contienen los siguientes valores: 10, 30, 60 y 100.

Para comprender de una mejor manera, adoptamos la siguiente nomenclatura, que es la que nos indicará a que porcentaje de intensidad de clareo nos estamos refiriendo en los análisis realizados (Tabla 5). **Tabla 5.** *Nomenclatura de los Tratamientos.*

Tabla 5. *Nomenclatura de los Tratamientos.*

NOMENCLATURA	COBERTURA (%)
T0	10
T1	30
T2	60
T3	100

4.1 Lluvia bruta

La lluvia bruta total acumulada fue de 124.20 mm para nuestro período de estudio (mayo – septiembre 2018). La precipitación se presentó de forma muy irregular (Figura 14), pudiéndose observar que no existe un periodo húmedo que sobresalga muy marcadamente, si bien si aparecieron lluvias en los meses de primavera, tal y como se esperaba. También se aprecia claramente un periodo seco que se encuentra entre los meses de junio a agosto (verano).

La Figura 14 indica que existen solo 4 días los cuales han pasado el umbral de 10 l/m² concentrados en el mes de mayo cuyas lluvias han recargado el suelo con humedad. Más adelante en junio, se caracteriza por ser un mes de máxima radiación solar, pero con alto contenido de humedad del suelo ocasionando la máxima transpiración.

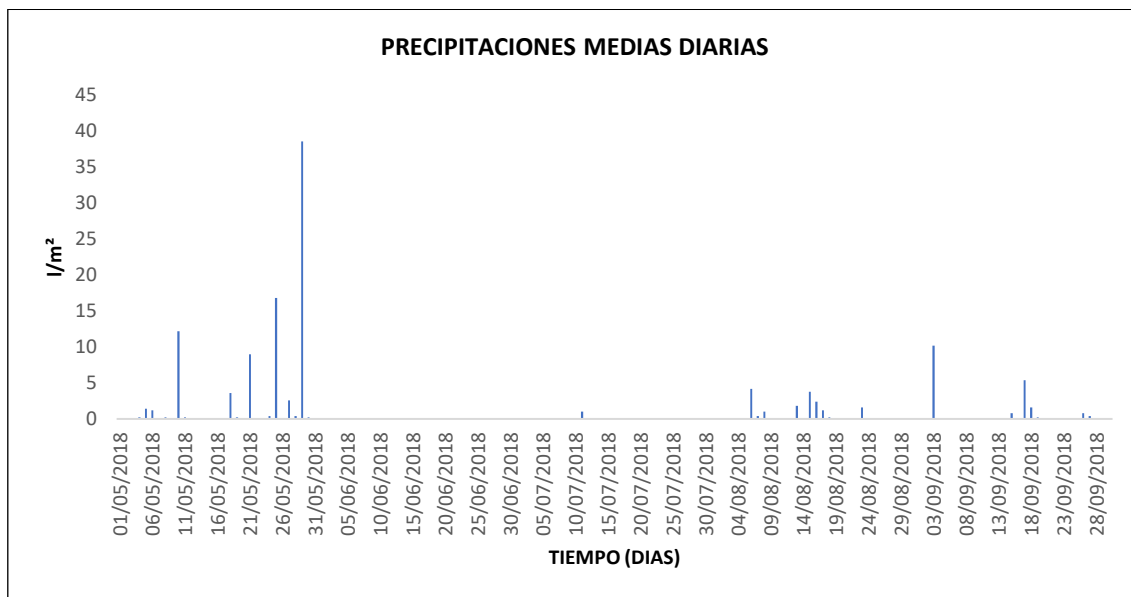


Figura 14. Precipitaciones medias diarias de Ayora – La Hunde

4.2 Valoración de la transpiración como consumo del agua por árbol (l/árbol).

El intervalo íntegro del estudio de la transpiración para este trabajo es del 14 de junio al 26 de agosto del 2018. Por otro lado, los resultados obtenidos nos indicaron de forma general el comportamiento de la transpiración en los diferentes individuos. Este trabajo consiste en explicar el comportamiento de la transpiración en un periodo de medio plazo en parcelas que están sometidas a diferentes intensidades de clareo bajo una gestión forestal adecuada.

Se tomaron en consideración 3 escenarios para el presente estudio, uno de ellos es el escenario de agua que se caracteriza por poseer la mayor cantidad de agua ya sea por precipitaciones o por contenido de humedad del suelo; en segundo lugar, el escenario de transición que consiste en el paso del escenario de agua al de sequía; y finalmente el escenario de sequía cuya característica es observar cómo reacciona el arbolado con poca cantidad de agua.

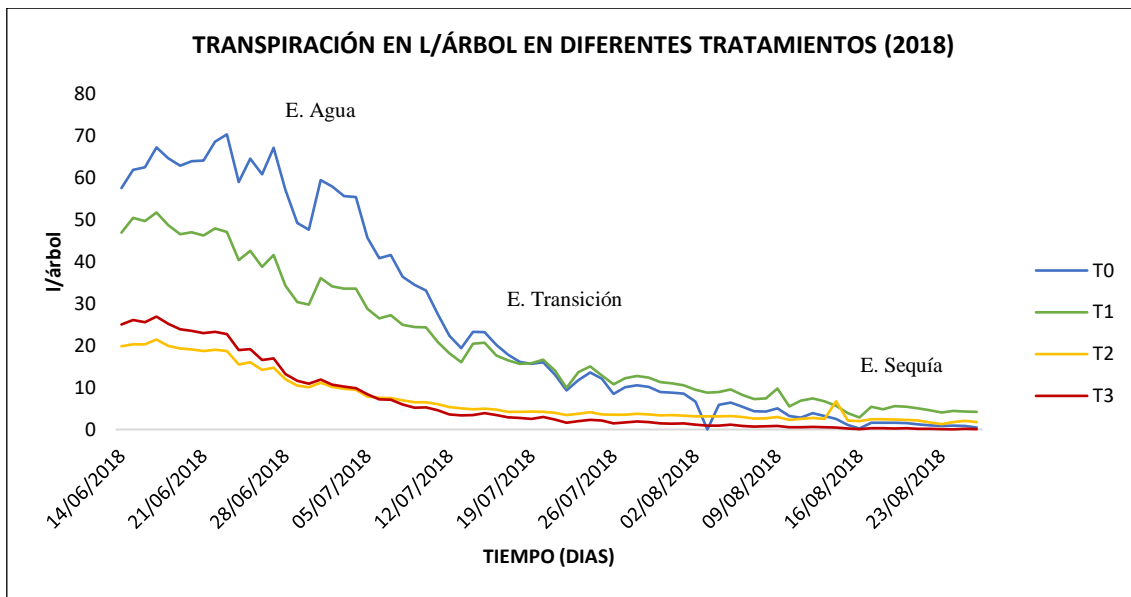


Figura 15. Evolución de la transpiración en l/árbol considerando los 3 escenarios indicados (agua, transición y sequía) en las diferentes intensidades de tratamiento, en el periodo de tiempo (14 junio – 26 agosto).

En la Figura 15 se representa la transpiración media (l/árbol·día) en las diferentes intensidades de tratamiento, en el período de tiempo considerado para este estudio. Se puede observar que los tratamientos T0 y T1 son aquellos que han transpirado más, mientras que los tratamientos T2 y T3 son los que menos. Esto se debe a que mientras más árboles se retiran en una parcela o un sitio experimental (por influencia de un tratamiento intenso de clareo), mayor es el consumo de agua por árbol.

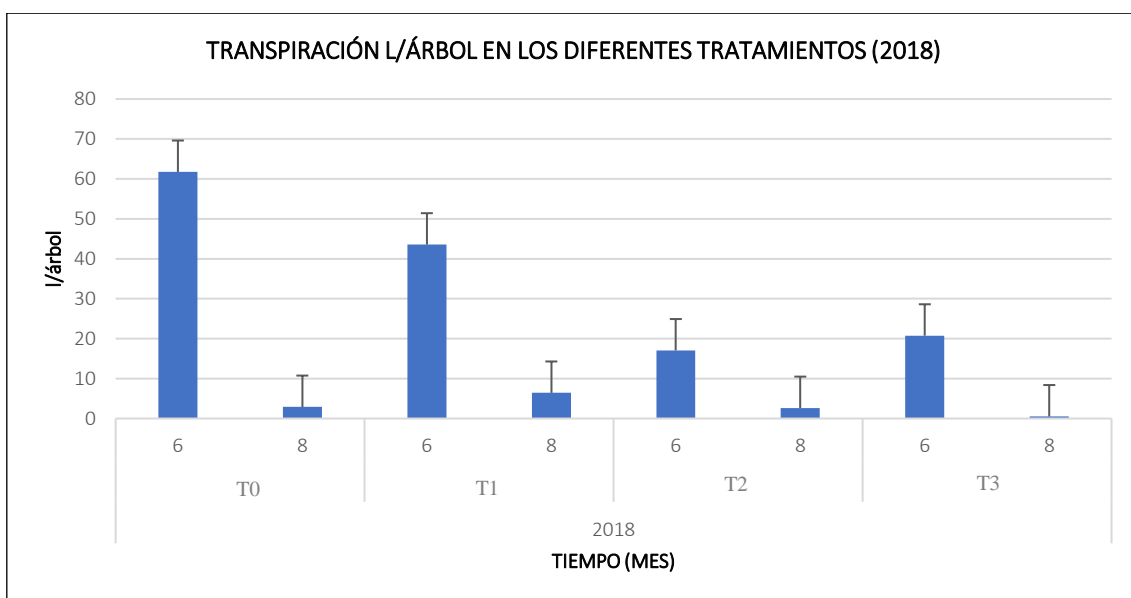


Figura 16. Transpiración en l/árbol en diferentes intensidades de tratamiento (junio y agosto 2018). 6 y 8 son las medias para los meses de junio y agosto, respectivamente. Las barras de error representan la desviación típica

La Figura 16 agrupa los datos por periodo húmedo y seco e indica que cada tratamiento transpira más en la época de disponibilidad de agua (junio). Para T0 y T1 que fueron los que transpiraron más, se registró un valor medio de 61.75 y 43.55 l/árbol respectivamente; en cambio para los tratamientos T2 y T3 que transpiraron en menor proporción, se registraron valores medios de 17.04 y 20.74 l/árbol respectivamente. Esto se debe al contenido de humedad de agua que posee el suelo y a las lluvias que se han presentado con anterioridad en la estación de primavera (Figura 14).

Asimismo, en la Figura 16 se observa que el tratamiento T1 transpiró más en la época de no disponibilidad (agosto) con un registro medio para este periodo de 6.42 l/árbol a diferencia de los otros. Los tratamientos T0, T2 y T3 registraron valores inferiores al ya mencionado, sus valores fueron los siguientes: 2.89, 2.62 y 0.52 l/árbol respectivamente.

Se puede verificar que los tratamientos siguen la misma secuencia que hace 10 años (del Campo et al., 2014; Fernández et al., 2016): en 2018 los tratamientos T0, T1, T2 y T3 registraron valores medios totales de 25.73, 20.48, 7.15 y 6.77 l/árbol respectivamente. Por otro lado, en el 2009-2010 se registraron valores de 17.77, 8.52, 5.08 y 5.22 l/árbol en promedio para estos mismos meses. Se puede observar que el tratamiento T0 transpiró más que todos en estos 10 años, en cambio el T3 fue el que menos lo hizo (del Campo et al., 2014).

4.2.1 Comparación evolutiva de la transpiración (l/árbol) frente al contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en distintos tratamientos de clareo.

En esta ocasión la humedad del suelo acompaña en todas las gráficas 17, 18, 19 y 20 para ilustrar de una mejor manera como cambia la evolución de la transpiración (l/árbol) con el pasar de los días.

En la Figura 17 se representa un análisis detallado de la transpiración y el contenido de humedad del suelo SWC en el tratamiento T0, con los datos del período junio – agosto. De la misma manera, se puede observar como el valor de la transpiración (l/árbol) y el contenido de humedad del suelo SWC van disminuyendo progresivamente.

Vale la pena mencionar que hay que tener en cuenta que al referirnos al % de clareo estamos hablando de la cubierta que se deja en la parcela una vez realizado el tratamiento. La transpiración es más elevada en este tratamiento T0, ya que al estar sometido a un porcentaje de la alta intensidad de clareo (se deja 10%), mayor será el consumo de agua por árbol, al

tener menos competencia. De igual modo sucede con el contenido de humedad del suelo: su disminución es progresiva como el de la transpiración.

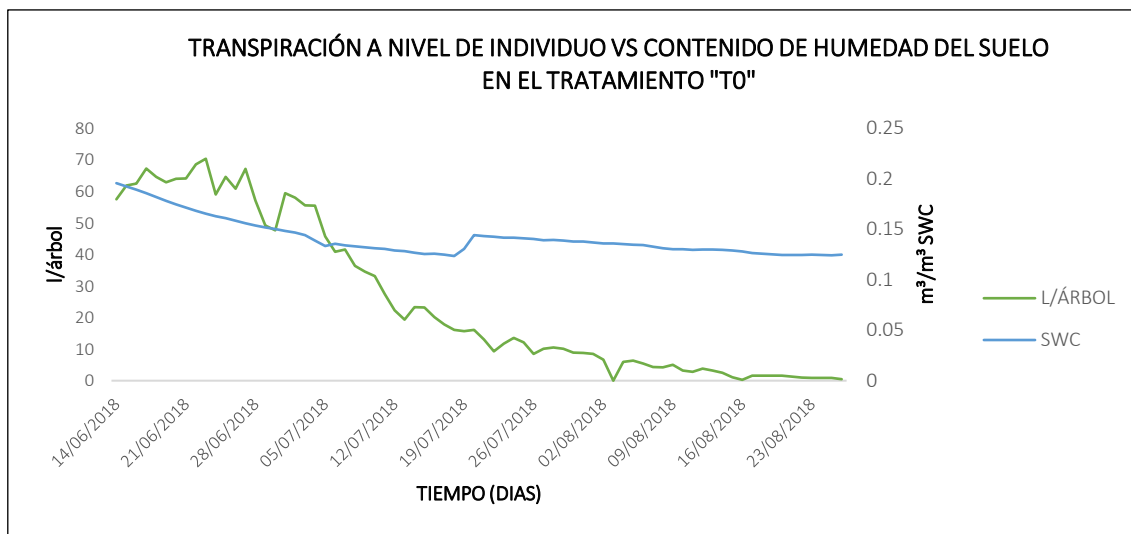


Figura 17. Evolución temporal de la transpiración (l/árbol) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento más intenso de clareo (10% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.

En la Figura 18 se representa la evolución temporal detallada de la transpiración y el contenido de humedad del suelo (SWC) en el tratamiento T1. Se puede observar que han disminuido de forma progresiva con el transcurso de los días. Este tratamiento contiene mayor cobertura en comparación con T0, razón por la cual la disponibilidad de agua en el suelo por árbol individual es menor y la transpiración es menor para este nivel de individuo.

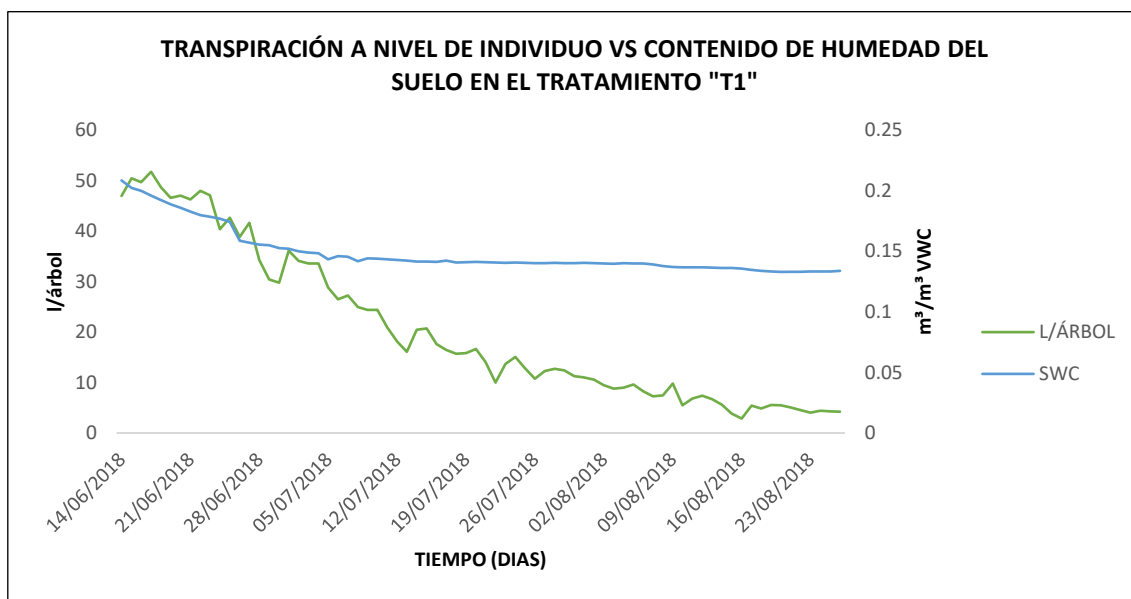


Figura 18. Evolución temporal de la transpiración (l/árbol) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento de intensidad media de clareo (30% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.

Se observan en las Figura 19 y Figura 20 que son muy parecidas tanto en transpiración como en contenido de humedad del suelo (SWC) para los dos tratamientos de baja intensidad de clario (T2 y T3). Las gráficas se comportan de forma similar porque estas 2 parcelas contienen alto número de individuos.

La Figura 19 representa un porcentaje de clareo bajo (FCC del 60%) y su transpiración en relación a los otros tratamientos T0 y T1 es menor, lo que tiene sentido ya que al existir un porcentaje del 60% existe mayor competencia entre árboles, pues al porvenir éstos de una plantación monoespecífica de *Pinus halepensis*, sus necesidades son muy parecidas y coincidentes en el tiempo .

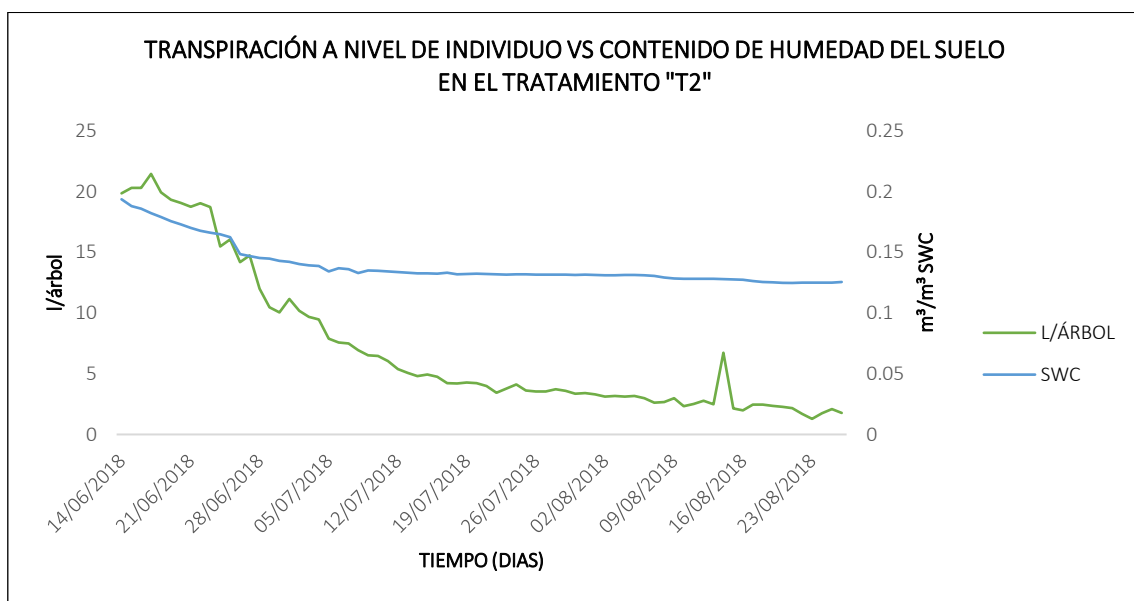


Figura 19. Evolución temporal de la transpiración (l/árbol) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento de intensidad baja de clareo (60% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.

Asimismo, la Figura 20 muestra que la transpiración en T3 se comporta de la misma manera que la del tratamiento T2, con diferencia que en esta parcela es un control con FCC del 100%; no existió clareo y posee un gran número de individuos por lo que su grado de competencia es muy elevado, tal y como ya venía ocurriendo hace 10 años (Del Campo et al., 2014).

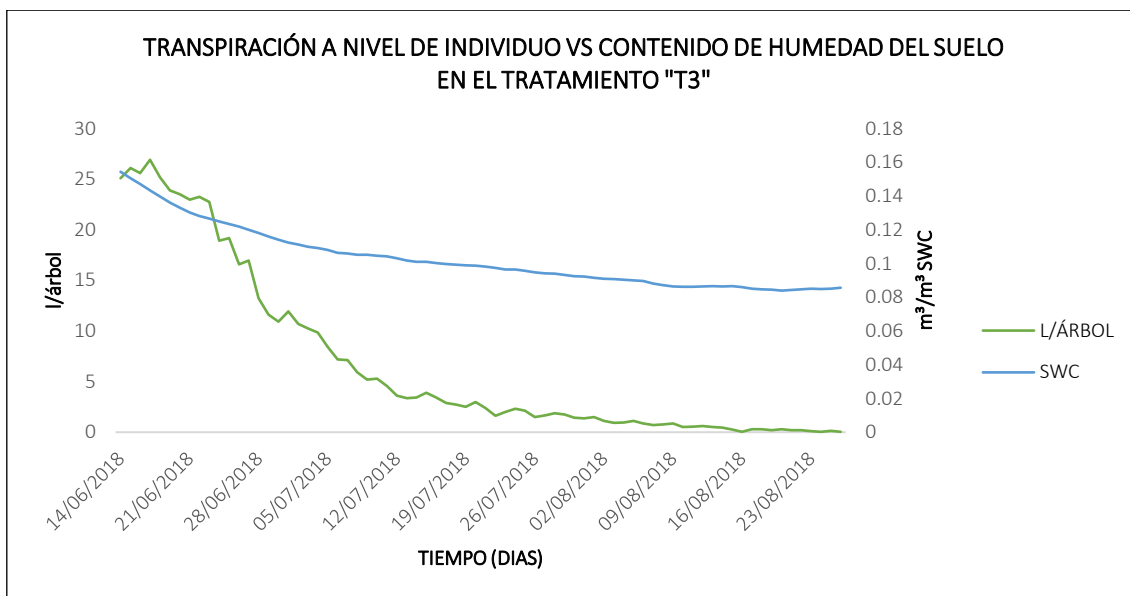


Figura 20. Evolución temporal de la transpiración (l/árbol) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento sin clareo (100% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.

Establecidos los periodos de transpiración y desarrollando el correspondiente cálculo estadístico, se analizaron los resultados obtenidos para el periodo completo de estudio que va desde el 14 de junio al 26 de agosto, esto a nivel de transpiración de individuo.

4.2.2 Análisis estadístico

En la Tabla 6 se pueden visualizar los estadísticos descriptivos de la transpiración (l/árbol) para los diferentes tratamientos en donde se puede ver que la mediana de los tratamientos T0 y T1 son similares, como las de los tratamientos T2 – T3.

Tabla 6. Estadística descriptiva de la transpiración (l/árbol) para los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	Media	N	Desv. Desviación	Mediana
0	25.7322	74	24.6727	14.6520
1	20.4798	74	15.2038	15.3675
2	7.1538	74	6.0411	4.2137
3	6.7781	74	8.4723	2.4458
Total	15.0360	296	17.4200	7.7247

Al realizar la prueba no paramétrica de Kruskal – Wallis el valor de p fue menor al nivel de significancia (0.05) indicando que existe diferencia significativa entre las medias de la transpiración por efecto de los diferentes tratamientos de clareo. En la Figura 21 se muestra el diagrama de cajas de la distribución de los datos de transpiración por cada tratamiento en donde se observa como varia la media entre los diferentes tratamientos.

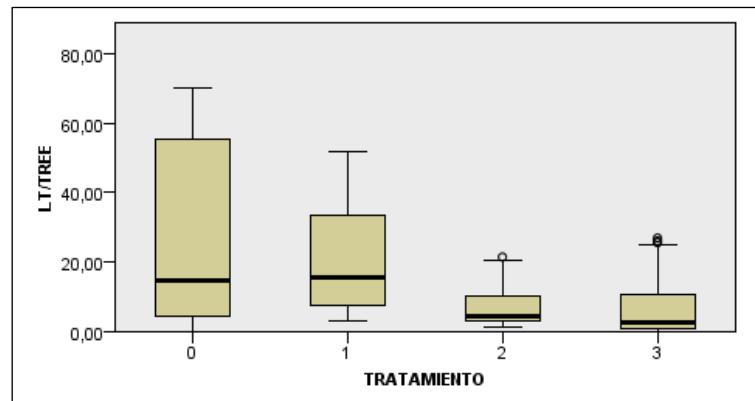


Figura 21. Diagrama de cajas de la distribución de la transpiración por cada tratamiento

Dado que conocemos que existen diferencias significativas entre los tratamientos, se hizo una comparación de parejas entre los tratamientos tal como se muestra en la Tabla 7 en donde se indica el nivel de significancia entre estos.

Tabla 7. Significancia comparativa entre tratamientos aplicando (kruskal – wallis).

Tratamiento	Significancia
T3 – T2	0.465
T3 – T1	0.000
T3 – T0	0.000
T2 – T0	0.000
T2 – T1	0.000
T0 – T1	1.000

De estos datos podemos observar que para las parejas de tratamientos T3 – T2 y T0 – T1 el valor de p es mayor a 0.05 lo que implica que no existe diferencia significativa entre estos tratamientos. En otras palabras, el análisis mostro que las mayores diferencias se encuentran entre los tratamientos del 10 y 100 %, no siendo significativas las diferencias entre los tratamientos 10 y 30 % y entre los tratamientos 60 y 100%, similares a los resultados obtenidos por Molina, (2010).

4.3 Valoración de la transpiración como consumo de agua por masa forestal (mm).

Este análisis nos proporciona una idea de cómo fue el comportamiento de la transpiración en las diferentes intervenciones en la masa cuando ésta se mide en unidades de evaporación y no de uso de agua por el árbol.

Establecidos los periodos de transpiración, y habiendo realizado el correspondiente cálculo estadístico, se analizan los resultados obtenidos para el período completo de trabajo, del 14 de junio al 26 de agosto del 2018 en los diferentes escenarios mencionados con anterioridad.

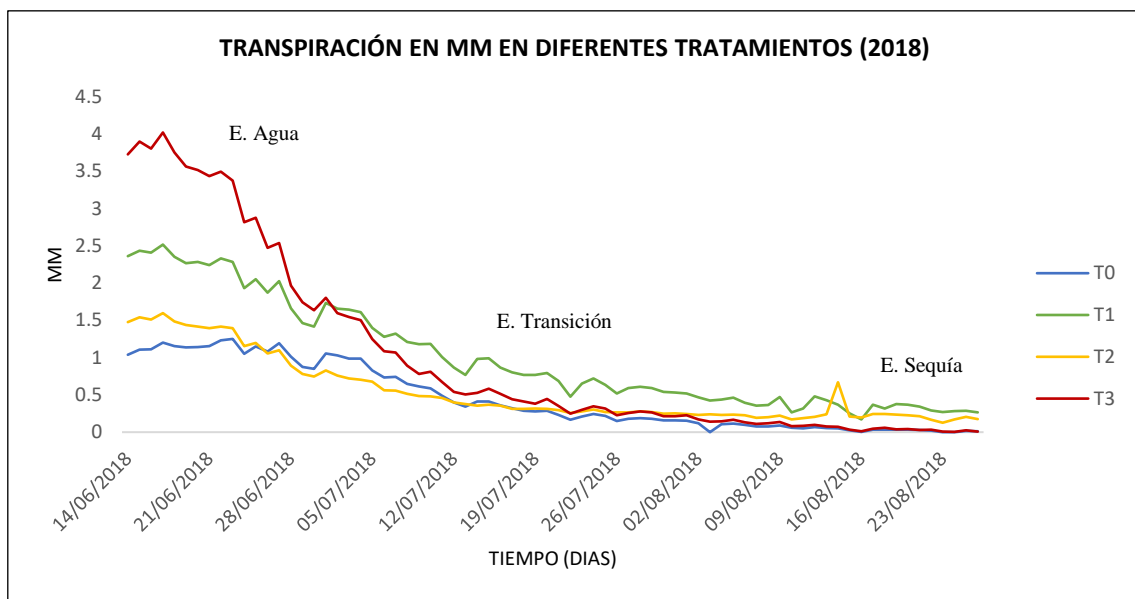


Figura 22. Representación de la transpiración en “mm” para las diferentes intensidades de tratamiento, en el periodo de tiempo (14 junio – 26 octubre).

En la **Figura 23** se observa la evolución de la transpiración con relación al tiempo en los diferentes tratamientos. Se puede visualizar que los tratamientos T3 y T1 son aquellos que han transpirado más (mm) en comparación con los tratamientos T0 y T2. Se puede evidenciar que al contener una mayor densidad de árboles en un espacio determinado mayor será su transpiración. Se puede evidenciar claramente en la **Figura 23** que cada tratamiento tiene sus 3 escenarios, escenario agua, de transición y de sequía bien diferenciados.

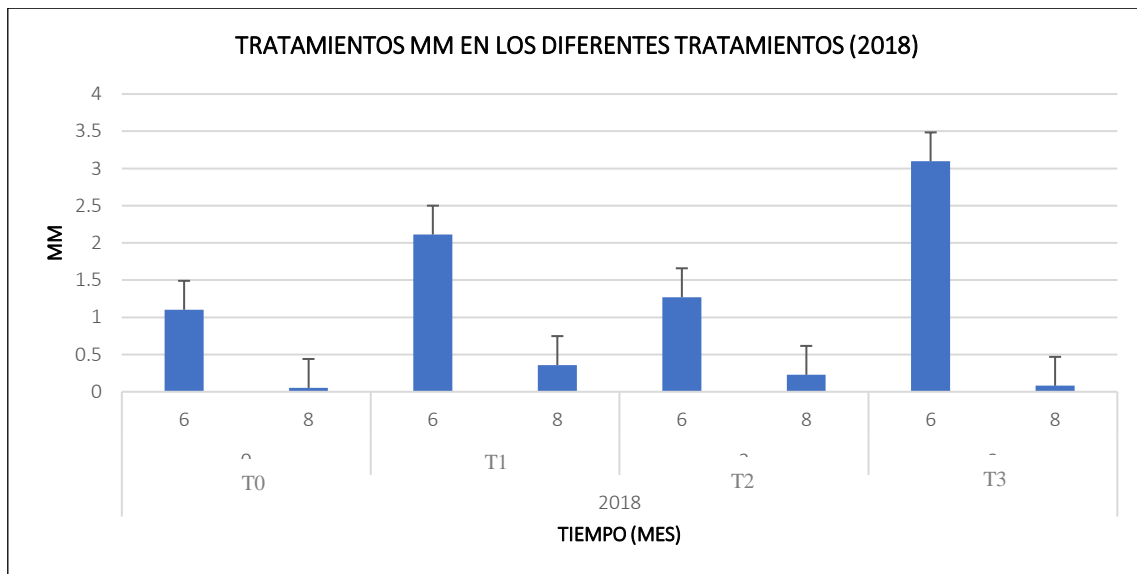


Figura 23. Transpiración en mm en diferentes intensidades de tratamiento (junio y agosto 2018). 6 y 8 son las medias para los meses de junio y agosto, respectivamente. Las barras de error representan la desviación típica

Al observar la Figura 23 se ve con claridad que cada tratamiento transpira de forma diferente en la época de disponibilidad de agua y alta demanda evaporativa (junio), los tratamientos T3 y T1 son aquellos que tienen valores diarios promedio más altos con registros de 3.09 y 2.11 mm respectivamente; con relación a los tratamientos T2 y T1 éstos dieron valores promedio de 1.27 y 1.10 mm diarios respectivamente. Esto se debe al contenido de humedad de agua que posee el suelo como consecuencia de las lluvias que se han presentado con anterioridad en la estación de primavera (Figura 14).

Asimismo, en la Figura 23 se observa que el tratamiento T1 transpiró más en la época de no disponibilidad (agosto) con un registro de 0.359 mm/día a diferencia de los otros. Los tratamientos T2, T3 y T0 registraron valores inferiores al ya mencionado, sus valores fueron los siguientes: 0.228, 0.080 y 0.052 mm/día respectivamente.

Los valores medios obtenidos por cada tratamiento en el 2018 no llevan la misma secuencia que los obtenidos en el 2008. En lo que se refiere a los 4 tratamientos, T3 y T2 se comportan de forma similar que hace 10 años, en cambio tratamientos en los T0 y T1 el comportamiento es diferente. En 2018 los valores medios totales registrados de los tratamientos T0, T1, T2 y T3 fueron los siguientes 0.459, 1.008, 0.054 y 1.015 mm; por otro lado, en el 2009-2011 se registraron valores promedio totales de 0.271, 0.180, 0.256 y 0.297 mm (del Campo et al., 2014), si bien estos últimos se refieren a un periodo de tiempo mucho más amplio (25 meses consecutivos).

Brevemente, se puede observar en los valores que los tratamientos T3 y T2 se comportan de igual manera que hace 10 años, en cambio los tratamientos T0 y T1 sufren un comportamiento distinto ya que hace 10 años la transpiración en T0 era más que en T1, caso contrario de lo que sucede hoy en día. Este hecho no atiende a un motivo claro y deberán mantenerse las mediciones para confirmarlo y, en su caso, explicarlo en base a diferencias de micrositio de los distintos arboles muestreados.

4.3.1 Comparación evolutiva de la transpiración (mm) frente al contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en distintos tratamientos de clareo.

En este apartado se presentan los resultados en las Figuras 24 a 27, en las que se puede observar que la evolución de la transpiración en mm es similar en todos los tratamientos ya que va disminuyendo progresivamente con el paso de los días. El tratamiento T3 se destaca del resto por ser un control; aquí no se realizaron tratamientos de clareo, por esta razón su transpiración es la más elevada por contener mayor cantidad de individuos en relación con los otros tratamientos. Si bien el consumo individual por árbol era bajo, al escalar esta cantidad por una densidad muy elevada, el resultado da una transpiración considerable de la masa.

En las gráficas siguientes 24, 25, 26 y 27 se puede observar como acompaña la serie de humedad de suelo para una fácil interpretación de los resultados de la serie de transpiración (mm).

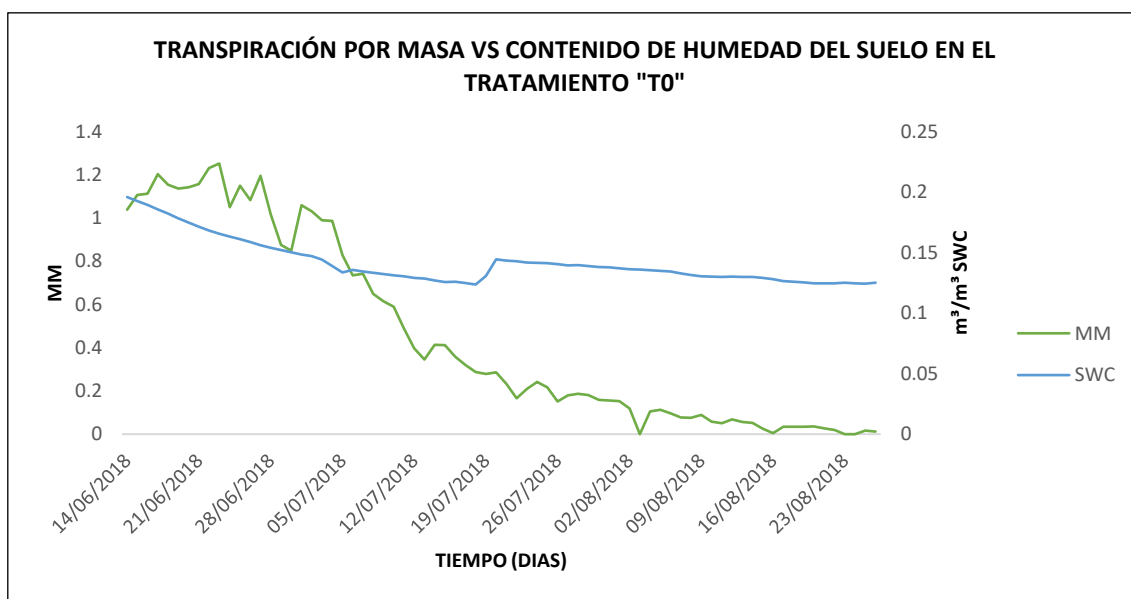


Figura 24. Evolución temporal de la transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento más intenso de clareo (10% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.

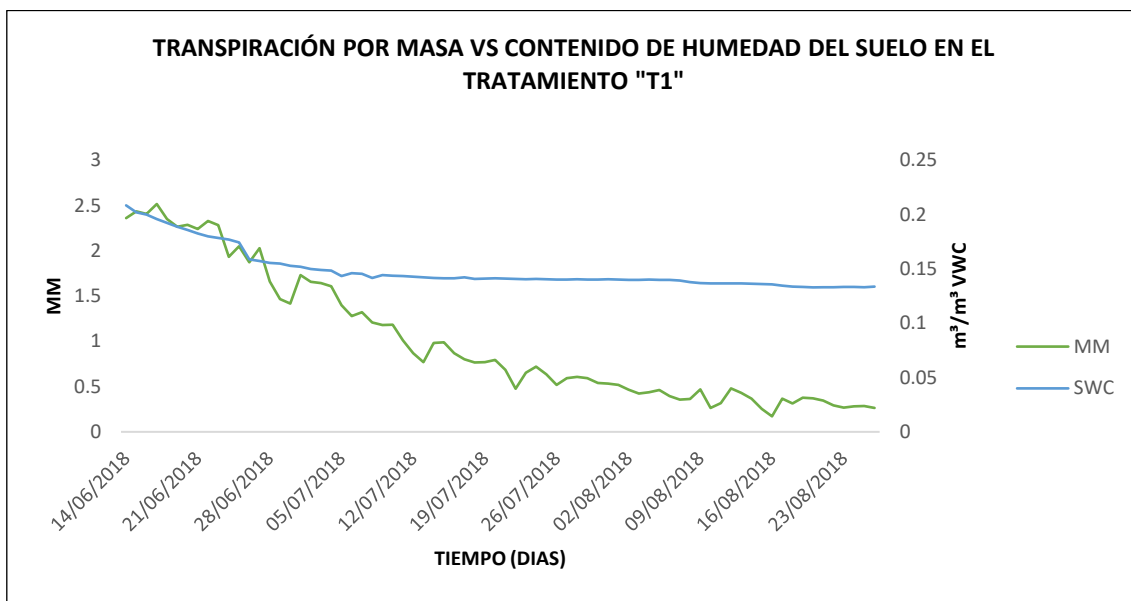


Figura 25. Evolución temporal de la transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento a media intensidad de clareo (30% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.

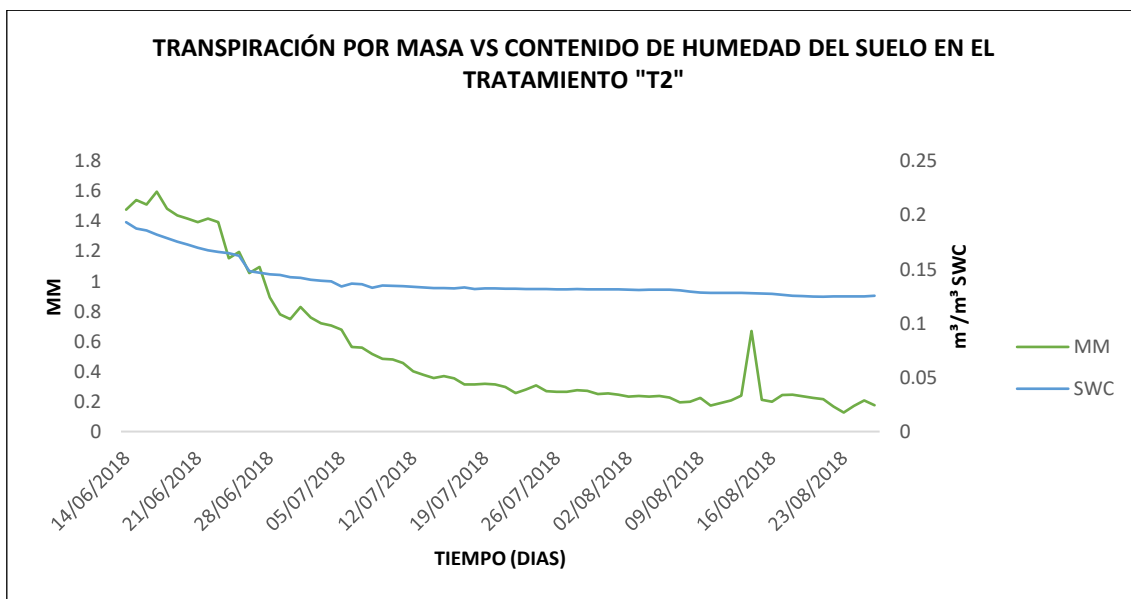


Figura 26. Evolución temporal de la transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento a baja intensidad de clareo (60% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.

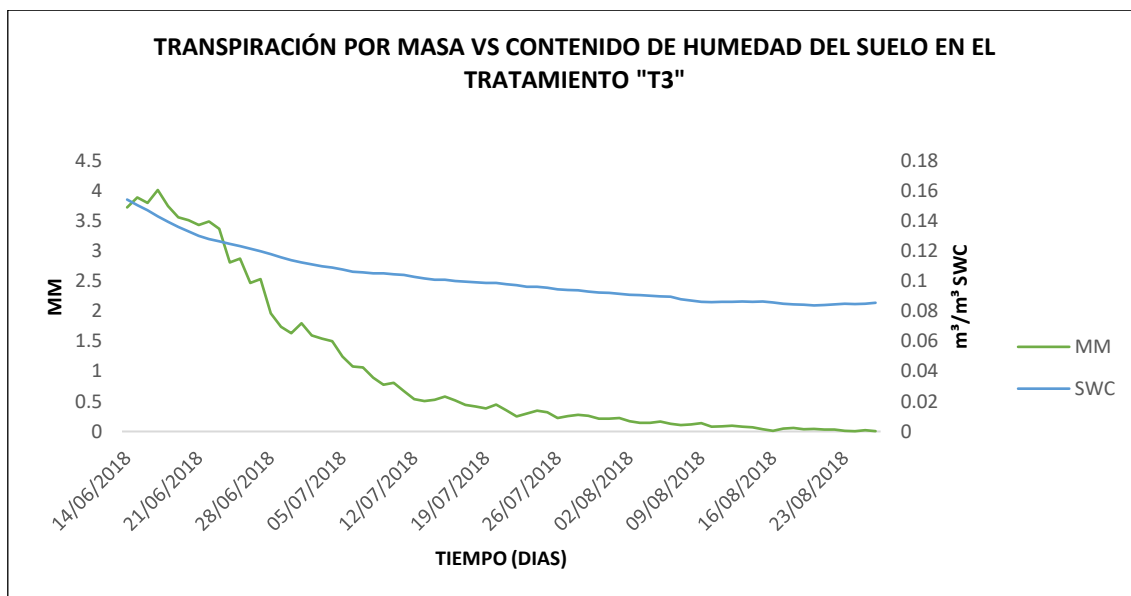


Figura 27. Evolución temporal de la transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento con ausencia de clareo (100% de cobertura) en el periodo junio – agosto 2018.

La disminución de la transpiración se debe a la ausencia de lluvias y al agotamiento del contenido de humedad del suelo. Este es de vital importancia ya que la planta se va quedando sin abastecimiento de agua y entra al escenario de sequía ocasionando un estrés hídrico en la planta lo que nos sitúa en la temporada de verano. Se puede llegar a concluir de forma obvia que a mayor contenido de humedad en el suelo SWC mayor será la transpiración en la masa de pino carrasco, algo que no siempre se verifica, especialmente cuando se tratan especies de enraizamiento profundo y freatófilos.

4.3.2 Análisis estadístico

En la Tabla 8 se pueden visualizar los estadísticos descriptivos de la transpiración (mm) para los diferentes tratamientos en donde se puede ver que la mediana de los tratamientos T0, T2 y T3 difieren por una gran distancia del tratamiento T1.

Tabla 8. Estadística descriptiva de la transpiración (mm) para los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	Media	N	Desv. Desviación	Mediana
0	0.459	74	0.440	0.261
1	1.009	74	0.722	0.743
2	0.546	74	0.444	0.314
3	1.015	74	1.263	0.368
Total	0.757	296	0.829	0.418

Con nuestros datos se procedió a realizar una prueba de ANOVA para verificar si las medias son diferentes según los tratamientos ensayados. El programa estadístico nos dio como resultado que las varianzas entre tratamientos son heterogéneas por lo que tenemos que realizar un análisis diferente al ANOVA. Existen 2 opciones de analizar nuestras variables heterocedásticas, una de ella es a través de transformaciones logarítmicas, raíz cuadrada y la inversa, a fin de convertirlas en homocedásticas. La otra opción es a través de pruebas no paramétricas las cuáles serán las que adoptemos para realizar las transformaciones.

La prueba no paramétrica utilizada para este caso fue la de Kruskal – Wallis la misma aplicada anteriormente, cuyo valor de p fue similar y a su vez menor al nivel de significancia (0.05) indicando que existe diferencia significativa entre las medias de la transpiración por efecto de los diferentes tratamientos de claro. En la Figura 28 se muestra el diagrama de cajas de la distribución de los datos de transpiración por cada tratamiento en donde se observa como varia la mediana entre los diferentes tratamientos.

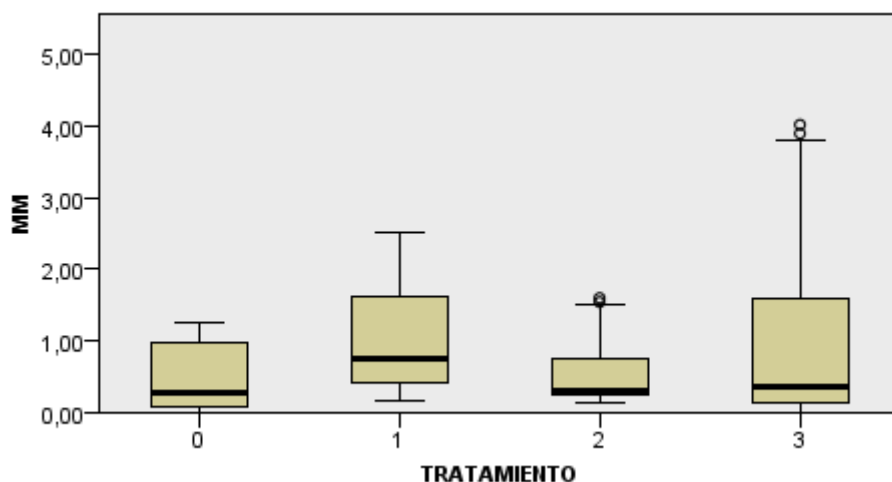


Figura 28. Diagrama de cajas de la distribución de la transpiración por cada tratamiento

Dado que conocemos que existen diferencias significativas entre los tratamientos, se hizo una comparación de parejas entre los tratamientos tal como se muestra en la Tabla 9 en donde se indica el nivel de significancia entre estos.

Tabla 9. Significancia comparativa entre tratamientos aplicando (kruskal – wallis).

Tratamiento	Significancia
T0 – T2	0.437
T0 – T3	0.160
T0 – T1	0.000
T2 – T3	1.000
T2 – T1	0.000
T3 – T1	0.002

De estos datos podemos observar que para las parejas de tratamientos T0 – T2, T0 – T3 y T2 – T3 el valor de p es mayor a 0.05 lo que implica que no existe diferencia significativa entre estos tratamientos. En otras palabras, el análisis mostro que las mayores diferencias se encuentran entre los tratamientos del 10 y 30 %, no siendo significativas las diferencias entre los tratamientos 10 y 60 %, entre los tratamientos 10 y 100% y entre los tratamientos 60 y 100%.

4.4 Resultados del contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en los distintos tratamientos a lo largo del periodo estudiado.

Contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3).

En la Figura 29 se puede observar la evolución del contenido de humedad del suelo (SWC) de los tratamientos en una comparación directa entre ellos. Se caracteriza la humedad del suelo por tener valores altos a inicio del periodo de estudio, pero a medida que pasa el tiempo, como es lógico, su contenido va disminuyendo progresivamente; en los tratamientos T0, T1, T2 y T3 se puede observar un continuo descenso de la humedad.

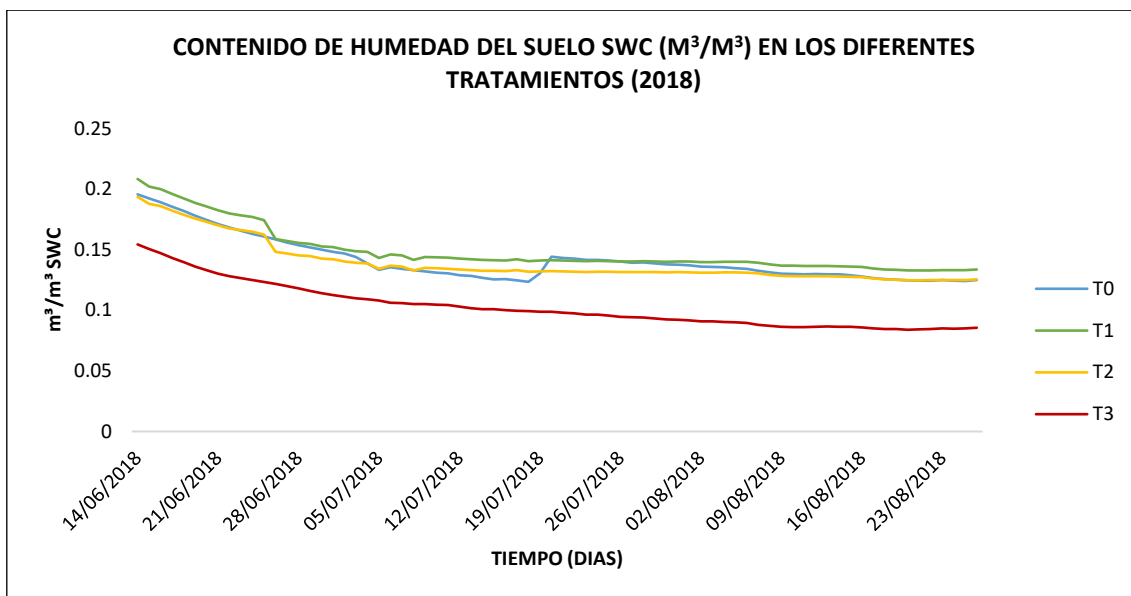


Figura 29. Evolución temporal del contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en las diferentes intensidades de clareo en el periodo junio – agosto 2018.

Además, en la Figura 30 se puede observar cómo funciona cada tratamiento con el contenido de humedad del suelo (SWC) para los dos meses extremos. Cada tratamiento T0, T1, T2 y T3 registraron valores favorables de SWC en la época de disponibilidad (junio): 0.170, 0.179, 0.166 y 0.131 m^3/m^3 respectivamente. Inclusivamente en época de no disponibilidad (agosto) el suelo en cada tratamiento contiene índices altos de humedad como son: 0.129, 0.136, 0.127 y 0.086 m^3/m^3 teniendo en consideración el T3 registro un valor menor a comparación de los otros tratamientos.

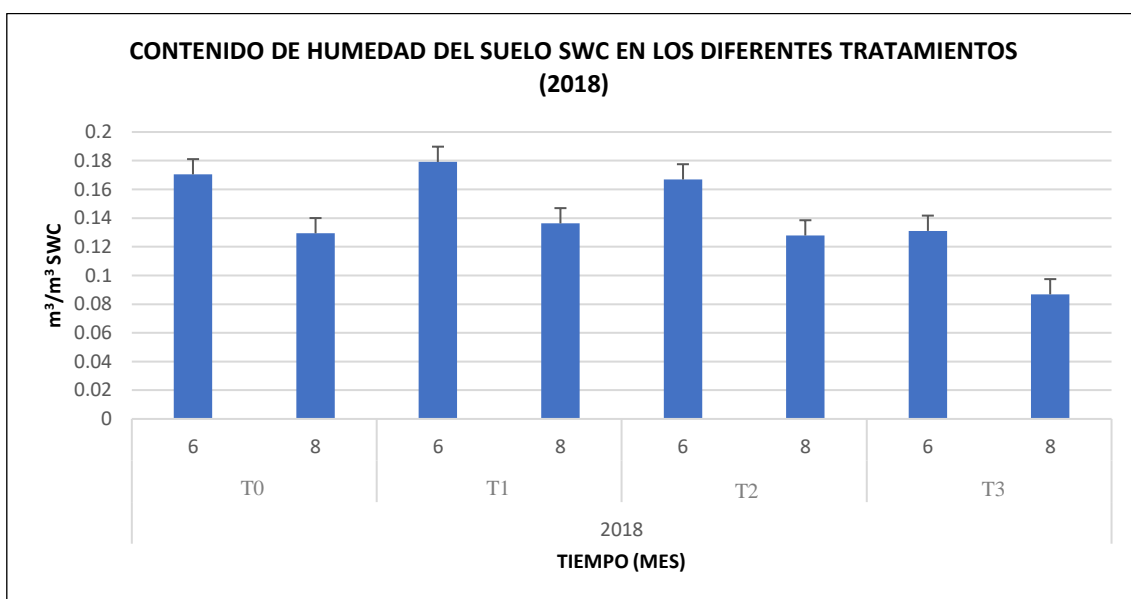


Figura 30. Contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en diferentes intensidades de tratamiento (junio y agosto 2018). 6 y 8 son las medias para los meses de junio y agosto, respectivamente. Las barras de error representan la desviación típica

4.5 Comparación estadística entre los años 2009 – 2010 y 2018

4.5.1 Transpiración (l/árbol) entre los años 2009 – 2010 y 2018

En la Figura 31 se observa la comparación entre el corto (1-2 años desde el tratamiento) y el medio plazo (10 años) de la componente transpiración (l/árbol) en los diferentes tratamientos. Cabe recalcar que para poder comparar nuestros datos se hizo la media de cada uno de los árboles analizados (que son los mismos en ambos periodos) en cada tratamiento, se han clasificado por humedad y temperatura.

En el tratamiento T1 para el año 2009 – 2010 se realizó un árbol promedio (P) ya que no existían muestras individuales en este tratamiento para el mismo intervalo de tiempo. Este valor es una media estimada que se halló para todos árboles.

Se puede visualizar claramente que el comportamiento de la transpiración 10 años atrás era superior en conjunto y, además, cada individuo transpiraba más recién realizados los tratamientos que en el año 2018. Es decir, se puede observar que con el pasar de los años la transpiración va disminuyendo, lo que se debe al desarrollo y mayor competencia de los individuos.

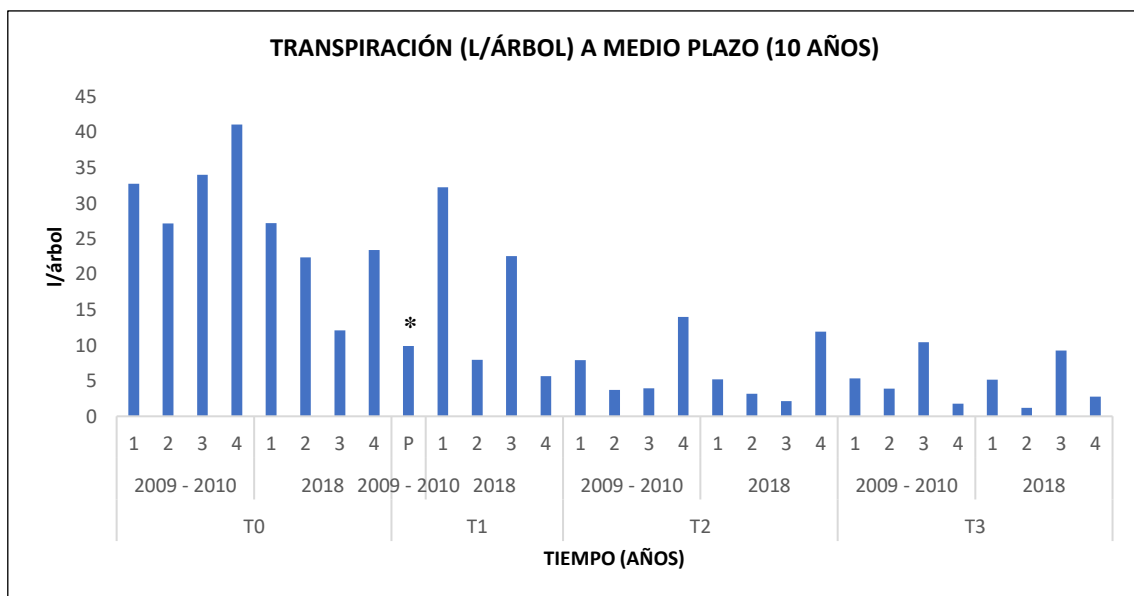


Figura 31. Transpiración (l/árbol) registradas a nivel individuo en diferentes intensidades de tratamiento en un período a medio plazo (10 años). (P) árbol promedio. * Única muestra del promedio de los distintos árboles.

Un claro ejemplo es el individuo 4 del tratamiento T0: se visualiza que en el año 2009-2010 llego a transpirar 41.076 l/día, pero a medio plazo (2018) su transpiración fue de 23.408 l/día,

con lo que se puede decir que el tratamiento con un porcentaje de clareo más intenso (FCC: 10%) es el que más reajuste ha sufrido en el medio plazo, que afecta considerablemente a los individuos.

En resumen, nuestros resultados ilustran claramente como un tratamiento de clareo disminuye su efecto sobre la transpiración a nivel de individuo (Tabla 10).

Tabla 10. Valores de transpiración (l/árbol) a medio plazo en los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	INDIVIDUO	TRANSPIRACION 2009 – 2010 (l/árbol)	TRANSPIRACION 2018 (l/árbol)
T0	1	32.7360	27.2120
	2	27.1796	22.3627
	3	34.0173	12.1013
	4	41.0769	23.4083
T1	1	(P)* 11.83	32.2390
	2		7.9364
	3		22.5545
	4		5.6362
T2	1	7.9220	5.1934
	2	3.7296	3.1933
	3	3.9210	2.1356
	4	14.0181	11.9271
T3	1	5.3522	5.1369
	2	3.8909	1.1764
	3	10.4191	9.2757
	4	1.7840	2.7634

4.5.2 Transpiración (mm) entre los años 2009 – 2010 y 2018

En este punto se ilustran los resultados relativos en la Figura 32 se observa la comparación entre el corto y el medio planazo de la transpiración a nivel de masa. Se puede evidenciar que el tratamiento T3, que es un control, transpira más a relación a los otros para el 2018, lo que se debe a que contiene mayor densidad en su parcela, lo que hace que se registre valores altos en su transpiración. El tratamiento T3 en el año 2009 – 2010 registró una transpiración de 0.4655 mm/día, si bien esta misma parcela a un periodo de medio plazo (10 años) registró una transpiración de 1.0151 mm/día, un claro ejemplo que a mayor densidad mayor será la transpiración (Tabla 11).

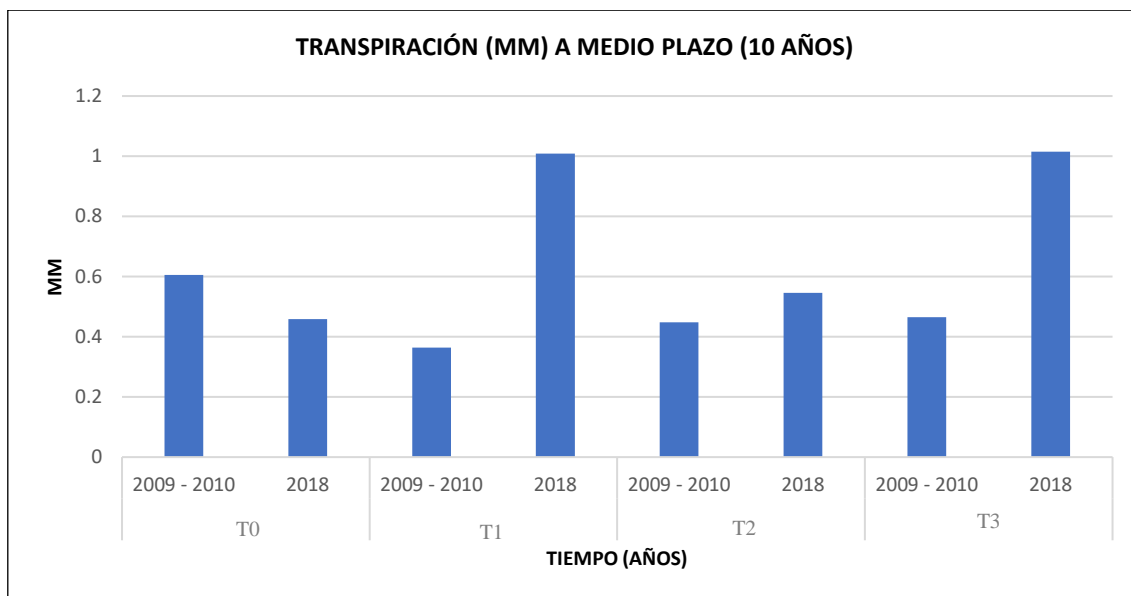


Figura 32. Transpiración (mm) registradas por masa en diferentes intensidades de tratamientos en un periodo a medio plazo (10 años)

En resumen, nuestros resultados se observan claramente en la (Tabla 11).

Tabla 11. Valores de transpiración (mm) a medio plazo en los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	TRANSPIRACION 2009 – 2010 (MM)	TRANSPIRACION 2018 (MM)
T0	0.6055	0.4591
T1	0.3641	1.0086
T2	0.4479	0.5457
T3	0.4655	1.0151

Se pueden observar en la Tabla 11 los valores registrados: el tratamiento T0 disminuye su porcentaje de transpiración en un 24% con relación a lo registrado hace 10 años, por otra parte el tratamiento T2 aumenta en un 21%, mientras que la transpiración en los tratamientos T1 y T3 (control) aumentan de forma evidente superando el 100% con lo que se relacionan a lo registrado en 2009 – 2010.

4.5.3 Comparativa múltiple entre transpiración (mm) y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) para los dos periodos considerados

- **Tratamiento intensidad alta de clareo T0.**

A continuación, en la Figura 34 (a) y (b) se muestra la comparativa múltiple entre transpiración (mm) a nivel de masa y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento T0. La (a) nos indica el estudio de la transpiración a corto plazo y medio plazo en la que se puede observar que la transpiración a corto plazo no muestra muchas diferencias entre primavera y verano, su transpiración sigue un patrón uniforme. En cambio, la

transpiración a medio plazo disminuye de forma considerada en verano; esto se debe a que con el pasar del tiempo (10 años) la copa de los árboles se ha desarrollado más, razón por la cual su transpiración es elevada, agota los recursos del suelo y la actividad vegetativa del árbol decrece. La (b) se refiere a contenido de humedad, los valores a medio plazo han disminuido con relación a los de corto plazo, esto se debe al desarrollo de las copas de los árboles las cuales interceptan más lluvia (Molina y del Campo, 20112).

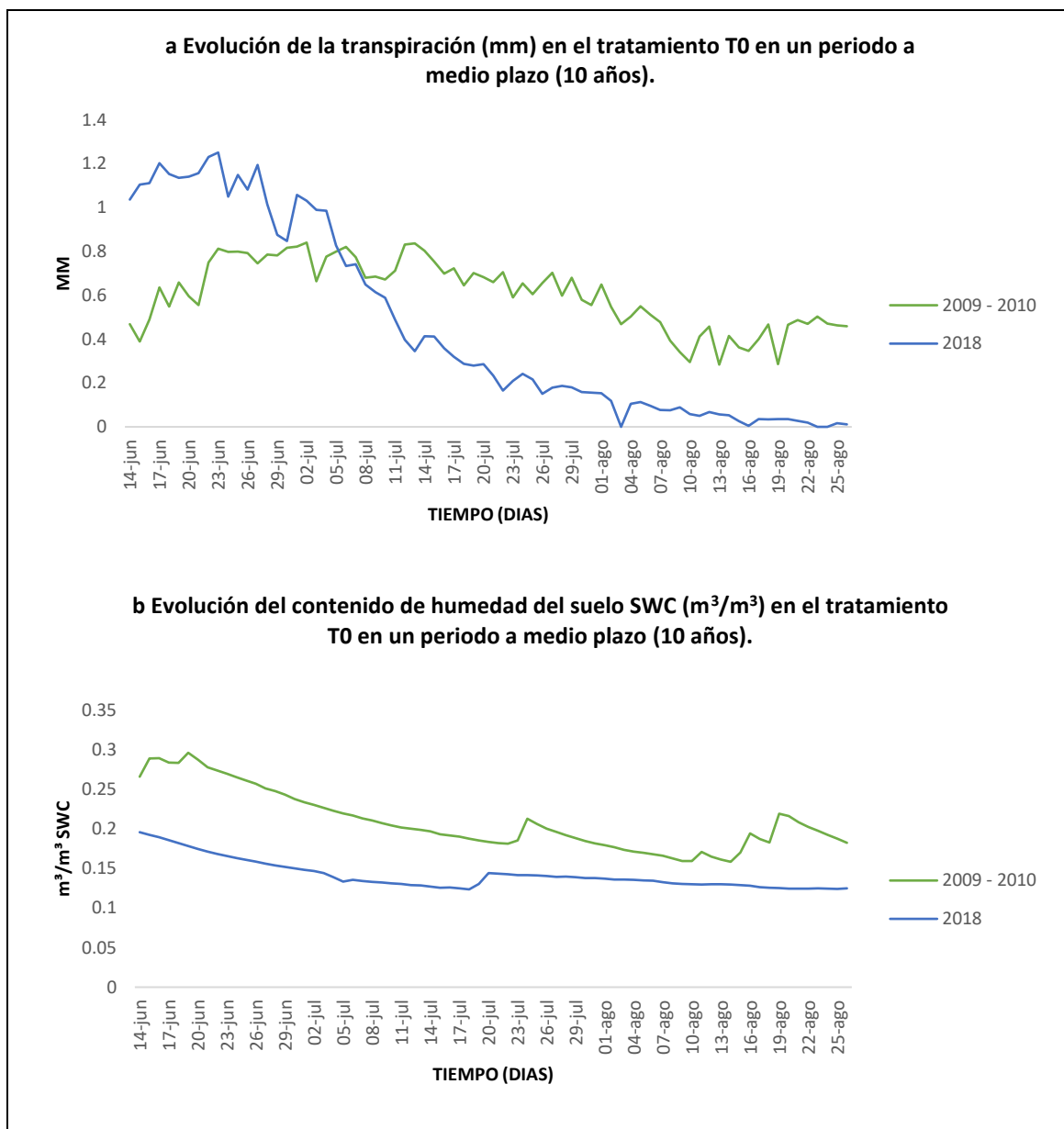


Figura 33. Comparativa múltiple entre transpiración(mm) y contenido de humedad del suelo en el tratamiento T0 en un periodo a medio plazo (a) evolución transpiración mm (b) evolución SWC.

- **Tratamiento intensidad media de clareo T1.**

La Figura 34 muestra la comparativa múltiple entre transpiración (mm) a nivel de masa y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento T1. La sub-figura (a) indica el estudio de la transpiración a corto plazo y medio plazo en la que se puede observar que la transpiración en 10 años disminuye de forma considerable, lo que tiene sentido porque existen la misma cantidad de árboles, pero con una copa más desarrollada. La sub-figura (b) en el periodo a medio plazo muestra un contenido de humedad uniforme, lo que tiene mucha lógica ya que por ser un tratamiento a media intensidad de clareo sus árboles han desarrollado sombra suficiente para cubrir el suelo y mantenerlo húmedo además es un tratamiento con poca cantidad de árboles y no existe competitividad entre ellos. Se puede decir que el tratamiento a medio plazo T1 funciona correctamente, es un tratamiento equilibrado.

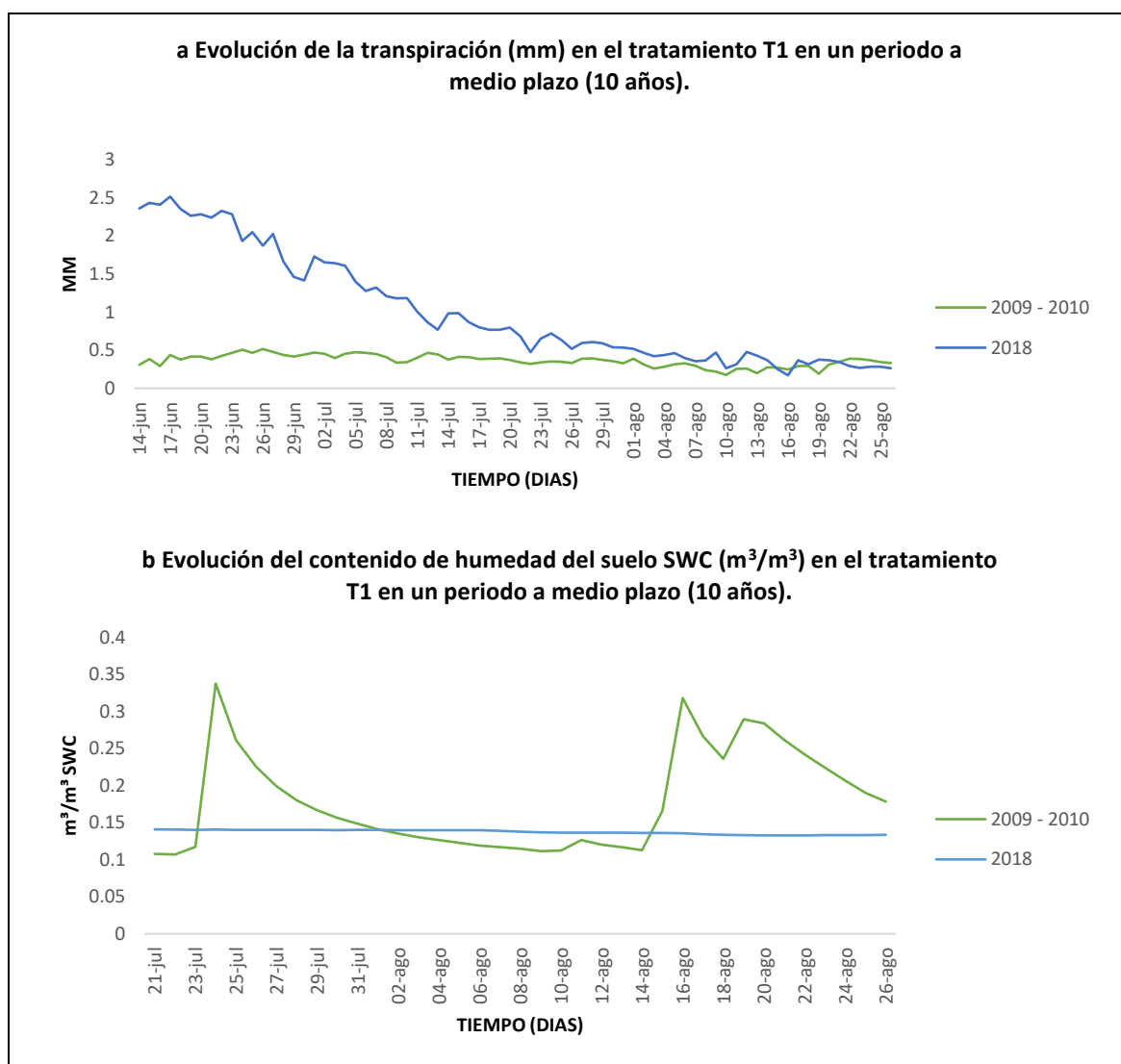


Figura 34. Comparativa múltiple entre transpiración(mm) y contenido de humedad del suelo en el tratamiento T1 en un periodo a medio plazo (a) evolución transpiración mm (b) evolución SWC.

- **Tratamiento intensidad baja de clareo T2.**

La Figura 35 muestra la comparativa múltiple entre transpiración (mm) a nivel de masa y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento T2. La (a) nos indica la comparación de la transpiración entre corto y medio plazo, donde se puede observar que la transpiración en 2009-2010 sigue un patrón constante, pero a medio plazo ese patrón cambia considerablemente debido a la competencia de los árboles entre sí. En la (b) se puede observar que el contenido de humedad a medio plazo es casi uniforme a diferencia del de hace 10 años, este tratamiento es de baja intensidad T2, se puede decir que al existir una cantidad de lluvia la masa se está actuando igual en todos lados.

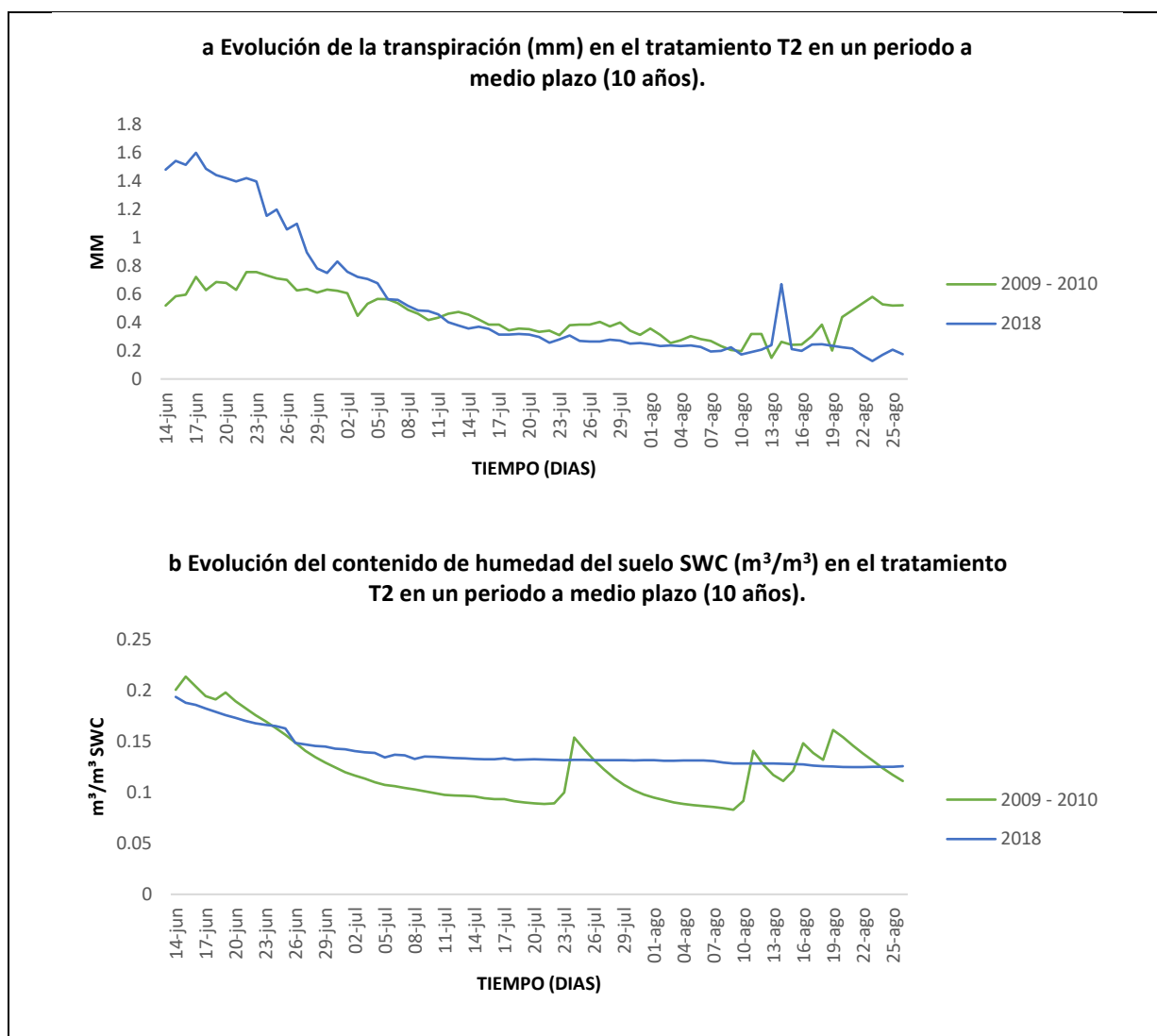


Figura 35. Comparativa múltiple entre transpiración(mm) y contenido de humedad del suelo en el tratamiento T2 en un periodo a medio plazo (a) evolución transpiración mm (b) evolución SWC.

- **Tratamiento sin clareo T3 “control”.**

La muestra la comparativa múltiple entre transpiración (mm) a nivel de masa y contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) en el tratamiento T3. La (a) indica el estudio de la transpiración a corto y medio plazo en la que se puede observar que la transpiración en corto plazo sigue un patrón constante, pero a medio plazo ese patrón disminuye bruscamente esto se debe a la competencia de los árboles entre sí, recordando que este tratamiento es un control. La (b) se puede observar que el contenido de humedad a medio plazo es el más bajo de todos, esto tiene mucho sentido ya que existe demasiada interceptación por la gran presencia de árboles, los cuales transpiran más ocasionando menor cantidad de contenido de humedad en el suelo.

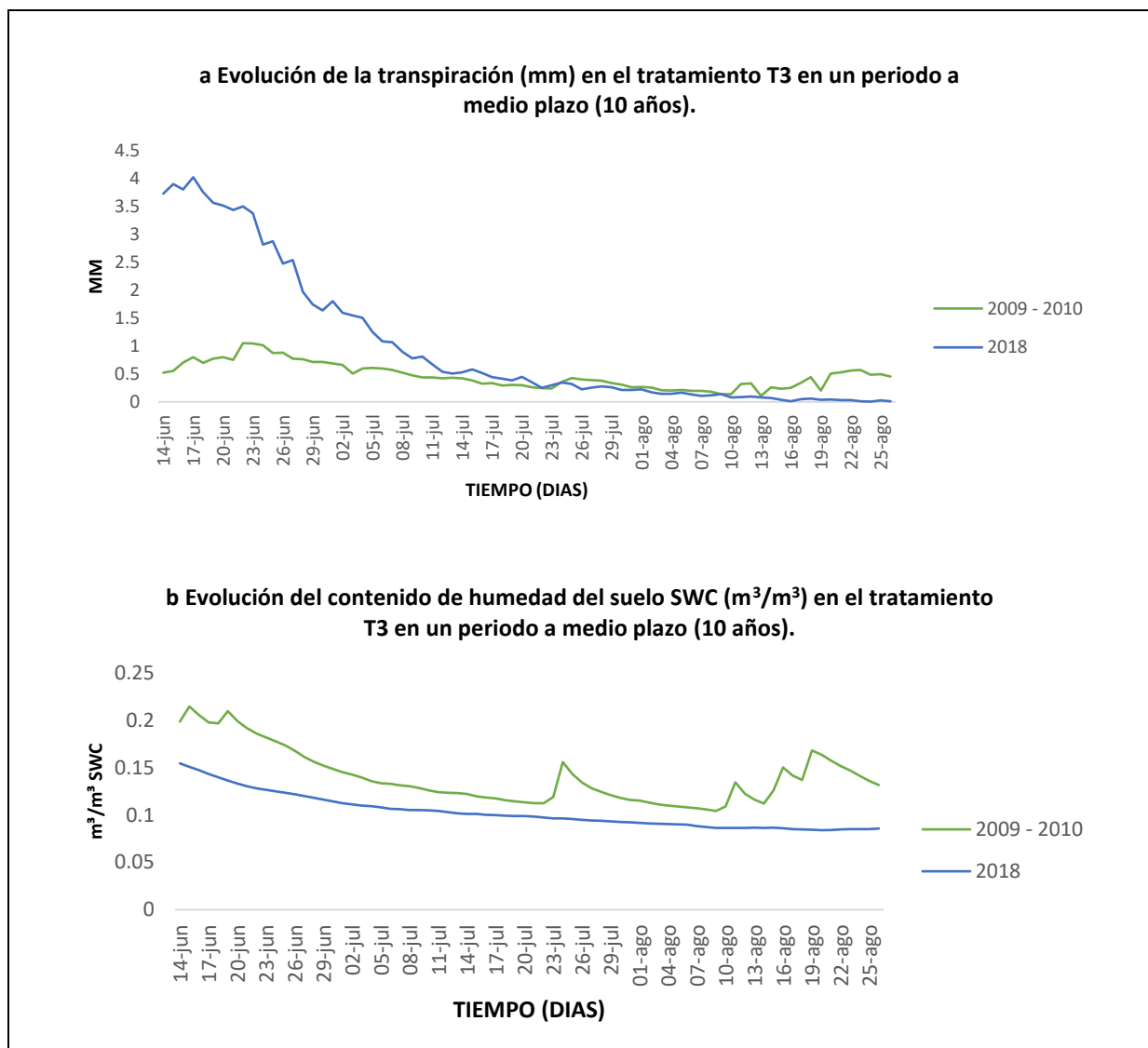


Figura 36. Comparativa múltiple entre transpiración(mm) y contenido de humedad del suelo en el tratamiento T3 en un periodo a medio plazo (a) evolución transpiración mm (b) evolución SWC.

4.5.4 Contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) entre los años 2009 – 2010 y 2018

En la Figura 37 se puede evidenciar que el contenido de humedad del suelo ha disminuido con el pasar de los años. Además de las diferencias insalvables en el régimen de lluvias, la evolución de la masa y de uso de agua de los árboles ha podido tener un impacto en estas diferencias, pues la primavera del 2018 fue húmeda y cabe pensar que el suelo se re-humectó a capacidad de campo en todos los casos. Puede pensarse que también está relacionado con la densidad y cobertura del suelo en cada parcela de tratamiento. Un ejemplo que se puede observar es la disminución considerada en el tratamiento T0 el cual en 2009 – 2010 registró un valor de $0.2092 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (22% de cobertura) en relación al 2018, donde registró un valor de $0.1415 \text{ m}^3/\text{m}^3$ (14% De cobertura) (Tabla 12).

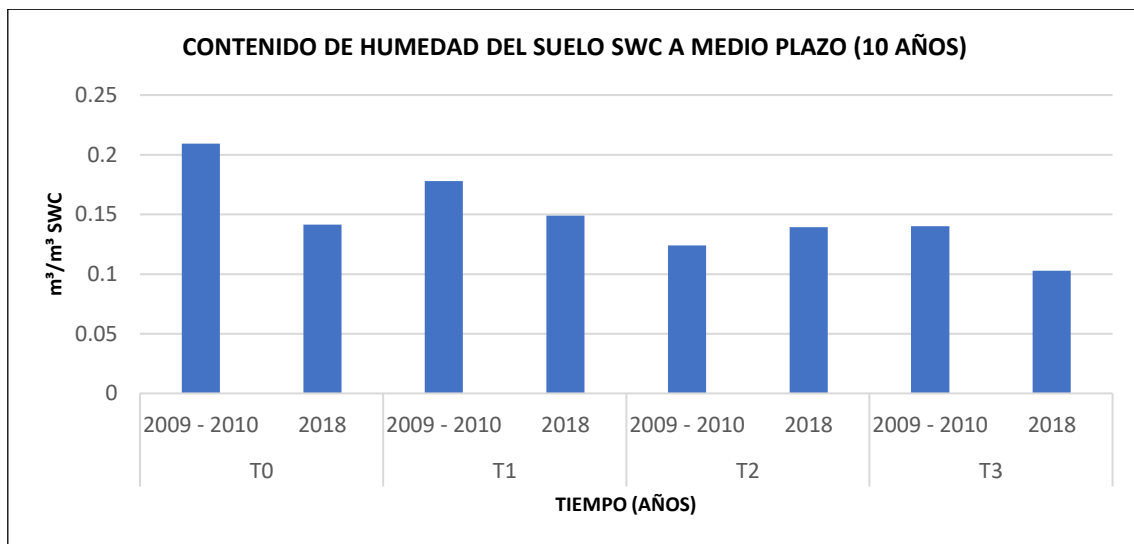


Figura 37. Contenido de humedad del suelo SWC (m^3/m^3) registrados en diferentes tratamientos en un periodo a medio plazo (10 años).

En resumen, nuestros resultados se observan claramente en la Tabla 12.

Tabla 12. Valores de contenido de humedad de suelo SWC (m^3/m^3) a medio plazo en los diferentes tratamientos.

TRATAMIENTO	SWC 2009 – 2010 (m^3/m^3)	SWC 2018 (m^3/m^3)
T0	0.2092	0.1415
T1	0.1779	0.1488
T2	0.1124	0.1393
T3	0.1401	0.1029

Se puede verificar con los valores de la Tabla 12 en el tratamiento T0 disminuye un 32% del contenido de humedad de suelo en el 2018, así como T1 disminuye un 13% para 2018, en cambio T2 aumenta su contenido en un 23% con relación a su registro hace 10 años, mientras que para T3 disminuye en un 26% del contenido de retención de la humedad del suelo para el 2018.

5 CONCLUSIONES

La silvicultura orientada a la hidrología podría ayudar a adaptar los bosques semiáridos a los cambios climáticos. Sin embargo, para lograr este objetivo se requiere una mejor comprensión y cuantificación de las relaciones entre el agua y los árboles y en particular, la eficiencia del uso del agua en los árboles y su dinámica temporal.

Los efectos del clareo en corto y medio plazo sobre el uso del agua se estudiaron en un bosque de pinos procedentes de una repoblación.

En cuanto a la precipitación, el patrón de la lluvia muestra que no existe un periodo muy húmedo definido en el sitio de estudio, mostrando como los meses de disponibilidad de agua llegan hasta junio, que es el inicio de verano. Agosto se caracteriza como periodo de mínima disponibilidad hídrica coincidiendo con el fin de verano. Lo mismo que puede causar un decaimiento, mortalidad e invasión de plagas para el *Pinus halepensis*.

El análisis de los datos de la transpiración a nivel de individuo se realizó para el periodo de estudio (junio – agosto 2018). Se observó que la parcela sometida a un porcentaje alto de clareo a nivel de individuo transpira más que a una de baja intensidad incluyendo el control.

Para el análisis comparativo a medio plazo en la transpiración a nivel de individuo, las figuras y tablas correspondientes dieron como resultado que los individuos siguen un mismo patrón, pero con la diferencia de que hace 10 años transpiraban más a relación al 2018.

En cambio, al hablar transpiración a nivel de masa (mm, teniendo en cuenta la densidad), se pudo evidenciar que la parcela de control es la que más transpira a relación con las parcelas clareadas. Pero llega a un momento en que la parcela de tratamiento al 60% de cobertura llega a transpirar el mismo o parecido valor que la parcela de control. Esto da como resultado que los tratamientos livianos tienden a desvanecerse por completo en el medio plazo en lo que a los cambios de transpiración se refiere.

En el análisis comparativo de transpiración a medio plazo (10 años) se puede verificar en las figuras y tablas como el tratamiento con mayor densidad T3 transpira de forma mayor que los otros, esto se debe a que mayor densidad en un área mayor será la transpiración.

En lo que tiene que ver a contenido de humedad del suelo SWC se puede concluir que existe mayor retención de agua en el terreno en las parcelas en las cuales existe menor densidad, como es el caso de la parcela con tratamiento 10%.



El contenido de humedad del suelo a medio plazo se caracterizó por menor su capacidad de retención con el pasar del tiempo. Se concluye que a mayor número de individuos en una parcela menor será su contenido de humedad.

En lo que se refiere a la significancia hemos aplicado análisis con SSPS, dándonos como resultado que no son aplicables test paramétricos por tener nuestras variables heterocedasticidad, por lo que se hubo de aplicar análisis no paramétricos (Kruskal – Wallis) para poder analizar si existe o no significancia entre nuestros tratamientos.

Una futura línea de investigación relacionada con el presente trabajo se debería centrar en cómo el tratamiento varía a largo plazo, y confirmar o descartar ciertos patrones observados que no guardan linealidad con la intensidad del tratamiento, así como también la evolución paralela de los distintos componentes del ciclo del agua.

6 BIBLIOGRAFÍA

- Alarcón, M. A. (2010). *Efecto de la intensidad de las claras en la transpiración en Pinus halepensis en masas repobladas con exceso de densidad*. Valencia..
- Bosch, J. M., & Hewlett, J. D. (1982). A review of catchment experiments to determine the effects of vegetation changes on water yield and evapotranspiration. *Journal of Hydrology* , 55, 3-23.
- Brooks, K. N., Folliott, P. F., Gregersen, H. M., & DeBano, L. F. (2003). *Hydrology and the Management of Watersheds*. Iowa: Iowa State Press.
- Calder, I, Hofer, T; Vermont, S, Warren, P. 2007. Towards a new understanding of forests and water. *Unasylva* (FAO). 229. Vol 58: 3-10.
- Cervelló Royo, J. (2008). Estudio climatológico del monte V-1007 de La Hunde y la Palomera en el término municipal de Ayora (Valencia). Valencia: Trabajo Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos
- Colomé, E., González, E., de_Vicente, J., & Navarro, F. (2018). Plan de acción territorial forestal de la Comunitat Valenciana: Generalitat Valenciana.
- Del Campo, A. D., Aguilera Segura, A., Lidón Cerezuela, A. y Segura Orenga, G., (2008). Influencia del tipo y dosis de hidrogel en las propiedades hidrofísicas de tres suelos forestales de distinta textura. *Cuad. Soc. Esp. Cienc. For.* 25: 137-143.
- del Campo, A. D., Fernandes, T. J. G., & Molina, A. J. (2014). Hydrology-oriented (adaptive) silviculture in a semiarid pine plantation: How much can be modified the water cycle through forest management? *European Journal of Forest Research*. <https://doi.org/10.1007/s10342-014-0805-7>
- FAO. (2005). Organización de las Naciones Unidas para la Agricultura y la Alimentación. *Forest and water 2008*. Roma: FAO.
- Fernandes, T. J. G., Del Campo, A. D., Herrera, R., & Molina, A. J. (2016). Simultaneous assessment, through sap flow and stable isotopes, of water use efficiency (WUE) in thinned pines shows improvement in growth, tree-climate sensitivity and WUE, but not in WUEi. *Forest Ecology and Management*. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2015.11.029>.
- Fitzgerald, J., Jacobsen, J.B., Blennow, K., Thorsen, B.J., Lindner, M., 2013. Climate change in European forests: how to adapt. EFI Policy Brief. European Forest Institute, Joensuu, Finland.
- Franco Torres, M. (2009). Evaluación de la trascolación en masas de Pinus halepensis en condiciones mediterráneas. Valencia: Trabajo Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos.
- García, A., del_Campo, A., & Gonzales, M. (2018). In aqua scribere. O de la gestión forestal de base ecohidrológica en bosques semiáridos. *iagua*. Retrieved 26/09, 2018, from <https://www.iagua.es/blogs/alberto-garcia-prats/in-aqua-scribere-o-gestion-forestal-base-ecohidrologica-bosques>

- Gracia C., Tello E., Sabaté S., Bellot J. (1999). Gotilwa: An integrated model of water dynamics and forest growth. In Ecology of Mediterranean evergreen oak forests. Rodà, F., Retana, F., Gracia, C. A. y Bellot, J. (eds.) Springer-Verlag. Berlin.
- Hewlett, J. D. (1982). Principles of Forest Hydrology. Athens, Georgia: University of Georgia Press.
- IIAMA, I. de I. del A. y M. A. (2006). *Desarrollo y aplicación de metodologías y herramientas en la cuenca piloto del río Júcar para los análisis económicos requeridos en la Directiva Marco Europea del Agua*. Valencia.
- Klein, T., Shpringer, I., Fikler, B., Elbaz, G., Cohen, S., & Yakir, D. (2013). Relationships between stomatal regulation, water-use, and water-use efficiency of two coexisting key Mediterranean tree species. *Forest Ecology and Management*, 302, 34–42. <https://doi.org/10.1016/J.FORECO.2013.03.044>
- Larcher, W., 1977. *Ecofisiología vegetal*. Barcelona. Ediciones Omega.
- Llorens, P., & Domingo, F. (2007). Rainfall partitioning by vegetation under Mediterranean conditions. A review of studies in Europe. *Journal of Hydrology*, 335, 37– 54.
- Martínez-Vilalta, J., Piñol, J., & Beven, K. (2002). A hydraulic model to predict drought-induced mortality in woody plants: an application to climate change in the Mediterranean. *Ecological Modelling*, 155(2–3), 127–147. [https://doi.org/10.1016/S0304-3800\(02\)00025-X](https://doi.org/10.1016/S0304-3800(02)00025-X)
- Molina AJ, del Campo AD (2012) The effects of experimental thinning on throughfall and stemflow: a contribution towards hydrology-oriented silviculture in Aleppo pine plantations. *For Ecol Manag* 269:206–213. doi:10.1016/j.foreco.2011.12.037
- Molina, A. (2010). *Aproximación al ciclo hidrológico de una masa de Pinus halepensis con diferentes grados de cobertura vegetal Antonio Molina Herrera*. Valencia.
- Molina Herrera, A. (2008). Relación entre la intensidad de los clareos en masas coetáneas de Pinus halepensis y la intercepción de la precipitación: Estudios preliminares. Trabajo Final de Carrera. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos de la UPV. Escuela Técnica Superior de Ingenieros Agrónomos y de Montes de la Universidad de Córdoba.
- Piñol J., Avila, A., Escarré, A., (1999). Water balance in catchments. In Ecology of Mediterranean evergreen oak forests. Rodà, F., Retana, F., Gracia, C. A. y Bellot, J. (eds.) Springer-Verlag. Berlin.
- Quézel, P. (2000). Taxonomy and biogeography of Mediterranean pines (Pinus halepensis and P. brutia). En G. Néeman, & L. Trabaud, Ecology, Biogeography and Management of Pinus halepensis and P. brutia. Forest Ecosystems in the Mediterranean Basis (págs. 1-12). Leyden: Backhuys publishers.
- Rivas Martínez, S. (1987). Mapa de las series de vegetación de la Península Ibérica. ICONA. Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. <http://www.globalbioclimatics.org>.



- Ruiz de la Torre, J. (1990). Mapa forestal de España: Memoria general: Escala 1:200.000. Madrid: ICONA.
- Santa-Regina, I., Gallardo, J. F., San Miguel, C., & Moyano, A. (1989). Intercepción, pluviolavado y escorrentía cortical en una plantación de *Pinus sylvestris* de la Cuenca de Candelario (centro-oeste de España). *Bosque*, 10, 19-27.
- Savé, R. Heralde, Biel, C, 2005. Aproximacion al ciclo del agua en ecosistemas forestales. *Invest Agrar: Sist Recur For.* 14(3), 497-512
- Sjölund, M. J., & Jump, A. S. (2013). The benefits and hazards of exploiting vegetative regeneration for forest conservation management in a warming world. *Forestry*. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpt030>
- Tesón, N. (2011). *Balance hidrológico y flujo de nutrientes asociados al agua en plantaciones de Eucalyptus grandis, en Concordia (Entre Ríos)*. Retrieved from http://sedici.unlp.edu.ar/bitstream/handle/10915/24225/Documento_completo.pdf?sequence=1&isAllowed=y