



# 7º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

**Gestión del monte: servicios  
ambientales y bioeconomía**

26 - 30 junio 2017 | Plasencia  
Cáceres, Extremadura

---

---

7CFE01-299

---

---

Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales  
Plasencia. Cáceres, Extremadura. 26-30 junio 2017  
ISBN 978-84-941695-2-6

© Sociedad Española de Ciencias Forestales

## Influencia de la humedad en el suelo en el crecimiento de pinares (*Pinus halepensis*) semiáridos en el contexto del cambio climático.

MANRIQUE-ALBA, À.<sup>1,2</sup>, RUIZ-YANETTI, S.<sup>3</sup>, MOUTAHIR, H.<sup>1</sup>, NOVAK, K.<sup>2,4</sup>, DE LUIS, M.<sup>4</sup> y BELLOT, J.<sup>1,2</sup>

<sup>1</sup> IMEM "Ramon Margalef", Universidad de Alicante, Apdo. 99, 03080 Alicante, España.

<sup>2</sup> Universidad de Alicante, Departamento de Ecología, Apdo. 99, 03080 Alicante, España.

<sup>3</sup> Instituto de Ciencias Ambientales y Ecológicas, Universidad de los Andes, 05101 Mérida, Venezuela.

<sup>4</sup> Universidad de Zaragoza, Departamento de Geografía y Ordenación del territorio - IUCA, Zaragoza, España.

### Resumen

En el mediterráneo donde el agua es un recurso escaso, resulta especialmente importante conocer la relación del crecimiento de las masas forestales con variables hidrológicas. El objetivo del estudio es evaluar como la dinámica temporal de la humedad en el suelo determina el crecimiento de pinares de *Pinus halepensis* y analizar los posibles cambios en esa variable hidrológica bajo escenarios de cambio climático. Para ello, se utilizan valores estimados de humedad en el suelo y grosores de anillos de crecimiento en cuatro zonas de pinares de repoblación situados sobre un gradiente de precipitación de semiárido a subhúmedo. Los valores de humedad en el suelo para el periodo observado (1992-2012) y proyectado (2078-2098) se estiman usando el modelo ecohidrológico HYDROBAL. A partir de las medidas de crecimiento de anillos se calcula el incremento de área basal (BAI), cuyos valores se relacionan con valores estacionales y anuales de temperatura, precipitación y humedad en el suelo. Los resultados reflejan el efecto de la humedad en el suelo sobre el BAI explicando el 69-73% de la variabilidad en las zonas semiáridas y el 51% en la zona subhúmeda. La humedad en el suelo (de la que se espera una reducción de hasta -1.4mm/década bajo el escenario extremo RCP8.5) representa una herramienta de análisis que puede contribuir a orientar la gestión frente a los cambios esperados en las masas forestales en el contexto del cambio climático.

### Palabras clave

Dendrocronología, HYDROBAL, Incremento de área basal.

### 1. Introducción

La zona mediterránea se convertirá progresivamente en una zona más árida de acuerdo con los diferentes escenarios de cambio climático (IPCC, 2013). Esta situación puede desencadenar una disminución del crecimiento y productividad, así como un aumento de episodios de mortalidad de los bosques (GARCÍA DE LA SERRANA et al, 2015; SARRIS et al, 2007). El efecto del clima sobre el crecimiento ha sido ampliamente demostrado, en concreto en las zonas semiáridas los estudios se centran la respuesta del crecimiento a eventos de sequía (DE LUIS et al., 2011; CAMARERO et al., 2013). En estas zonas, una de las formaciones más abundantes son los bosques de pino carrasco (*Pinus halepensis* Mill) que proporcionan calidad de paisaje, protección del suelo y la estabilización del ciclo hidrológico a través de aproximadamente  $3,5 \times 10^6$  ha en la cuenca del Mediterráneo. Además, nos proporcionan la oportunidad de explorar como la falta de agua limita el crecimiento (PASHO et al., 2012).

El agua disponible para las plantas (humedad del suelo) tiene efectos localizados en el crecimiento anual y en la dinámica de los bosques (FANG et al., 2015). El papel de la humedad en el suelo, es particularmente importante en las zonas mediterráneas, debido a sus características precipitaciones torrenciales. Bajo estas condiciones meteorológicas, la sequía puede ser inducida por varios años con precipitaciones por debajo de la media, prolongada por altas temperaturas y después mitigada por una única tormenta (SHEFFIELD & WOOD 2008). Por esta razón, utilizar la precipitación como una aproximación a el agua disponible para la planta en análisis dendrocronológicos puede

simplificar demasiado la complejidad de los procesos eco-hidrológicos (DYMOND et al., 2015). Por lo que se propone el uso de modelos para estimar series largas de variables hidrológicas.

Nuestra hipótesis consiste en afirmar que para un mejor conocimiento de las relaciones clima-crecimiento, debemos tener en cuenta, no solamente las variables climáticas directas, sino también la implicación de otras variables entre ellas, la humedad del suelo juega un papel principal. Por consiguiente, se propone evaluar si la humedad en el suelo representa una variable apropiada para explicar de una manera más adecuada las variaciones de crecimiento en repoblaciones de *Pinus halepensis* en condiciones semiáridas.

## 2. Objetivos

El principal objetivo de este estudio es determinar en qué medida la humedad del suelo es una herramienta útil para interpretar el crecimiento en bosques semiáridos. Concretamente, se trata de establecer una relación entre factores climáticos y humedad en el suelo con los cambios en el crecimiento radial. Con el fin de identificar la humedad en el suelo como indicador de crecimiento en masas de *Pinus halepensis* situados en un gradiente de subhúmedo a semiárido y por último analizar las tendencias de humedad en el suelo esperadas según los diferentes escenarios de cambio climático.

## 3. Metodología

### Localización

El estudio se ha realizado en cuatro sitios localizados en la provincia de Alicante (Figura 1). Todos los sitios de estudio se caracterizan por ser repoblaciones de *Pinus halepensis* procedentes del programa nacional de reforestación (1940-1960). Las masas son monoespecíficas con densidades entre 968 y 489 pies ha<sup>-1</sup> y un sotobosque formado por matorrales esclerófilos mediterráneos. Los cuatro se sitúan sobre un gradiente, clasificado según RIVAS-MARTINEZ (1983) en el norte MEL subhúmedo, CAB considerado seco y en el sur AGU y VEN semiáridos. La precipitación media anual varía de 651 a 298 mm a lo largo del gradiente, y la temperatura media anual de 12.4 a 17.5 °C. Para la caracterización climatológica, hidrológica y del suelo, se estableció una parcela en cada uno de los sitios (0.36 ha) y para la caracterización de la vegetación se muestrean 6 sub-parcelas en cada uno de los sitios de estudio (Tabla 1).

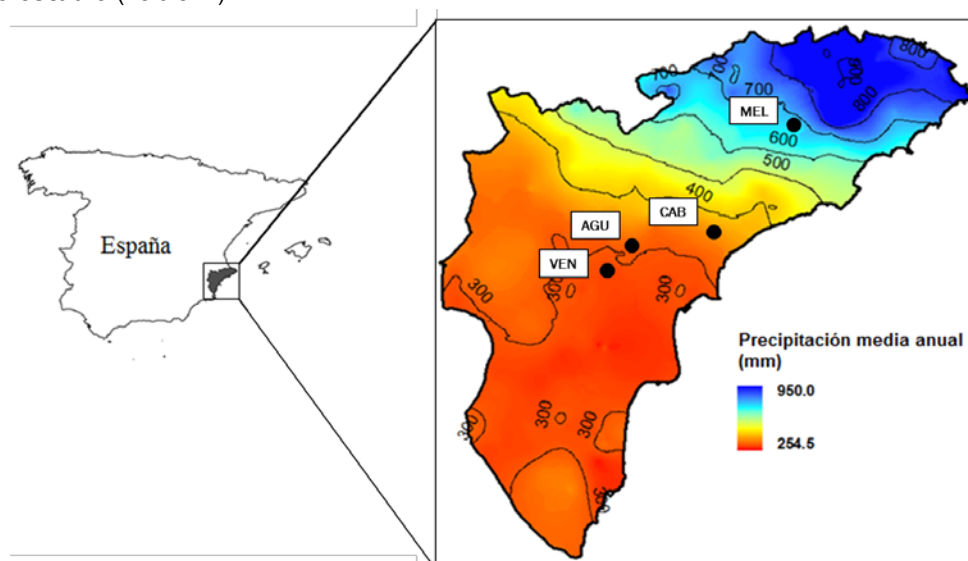


Figura1. Localización de los sitios de muestreo.

### Diseño experimental

Las series de **datos meteorológicos** (precipitación, temperatura media, mínima y máxima) se obtienen de la red de estaciones de AEMET para el periodo 1953-2012 reconstruidas en MOUTAHIR et al., (2014). Además, las variables meteorológicas a nivel parcela necesarias para el modelo se registraron en cada uno de los sitios de estudio para el periodo 2012-2015. Brevemente, se monitorean las siguientes variables ambientales: precipitación mediante pluviómetro (Rain Collector II, Davis Instruments Corp; Hayward, CA, USA) conectado a un datalogger (HOBO® pendant Onset Computer Corporation, Inc. Southern MA, USA), para la temperatura del aire y humedad relativa se utilizan sensores HOBO® con datalogger (U23 Pro v2, Onset Computer Corporation, Inc. Southern MA, USA), ambas variables se registran cada hora.

La **humedad del suelo** ( $\text{cm}^3 \text{cm}^{-3}$ ) se mide en cada zona de 0-30 cm de profundidad. Se usan dos métodos: (1) medidas en continuo con ocho sensores a una profundidad de (10-20 cm) por parcela (10HS Decagon devices, Inc. Pullman, WA, USA), y (2) medidas puntuales con el método Time Domain Reflectometry (TDR100, Campbell Scientific, Inc. Logan, Utah, USA) usando 18 TDR por parcela de profundidad 30cm.

Para definir las **variables de estructura forestal**, se realizó una caracterización en 6 sub-parcelas de 100 m<sup>2</sup> en cada parcela de los sitios de estudio. El índice de área foliar (LAI, LAI-2000, and Li-Cor), se determinó mediante 5 medidas por parcela. La fracción de cabida cubierta (vertical densitometer GRS, USA) se muestreó cada 4 m<sup>2</sup> y el diámetro a la altura del pecho se midió para todos los arboles de cada sub-parcela (Tabla 1).

Tabla 1. Características de los cuatro sitios de estudio. Valores medios  $\pm$  desviación estándar.

	AGU	VEN	CAB	MEL
<b>Estructura forestal</b>				
Diámetro (cm)	17.10 $\pm$ (5.82)	17.56 $\pm$ (6.11)	12.30 $\pm$ (3.70)	15.28 $\pm$ (4.43)
LAI (m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup> )	0.63 $\pm$ (0.27)	0.90 $\pm$ (0.44)	0.87 $\pm$ (0.27)	1.42 $\pm$ (0.41)
Fracción de cabida cubierta (%)	57.90 $\pm$ (8.37)	47.10 $\pm$ (9.40)	53.12 $\pm$ (5.06)	82.10 $\pm$ (8.16)
Densidad (pies ha <sup>-1</sup> )	479 $\pm$ (48)	596 $\pm$ (68)	722 $\pm$ (104)	968 $\pm$ (57)
<b>Propiedades edáficas</b>				
Textura	franca	franca	franca arcillosa	franca arcillosa
Capacidad de campo (%)	20	21	20	30
Punto de marchitez (%)	5	4	5	8
Profundidad (cm)	47.8 $\pm$ 3.3	29.5 $\pm$ 1.1	30 $\pm$ 2.1	53 $\pm$ 5.7

### Modelización: HYDROBAL

La simulación de la humedad en el suelo se realizó con el modelo ecohidrológico HYDROBAL (BELLOT et al., 2001; BELLOT & CHIRINO, 2013) que permite calcular a escala diaria, la dinámica temporal de los principales flujos de agua que ocurren a través de la cubierta de vegetación. Una descripción más detallada del modelo se puede encontrar en BELLOT & CHIRINO (2013). Las entradas del modelo son: Propiedades del suelo (capacidad de campo, punto de marchitez y profundidad); datos climáticos (precipitación y temperatura diarias); evapotranspiración de referencia (Eto) calculada según el método de Hargreaves-Samani (HARGREAVES & SAMANI, 1982) y características de vegetación (comunidad vegetal, principales especies de la cobertura). Por otro lado, las variables de salida del modelo son las siguientes variables hidrológicas: Interceptación, lluvia neta, escorrentía, humedad del suelo, evapotranspiración de la masa, percolación directa y recarga potencial.

La calibración del modelo se realizó con los datos correspondientes al periodo 2012-2014, la validación con el año hidrológico 2014-2015 aplicando un ajuste lineal entre datos simulados y observados. La validación presentó buenos resultados (Nash-Sutcliffe de 0.36 a 0.70 y RMSE de 1.98 a 3.97), se considera un buen funcionamiento del modelo.

### **Muestreo y análisis dendrocronológico**

En 2013 se seleccionan entre 15-20 árboles por parcela de estudio, se extraen 2 testigos de crecimiento por árbol a la altura del pecho en dirección perpendicular. En total se analizaron un total de 150 muestras procedentes de 75 árboles. El muestreo se realizó sobre los árboles dominantes y maduros de *Pinus halepensis* y que no muestran daños visibles.

Los anillos de crecimiento anuales se identificaron y dataron a lo largo de los dos testigos. El ancho total de cada anillo se midió con un estereomicroscopio con una precisión de 0.01 mm y el programa TSAP-Win y LINTABTM5 (Rinntech, Heidelberg, Germany). Los posibles errores de medición se verifican con el programa COFECHA (HOLMES 1994). Y el incremento de área basal (BAI) se utiliza como la variable biológicamente más representativa para cuantificar las variaciones de crecimiento entre años. El BAI se calculó para cada año como la diferencia entre el área basal del árbol al final y al principio de cada estación de crecimiento. Las cronologías para cada uno de los sitios se construyen con el programa ARSTAN (COOK & HOLMES 1986). Para conservar la elevada frecuencia de variación más sensible a las variables climáticas, las series individuales se estandarizaron para eliminar la tendencia biológica de crecimiento del árbol, que destaca los efectos de la edad y el tamaño. Para ello, las series individuales primero se ajustaron a función exponencial negativa y seguidamente a un suavizado mediante splines cúbicos de frecuencia de respuesta de 30 años. Finalmente, los índices obtenidos fueron transformados a través de un modelado autoregresivo al objeto de eliminar la auto correlación en las series de índices de crecimiento. Las cronologías finales se calcularon mediante el cálculo de una media robusta de los residuales obtenidos previamente (COOK & PETERS 1997).

### **Proyección de cambios en la humedad del suelo y BAI**

Para la exploración de los posibles cambios de humedad en el suelo, se utilizaron 18 bases de datos de cambio climático (9 modelos CMIP5 y 2 escenarios de emisiones RCP 4.5 y RCP 8.5) una descripción más detallada se puede consultar en MOUTAHIR et al (2016). Los datos diarios de precipitaciones y temperatura se usaron como datos de entrada la modelo HYDROBAL para simular el balance hídrico en los cuatro sitios de estudio para el periodo (2078-2098).

Mediante las relaciones obtenidas entre BAI y precipitación y BAI y humedad en el suelo en el periodo observado, se realiza una aproximación al crecimiento en el periodo 2078-2098. Se utilizaron los valores de precipitaciones totales anuales y los valores medios anuales de humedad en el suelo. Los valores proyectados son promedios de los 9 modelos CMIP5.

### **Análisis de datos**

La relación entre el clima (por estación y anual) y variables hidrológicas con las cronologías anuales de BAI (para el periodo 1992-2012) se realizó individualmente para cada parcela de estudio utilizando un análisis de función de correlación (CF) con el programa DendroClim 2002 (BIONDI & WAIKUL, 2004), se utilizó un p-valor  $\leq 0.05$  para todos los análisis. Las cronologías de BAI fueron la variable dependiente, y las temperaturas por estación y anuales, humedad en el suelo y las sumas de precipitación por estación y anual para cada año hidrológico, las variables independientes (analizadas separadamente). El análisis se centró en el periodo de 1992 a 2012 para asegurar la madurez de los árboles, la disponibilidad de datos climáticos de calidad y las suficientes réplicas de las cronologías (EPS > 0.85; WIGLEY ET AL. 1984). Se utilizó además una ANCOVA para comprobar la homogeneidad de las pendientes de la regresión. Finalmente, para el análisis de los futuros cambios en la humedad del suelo, se comparan las medias entre el periodo observado y proyectado (t-test) y se analizan las

tendencias (regresión lineal). Los datos se analizaron con el software de estadística SPSS v.20.0 (SPSS Inc., Chicago, IL., USA) y el entorno de programación R ([www.r-project.org/](http://www.r-project.org/)).

#### 4. Resultados

En general a escala anual, la correlación de Pearson muestra que las variaciones anuales de BAI están principalmente relacionadas con las variaciones anuales de humedad en el suelo, en segundo lugar, con la precipitación y en tercer lugar con la temperatura (Figura 2). A escala anual encontramos una relación significativa y positiva entre BAI y humedad del suelo en los sitios semiáridos (con condiciones más secas: AGU y VEN), mayor que la observada entre BAI y precipitación. Por el contrario, en la parte húmeda del gradiente (CAB régimen seco y MEL régimen subhúmedo), encontramos una relación significativa y positiva con la precipitación, notablemente mayor que la observada entre BAI y humedad en el suelo. A escala de estación, en AGU y VEN la correlación entre BAI y humedad del suelo es significativa y positiva para todas las estaciones, mientras para la variable precipitación estas solo resultan significativas en invierno, primavera y verano. Por otro lado, en CAB y MEL, se obtienen correlaciones significativas y positivas con la humedad del suelo en primavera y verano y con la precipitación de primavera.

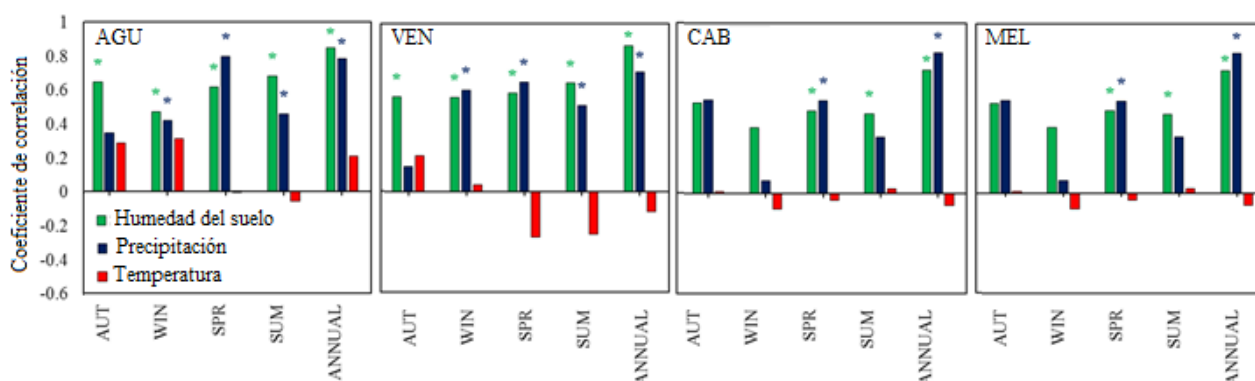


Figura 2. Correlaciones (coeficientes de Pearson) calculadas entre BAI y variables climáticas estacionales y anuales: Humedad en el suelo (barras verdes), precipitación total (barras azules) y temperatura media (barras rojas). Los asteriscos indican correlaciones significativas ( $p < 0.05$ ).

Los modelos de ANCOVA a lo largo del gradiente fueron significativos en todos los casos, además mostraron un efecto positivo de la humedad media anual y de la precipitación total anual sobre BAI. El porcentaje de variación explicado por la humedad en el suelo fue de entre 69% -73% en los sitios semiáridos y secos (AGU, VEN and CAB), y 51% en la parte de régimen subhúmedo (MEL). Por el contrario, el porcentaje de variación explicado por la precipitación anual fue de 48% -60% en la parte semiárida del gradiente y 68% en la parte húmeda (MEL). Consecuentemente, los coeficientes de regresión son menores para la precipitación como variable explicativa excepto para el sitio subhúmedo (MEL). Por otro lado, las pendientes del modelo señalan diferentes efectos sobre BAI debidos a la dinámica de humedad en el suelo de los diferentes sitios del gradiente. Estas señalan diferencias significativas entre los regímenes semiárido y seco (AGU, VEN and CAB) ( $p < 0.05$ ) y MEL (subhúmedo) y entre AGU y VEN y CAB ( $p < 0.05$ ). En cambio, las pendientes señalan solo diferencias significativas en el crecimiento debido a la precipitación entre AGU y MEL ( $p = 0.002$ ).

Tabla 2. Correlaciones entre (BAI) y la media anual de humedad en el suelo y la precipitación total para el periodo 1992-2012. Para cada sitio se presentan: Precipitación (P); coeficiente de determinación ( $r^2$ ) y Error estándar de la estimación (S).

Sitio	Factor	$r^2$	Pendiente	$p$ -Valor	S
VEN	P (mm)	0.48	0.0027	<0.001	0.35

	Humedad (mm)	0.73	0.1425	<0.001	0.25
SAG	P (mm)	0.60	0.0042	<0.001	0.35
	Humedad (mm)	0.69	0.0877	<0.001	0.31
CAB	P (mm)	0.54	0.003	<0.001	0.29
	Humedad (mm)	0.72	0.1814	<0.001	0.23
MEL	P (mm)	0.68	0.0018	<0.001	0.20
	Humedad (mm)	0.51	0.0298	<0.001	0.25

Los nueve modelos climáticos CMIP5 usados en este trabajo indican una reducción de humedad del suelo en las cuatro zonas de estudio hacia el final del siglo 21. A excepción de VEN, la reducción de humedad del suelo es significativa, comparando los valores medios del periodo observado (1992-2013) y proyectado (2078-2098) (Figura 3a). Esta reducción de humedad del suelo sugiere un efecto significativo en el crecimiento de los anillos debido a la fuerte correlación señalada en el apartado anterior (Tabla 2). Este efecto es mayor al efecto de la reducción de la precipitación (Figura 3b) bajo los dos escenarios de cambio climático y los 9 modelos CMIP5.

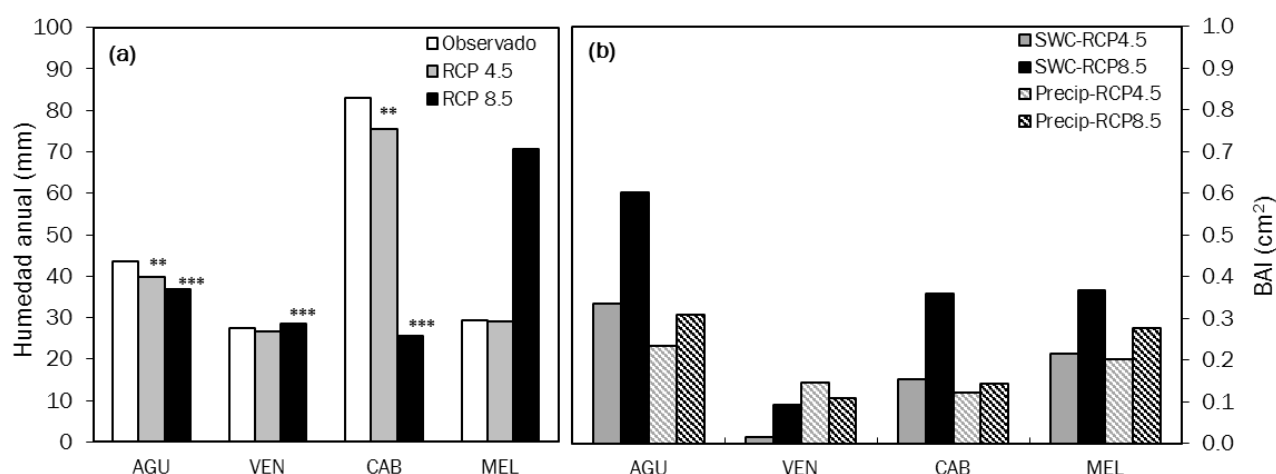


Figura 3. (a) Diferencias entre las medias de humedad observadas (1992-2013) y las predicciones de cambio climático para el periodo 2078-2098 y los escenarios RCP 4.5 y RCP 8.5. (b) Reducción de BAI (cm<sup>2</sup>) respecto al periodo observado (1992-2012). Los valores de predicciones son promedios de 9 modelos CMIP5.

## 5. Discusión

### Crecimiento en respuesta al clima y humedad en el suelo

La variabilidad de BAI anual en *Pinus halepensis* puede ser explicada por la variabilidad en precipitación y condiciones de humedad en el suelo (Figura 2). Las variaciones de humedad en el suelo se exponen como la mejor variable explicativa para variaciones anuales en el crecimiento para sitios semiáridos, de acuerdo con YIN et al. (2008). Por otro lado, las diferencias en precipitaciones explican mejor las variaciones en crecimiento en sitios subhúmedos ( $p < 0.05$ , Tabla 2) y la relación más débil con humedad en el suelo en (MEL) ( $r^2 = 0.51$ ,  $p < 0.05$ , Tabla 2), puede ser resultado de un menor déficit hídrico. Este hecho sugiere que la influencia de la humedad de un año hidrológico es más evidente cuando la precipitación es limitada como afirma FANG et al. (2015). Además, es importante evaluar en qué medida esta variabilidad está determinada por las características del sitio: La fracción de cabida cubierta (entrada del modelo) principal variable en el proceso de interceptación de la lluvia y la tasa de transpiración (estimada por el modelo). Igualmente, el suelo tiene una importancia esencial en el crecimiento debido a su papel en la retención de humedad (FANG et al.,

2015) sobre todo en ambientes donde las lluvias torrenciales representan un elevado porcentaje del total anual

### Simulación de humedad en el suelo

Dado que la humedad en el suelo puede ser simulada cuando se tienen datos de temperatura, precipitación, características del suelo y de la vegetación, se propone que más estudios dendrocronológicos consideren incorporar datos de disponibilidad de agua en sus análisis (DYMOND et al, 2015). Además, los resultados sugieren que el uso de modelos puede ser útil para comprender los procesos de crecimiento en bosques semiáridos bajo diferentes condiciones y un número infinito de escenarios. Y permiten predecir los futuros impactos de estrés por episodios de sequía cuando se unen con predicciones climáticas (RUFFAULT et al., 2014).

## 6. Conclusiones

El modelo ecohidrológico HYDROBAL que integra las condiciones meteorológicas, las características de la vegetación y las condiciones edáficas para simular balances hídricos es una herramienta muy útil y capaz de predecir el contenido de humedad en el suelo en masas de *Pinus halepensis* en un gradiente de aridez. Se expone el hecho de que la humedad en el suelo tiene un papel determinante en los patrones de crecimiento en ambientes semiáridos. Especialmente en bosques de *Pinus halepensis*, queda patente que utilizando las estimaciones de humedad en el suelo se consiguen mejores predicciones de respuesta de las masas forestales a la variabilidad climática. Lo que puede ser especialmente importante para mejorar el conocimiento de la sensibilidad de los bosques semiáridos mediterráneos al cambio climático, así como para el desarrollo de una silvicultura adaptativa mediterránea que se centre en la adaptación de los bosques a la escasez de agua que se espera con el cambio climático.

## 7. Agradecimientos

Este estudio está financiado por el Ministerio de economía y competitividad a través de diversos proyectos: ECOBAL (CGL2011-30531-C02-01), ALTERACLIM (CGL2015-69773-C2-1-P) y CLIMED (CGL2015-69985-R). A. Manrique-Alba agradece además al ministerio por su beca FPI.

## 8. Bibliografía

- BELLOT, J.; BONET, A.; SÁNCHEZ, J.R.; CHIRINO, E. 2001. Likely effects of land use changes on the runoff aquifer recharge in a semiarid landscape using a hydrological model. *Landscape Urban Plan.* 778, 1–13.
- BELLOT, J.; CHIRINO, E. 2013. Hydrobal: An eco-hydrological modelling approach for assessing water balances in different vegetation types in semi-arid areas. *Ecol Model.* 266.
- BIONDI, F.; WAIKUL, K. 2004. DENDROCLIM2002: A C++ program for statistical calibration of climate signals in tree-ring chronologies. *Computat Geosci.* 30, 303– 311.
- CAMARERO, J.J.; MANZANEDO, R.D.; SANCHEZ-SALGUERO, R.; NAVARRO-CERRILLO, R.M. 2013. Growth response to climate and drought change along an aridity gradient in the southernmost *Pinus nigra* relict forests. *Ann For Sci.* 769, 780. 70. 8.
- COOK, E.; HOLMES, R.; 1986. Adapted from user's manual for program ARSTAN. In: Holmes R, Adams RK, Fritts HC (eds) Laboratory of Tree-Ring Research, University of Arizona, Tucson. pp 50–65
- COOK, E.; JOHNSON, A.H.; BLASING, T.J.; 1987. Forest decline: modeling the effect of climate in tree rings. *Tree Physiol.* 3, 27–40.



- DE LUIS, M.; NOVAK, K.; RAVENTÓS, J.; GRICAR J; PRISLAN P; ČUFAR K. 2011. Climate factors promoting intra-annual density fluctuations in Aleppo pine (*Pinus halepensis*) from semiarid sites. *Dendrochronologia*. 29,163–169.
- DYMOND, S.F.; D'AMATO, A. W.; KOLKA, R.K.; BOLSTAD, P.V.; SEBESTYEN, S.D.; BRADFORD, J.B. 2015. Growth–climate relationships across topographic gradients in the northern Great Lakes. *Ecohydrology*. 1936-0592.
- FANG, K.; FRANK, D.; ZHAO, Y.; ZHOU, F.; HEIKKI SEPPÄ.; 2015. Moisture stress of a hydrological year on tree growth in the Tibetan Plateau and surroundings. *Environ Res Lett*. 10, 3, 034010.
- GARCÍA DE LA SERRANA, R.; VILAGROSA, A.; ALLOZA, JA.; 2015. Pine mortality in southeast Spain after an extreme dry and warm year: interactions among drought stress, carbohydrates and bark beetle attack. *Trees*. 29(6), 1791-1804.
- HARGREAVES, G.H; AND SAMANI, Z.A.; 1982. Estimating reference evapotranspiration. Tech. Note. *J Irrig Drain E-Asce, ASCE*, 108 (3), 225–230.
- HOLMES, R.; 1994. Dendrochronology program library user's manual. Laboratory of Tree- Ring Research, University of Arizona, Tucson, USA.
- IPCC 2013. 2013. Climate change 2013: The Physical Science Basis. In: Stocker TF, Qin D, Plattner GK, Tignor MMB, Allen SK, Boschung J, Nauels A, Xia Y, Bex V, Midgley PM (eds) Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press. 986. Cambridge.
- MOUTAHIR, H., BELLOT, P., MONJO, R., BELLOT, J., GARCIA, M., & TOUHAMI, I. 2016. Likely effects of climate change on groundwater availability in a Mediterranean region of Southeastern Spain. *Hydrol Process*. DOI: 10.1002/hyp.10988
- MOUTAHIR, H., DE LUIS, M., SERRANO-NOTIVOLI, R., TOUHAMI, I., BELLOT, J. (2014). Análisis de los eventos climáticos extremos en la provincia de Alicante, Sureste de España. En: Fernández-Montes, S. y Rodrigo, F.S. (Eds). Cambio climático y cambio global. Publicaciones de la Asociación Española de Climatología (AEC). Serie A, no 9. Almería. pp. 457–466. (ISBN: 978-84-16027-69-9).
- PASHO, E.; CAMARERO, J.J.; DE LUIS, M.; VICENTE-SERRANO, S. M. 2012. Factors driving growth responses to drought in Mediterranean forests. *Eur J For Res*. 131, 1797-1807.
- RIVAS-MARTINEZ. 1983. Pisos Bioclimáticos de España. *Lazaroa* 5: 33-34.
- RUFFAULT, J.; MARTIN-STPAUL, N.K.; DUFFET, C., GOGÉ, F.; MOUILLOT, F. 2014. Projecting future drought in Mediterranean forests: bias correction of climate models matters! *Theor Appl Climatol*. 117, 113–122.
- SARRIS, D.; CHRISTODOULAKIS, D.; KÖRNER, C.; 2007. Recent decline in precipitation and tree growth in the eastern Mediterranean. *Global Change Biol*. 13(6), 1187-1200.
- SHEFFIELD, J., WOOD, E.F. 2008. Global trends and variability in soil moisture and drought characteristics, 1950–2000, from observation-driven simulations of the terrestrial hydrologic cycle. *J Climate*. 21(3), 432–458.
- WIGLEY, T.M.L.; BRIFFA, K.R.; JONES, P.D. 1984. On the average value of correlated time-series, with applications in dendroclimatology and hydrometeorology. *J Appl Meteorol Clim*. 23, 201-213.
- YIN, Z.; SHAO, X.; QIN, N.; LIANG, E. 2008. Reconstruction of a 1436-year soil moisture and vegetation water use history based on tree-ring widths from Qilian junipers in northeastern Qaidam Basin, northwestern China. *Int J Climatol*. 28, 37-53.