



6º CONGRESO FORESTAL ESPAÑOL

6CFE01-282

Montes: Servicios y desarrollo rural
10-14 junio 2013
Vitoria-Gasteiz



Edita: Sociedad Española de Ciencias Forestales
Vitoria-Gasteiz, 10-14 junio de 2013
ISBN: 978-84-937964-9-5
© Sociedad Española de Ciencias Forestales

Calibración del modelo biome-bgc en condiciones de clima mediterráneo

GARCIA PRATS, A.¹, DEL CAMPO GARCIA, A.¹, SANCHIS GONZÁLEZ, M.¹, MOLINA HERRERA, A.²

¹Grupo de Investigación ReForest. Departamento de Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente, Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n, 46022, Valencia. España.

²IRTA. Programa de Horticultura Ambiental. Torre Marimon, E-08140, Caldes de Montbui. España.

Resumen

Los modelos matemáticos de simulación de ecosistemas forestales basados en procesos (PBM) son una buena herramienta para programar actuaciones sobre masas forestales, especialmente si el objetivo a conseguir, además de tener fines puramente silvícolas, está relacionado con el funcionamiento hidrológico del monte. En este trabajo se planteó un experimento con distintos tratamientos de aclareo de una masa. Las parcelas del ensayo se monitorizaron con una estación meteorológica y con sensores de flujo de savia. Los resultados medidos de transpiración posteriormente se modelaron en BIOME-BGC. El modelo es capaz de predecir correctamente los valores de transpiración del sitio, tanto en la situación original de la masa sin tratamiento como en las distintas fracciones de cabida cubierta ensayadas tras el correspondiente proceso de calibración y validación. Esto abre una puerta al empleo del modelo en el ámbito mediterráneo, con el fin de programar actividades de silvicultura hidrológica.

Palabras Clave

Modelos de simulación basado en procesos (PBM), BIOME-BGC, transpiración.

1. Introducción

Los modelos matemáticos de simulación de ecosistemas forestales son una herramienta valiosa en la toma de decisiones relacionadas con el manejo de ecosistemas. Estos modelos se pueden clasificar en dos grandes grupos: modelos empíricos (EM) y modelos basados en procesos (PBM). Los modelos EM se basan en relaciones estadísticas de dependencia entre variables obtenidas por inventario y las variables bióticas y abióticas de las que dependen, por lo que no son adecuados para simular el manejo de las masas ni adaptaciones a cambios (Skovsgaard and Vanclay, 2008). Los modelos PBM se basan en la simulación de los principales procesos fisiológicos que intervienen en la dinámica a largo plazo de la masa forestal: fotosíntesis, respiración, transpiración, etc, todos ellos dependientes de las condiciones ambientales. Los modelos PBM son una herramienta valiosa en la toma de decisiones relacionadas con el manejo de ecosistemas (Fontes et al., 2010) en condiciones cambiantes, tanto ambientales como de manejo, siendo la investigación bajo estas condiciones uno de sus principales usos (Johnsen et al., 2001; Korzukhin et al., 1996; Stage, 2003).

El abandono de las actividades rurales en las últimas décadas (ganadería, agricultura, aprovechamientos del monte, etc.), experimentado en mayor o menor grado en buena parte de Europa, ha dado lugar a la expansión del bosque y el matorral (Puigdefábregas y Mendizábal, 1998). Esto, pese a sus beneficios en la conservación del suelo, puede suponer como efecto cambios en el ciclo hidrológico: aumento de la intercepción, aumento de la transpiración o

disminución de la aportación específica de las cuencas hidrológicas. De esta forma, en climas áridos y semiáridos, las fluctuaciones de humedad en el suelo son el factor clave en el continuo suelo-vegetación-atmósfera (D'Orico et al., 2000; Rodríguez-Iturbe, 2001; Albertson and Kiely, 2001; Porporato et al., 2002). En este sentido, resulta especialmente interesante complementar los actuales criterios de gestión silvícola con otros objetivos de tipo hidrológico, lo que supone mantener una estructura espacial de la masa concreta a determinar, siendo de especial ayuda los modelos PBM en su determinación.

BIOME-BGC es un modelo de simulación de ciclos biogeoquímicos desarrollado por la Universidad de Montana (Running&Coughlan 1988; Hunt et al. 1996) para estimar el almacenamiento y los flujos de carbono, nitrógeno y agua dentro de ecosistemas terrestres.

2. Objetivos

El objetivo del trabajo es la evaluación del modelo BIOME-BGC en condiciones de clima mediterráneo y su capacidad para reproducir el patrón de transpiración observado en una masa de *Pinushalepensis* Mill. monitorizada. La masa originalmente se encuentra en situación de estancamiento y se dinamiza mediante una actuación de aclareo de pies a distintas densidades. Disponer del modelo calibrado puede permitir buscar escenarios futuros de manejo de la masa con objetivos hidrológicos.

3. Material y Métodos

3.1. Descripción del área de estudio

El área de estudio se ubicó en el Monte de La Hunde y Palomeras (39°05'30'' N, 1°12'30'' W), localizado al sureste de la provincia de Valencia (España) a 950 m de altura sobre el nivel del mar. El clima es Mediterráneo con una precipitación media anual de 466 mm y una temperatura media anual de 13.7°C (1960–2007). La evapotranspiración potencia es de 749 mm/año. Los suelos tienen una elevada concentración en carbonato cálcico (26–38%), un pH que oscila en el rango 7.7–8.2, y una profundidad que varía entre 50 y 60 cm, presentando una textura franco-limo-arenosa.

3.2. Diseño experimental

Se realizó un diseño experimental de bloques completos al azar. Se plantearon 3 bloques de 0,27 ha separados menos de 200 m entre sí, los cuales contenían todos los tratamientos. La masa estudiada procede de una repoblación realizada en los años 40. Cada bloque se dividió en 3 parcelas de 30x30 m. Una parcela en cada bloque no recibió ningún aclareo de pies, presentando una fracción de cabida cubierta del 100% y en un claro estado de estancamiento. Las otras dos parcelas recibieron un tratamiento de aclareo de pies basado en la eliminación de aquellos pies menos desarrollados hasta obtener otras dos fracciones de cabida cubierta: 10% y 60% y con una distribución homogénea de pies dentro de la parcela. Los tratamientos se realizaron en febrero de 2008, quedando como puede verse en la Figura 1.



Figura 1. Parcela testigo $T1=100\%FCC$ (izquierda), $T2=60\%FCC$ (centro) y $T3=10\%FCC$ (derecha).

La meteorología del sitio se monitorizó mediante la instalación de una estación meteorológica (Precipitación, Temperatura, Humedad Relativa). La transpiración se midió con sensores comerciales de flujo de savia HRM sensor de ITC International (Australia). Se instalaron 4 sensores de flujo de savia por tratamiento atendiendo a la distribución diamétrica, 12 en total. Todos los sensores se instalaron en la cara norte, a 1,3 m de altura del tronco para reducir los efectos debidos a la heterogeneidad circunferencial en el flujo. (Nadezhina et al., 2002; Caylor y Dragoni, 2009; Dragoni et al., 2009; Staudt et al., 2011). El área del albura se calculó empleando procedimientos dendrológicos. Para ello se extrajeron cores de madera con barrena hasta llegar al centro del tronco. Se extrajeron 2 cores por cada árbol monitorizado con sensor de flujo de savia, uno en la dirección norte y otro en la dirección sur, promediando finalmente los valores obtenidos del área conductora de savia en cada tratamiento.

El periodo de media de flujo de savia se prolongó desde junio de 2009 a marzo de 2011.

3.3. Descripción del modelo

Biome-BGC es un modelo PBM que estima los flujos y el almacenamiento de agua, carbono y nitrógeno por el suelo y la vegetación en ecosistemas terrestres. Para ello requiere: datos climáticos diarios, información general del ecosistema (i.e. suelo, vegetación, condiciones del sitio) y parámetros que describen las características eco-fisiológicas de la vegetación. A diferencia de otros modelos, incluso de versiones anteriores de este mismo modelo (FOREST-BGC; Running and Coughlan, 1988), BIOME-BGC no requiere ninguna información sobre reservas o contenidos en los “pools” de carbono o nitrógeno. La versión actual del modelo (4.2) es capaz de inicializar las variables hasta encontrar un equilibrio en el quasi-climax para las condiciones eco-climáticas locales mediante simulaciones repetidas del modelo bajo unas mismas condiciones de clima (análisis “spin-up”). Generalmente el equilibrio del ecosistema está referido a una situación de régimen permanente, en el cual las variables de estado del modelo alcanzan un equilibrio dinámico (e.g., el material vegetal muerto es reemplazados por nuevos tejidos en la misma cantidad) de manera que a escala anual o superior a la anual no se producen cambios en las mismas. El contenido de C y N en los distintos “pools” se obtiene pues de la realización de un análisis inicial “spin-up”.

Respecto de la estructura espacial de la vegetación, Biome-BGC está basado en algunas asunciones y simplificaciones. Los árboles no están definidos individualmente; sin embargo el ecosistema completo (incluidos la parte aérea y subterránea) si está dividido en varios “pools” relevantes para los ciclos del carbono, agua y nitrógeno. El ecosistema es considerado como

monoespecífico, y se asume que su estructura horizontal es homogénea, siendo el LAI la variable fundamental que representa la densidad de vegetación existente. Además el modelo no contempla competencia entre individuos. Si bien el modelo no distingue entre especies, si cuenta con 44 variables ecofisiológicas que caracterizan la masa en su conjunto (Tabla 1).

3.4. Calibración y validación del modelo

El modelo se calibró a partir de los datos de transpiración real medidos en campo. Para la calibración se adoptó una estrategia en dos etapas. En primer lugar se calibró el modelo modificando todas aquellas variables ecofisiológicas que presentaron sensibilidad para la parcela testigo T1 con una FCC del 100%, es decir, en aquella parcela en la que no se realizó ninguna actuación. El modelo se ejecutó con un análisis spin-up previo para conseguir el equilibrio del ecosistema, seguido de una ejecución del modelo para el periodo 2000-2011.

Con las variables ecofisiológicas calibradas en su conjunto para el sitio y la masa, se realizó una segunda calibración para los tratamientos T2=60%FCC y T3=10%FCC. En este caso solamente 4 variables directamente relacionadas con el LAI se modificaron, pues la actuación asumimos que solo afectó a la densidad, y ésta en el modelo está representada con el LAI. Esto permitió encontrar como se modifican las 4 variables relacionadas con el LAI en el modelo y la FCC, pues es finalmente la variable que se modifica en una actuación de aclareo.

La calibración se llevó a cabo con las mediciones de transpiración realizadas en el periodo junio/2009 hasta marzo/2010. El ajuste de los parámetros del modelo se desarrolló utilizando PEST (A model-independent parameter estimation program) (Doherty, 2009). PEST emplea el algoritmo de calibración no lineal denominado Gauss-Marquardt-Levenberg. La función objetivo minimiza el error cuadrático medio entre los valores simulados y observados de transpiración dentro del periodo señalado, todos ellos con un mismo peso. PEST realiza un análisis de sensibilidad de las variables, resultando todas ellas con cierto grado de sensibilidad respecto del resultado final.

La validación del modelo se llevó a cabo con las mediciones de transpiración realizadas en el periodo abril/2009 hasta marzo 2011, ejecutando el modelo directamente con el conjunto de parámetros calibrados en el apartado anterior.

3.5. Evaluación del funcionamiento del modelo

Los resultados del modelo obtenidos en la fase de calibración y validación fueron evaluados por comparación con los resultados realmente medidos. Los estadísticos empleados a tal efecto fueron Eficiencia del modelo de Nash y Sutcliffe E (Nash and Sutcliffe, 1970), Índice de ajuste de Willmott d (Willmott, 1981) e Índice de ajuste de Willmott modificado d_I (Willmott, 1984).

Eficiencia del modelo E de Nash and Sutcliffe

Eficiencia del modelo E de Nash and Sutcliffe (1970) se define como 1 menos la suma de las diferencias absolutas al cuadrado entre los valores observados y predichos, normalizado por la varianza de los valores observados durante el periodo investigado. Se calcula con la expresión:

$$E = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (O_i - \bar{O})^2}$$

Donde:

- O_i , valor de transpiración observado el día i
- P_i , valor de transpiración predicho por el modelo el día i
- \bar{O} , valor medio de los valores observados

El rango entre el cual E puede oscilar va desde 1 a $-\infty$. 1 indica un ajuste perfecto, mientras que cero indica que el valor medio de las observaciones es igual predictor que el propio modelo. Valores negativos indican que el valor medio de las observaciones es mejor predictor que el propio modelo.

Una de las desventajas del índice E de Nash-Sutcliffe radica en que emplea los cuadrados de las diferencias entre los valores predichos y observados, lo que conduce a sobrevalorar valores extremos y a despreciar valores pequeños (Legates and McCabe, 1999).

Índice de ajuste de Willmot

El índice de ajuste de Willmot d (Willmot, 1981) representa el ratio entre el error cuadrático medio y el error potencial (Willmot, 1984) y se define como:

$$d = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n (O_i - P_i)^2}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)^2}$$

El índice d toma valores que oscilan entre 0 (sin correlación alguna) hasta 1 (ajuste perfecto).

El error potencial en el denominador representa el mayor valor que las diferencias cuadráticas de cada par de valores puede tomar. Al presentar las diferencias al cuadrado en el numerador, presenta el mismo inconveniente que E al sobrevalorar los valores extremos y despreciar los valores bajos.

Índice de ajuste de Willmot modificado

El índice de ajuste modificado d_I fue desarrollado por Willmot (1984) para aumentar la sensibilidad con valores bajos y evitar sobrevalorar en exceso los valores extremos, se expresa de la siguiente forma:

$$d_I = 1 - \frac{\sum_{i=1}^n |P_i - O_i|}{\sum_{i=1}^n (|P_i - \bar{O}| + |O_i - \bar{O}|)}$$

El rango en el que puede oscilar el índice d_I es el mismo que d .

4. Resultados

Como se indicó anteriormente, el modelo se calibró para la parcela testigo T1, empleando la totalidad de las variables ecofisiológicas. De esta forma se consigue ajustar dichas variables que presentan valores genéricos recogidos de la bibliografía a valores específicos del sitio. En la Tabla 1 se presentan el valor de las variables originales del modelo y las calibradas.

Tabla 1. Conjunto de variables ecofisiológicas originales de BIOME-BGC y valor tras la calibración T1 (100%FCC).

VARIABLE	ORIGINAL	T1 CALIBRADO
Woody/non-woody flag	1	1
Evergreen/deciduous flag	1	1
C3/C4 flag	1	1
Model phenology/user specified	1	1
ONDAY	0	0
OFFDAY	0	0
Transfer growth period as fraction of growing season (prop.)	0.3	0.3
Litterfall as fraction of growing season (prop.)	0.3	0.3
Annual leaf and fine root turnover fraction (year ⁻¹)	0.25	0.2530999
Annual live wood turnover fraction (year ⁻¹)	0.7	0.64685682
Annual whole plant mortality fraction (year ⁻¹)	0.005	0.00478073
Annual fire mortality fraction (year ⁻¹)	0.005	0.00550362
Allocation new fine root C:new leaf C (ratio)	1.0	1.52008761
Allocation new stem C:new leaf C (ratio)	2.2	1.31069892
Allocation new live wood C:new total wood C (ratio)	0.1	0.0936023
Allocation new coarse root C:new stem C (ratio)	0.3	0.26159831
Allocation current growth proportion (prop.)	0.5	0.27367747
C:N of leaves (kgC/kgN)	42	36.6
C:N of leaf litter (kgC/kgN)	93	81.0
C:N of fine roots (kgC/kgN)	42	24.3
C:N of live wood (kgC/kgN)	50	50.1
C:N of dead wood (kgC/kgN)	729	614
Leaf litter labile proportion (dim)	0.32	0.32
Leaf litter cellulose proportion (dim)	0.44	0.44
Leaf litter lignin proportion (dim)	0.24	0.24
Fine root labile proportion (dim)	0.30	0.30
Fine root cellulose proportion (dim)	0.45	0.45
Fine root lignin proportion (dim)	0.25	0.25
Dead wood cellulose proportion (dim)	0.76	0.76
Dead wood lignin proportion (dim)	0.24	0.24
Canopy water interception coefficient (1/LAI/d)	0.041	0.046
Canopy light extinction coefficient (dim)	0.50	0.514
All-sided to projected leaf area ratio (dim)	2.6	2.94
Canopy average specific leaf area (m ² /kgC)	12.0	16.9
Ratio of shaded SLA:sunlit SLA (dim)	2	2.04
Fraction of leaf N in Rubisco (dim)	0.04	0.0688
Maximum stomatal conductance (m/s)	0.003	0.00331
Cuticular conductance (m/s)	0.00001	0.0000685
Boundary layer conductance (m/s)	0.08	1.76
Leaf water potential: start of conductance reduction (MPa)	-0.6	-0.0088144
Leaf water potential: complete conductance reduction (MPa)	-2.3	-2.02076655
Vapor pressure deficit: start of conductance reduction (Pa)	930	853
Vapor pressure deficit: complete conductance reduction (Pa)	4100	1500

En una segunda etapa de calibración solo se emplean 4 variables relacionadas con el LAI para adaptar el modelo a los tratamientos T2=60%FCC y T3=10%FCC. En la Tabla 2 encontramos los valores de los valores de los parámetros tras la calibración.

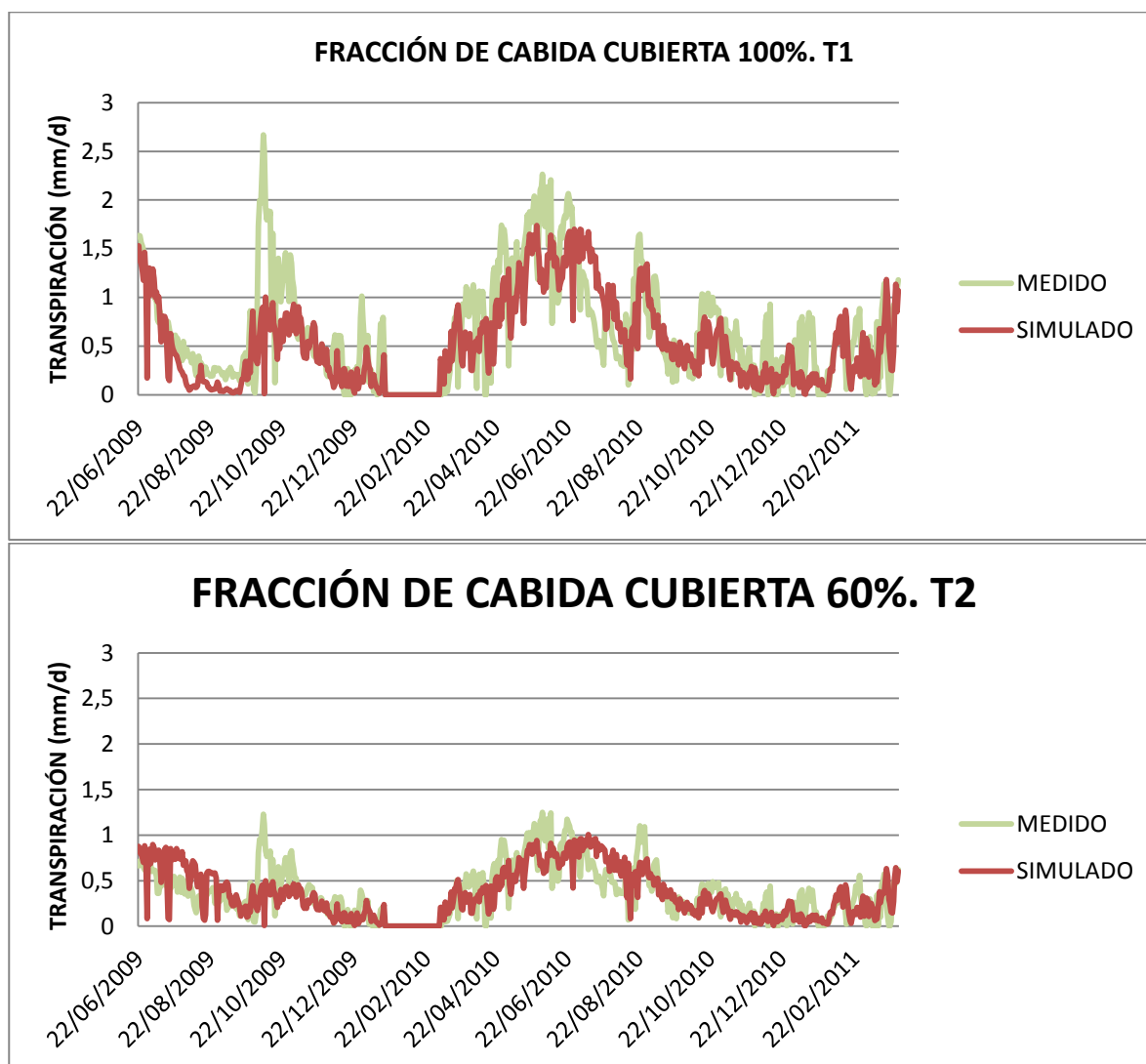
Tabla 2. Conjunto de parámetros originales de BIOME-BGC y valor final tras la calibración T2=60%FCC y T3=10%FCC.

VARIABLES	VALORES		V. CALIBRADOS	
	ORIGINALES	T1 (100%FCC)	T2 (60%FCC)	T3 (10%FCC)
Canopy water interception coefficient (1/LAI/d)	0.041	0.046	0.08262459	0.059782387
Canopy light extinction coefficient (dim)	0.50	0.514	0.51009397	1.132152500
All-sided to projected leaf area ratio (dim)	2.6	2.94	5.2396489	3.7911226
Canopy average specific leaf area (m ² /kgC)	12.0	16.9	9.8611722	2.0046404

En la Figura 1 se representan los valores de transpiración observados y simulados tras el proceso de calibración. Finalmente la Tabla 3 muestra los resultados obtenidos en los estadísticos de eficiencia de funcionamiento del modelo.

Tabla 3. Estadísticos de eficiencia de funcionamiento del modelo

ESTADÍSTICOS	TRATAMIENTOS		
	T1 (100%FCC)	T2 (60%FCC)	T3 (10%FCC)
E	0.41	0.37	0.54
d	0.77	0.53	0.50
d ₁	0.52	0.69	0.70



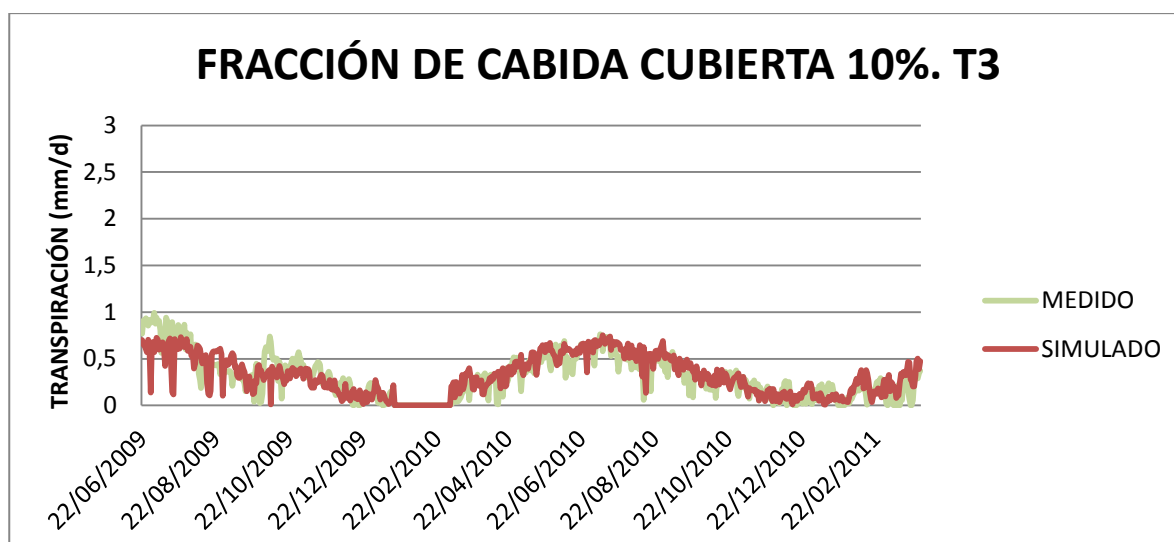


Figura 1. Valores de transpiración observados y simulados tras la calibración

5. Discusión

La variable *Canopyaveragespecificleafarea* (m^2/kgC) es la que representa directamente el LAI de la parcela. Para la parcela testigo adopta un valor de 16.9 adoptando para los tratamientos T2=60% FCC y T3=10% FCC valores de 9.86 y 2.00 respectivamente, viendo como esto implica una reducción en el LAI equivalente a la reducción de FCC.

El modelo es capaz de predecir de forma correcta la transpiración observada de forma generalizada. Hay que destacar el periodo de medición de 1 mes comprendido entre el 1/10/2009 y el 03/11/2009 en el cual se produjeron valores extremos de transpiración en los tratamientos T1 y T2, los cuales el modelo no ha sido capaz de predecir.

En el resto del periodo de medición se consigue un ajuste relativamente bueno si atendemos a los estadísticos que miden la eficiencia del modelo. La Tabla 3 resume los valores de los estadísticos empleados para evaluar el comportamiento del modelo. Valores superiores a 0 indican que el modelo predice mejor la transpiración de lo que lo haría el valor medio de los valores observados. La bibliografía presenta discrepancias en cuanto a los rangos de los estadísticos para considerarlos adecuados. En general se acepta que valores de E por encima de 0,35 y superiores a 0,5 para el resto de estadísticos indican funcionamiento adecuado del modelo.

6. Conclusiones

La principal conclusión encontrada en este trabajo gira en torno de la validez del modelo BIOME-BGC para ser empleado en condiciones de clima mediterráneo para simular actuaciones de manejo de la masa e inferir resultados de tipo hidrológico. En este sentido se demuestra que es posible realizar una aceptable calibración del modelo para predecir valores de

transpiración tras un aclareo que pasa a la masa de una FCC del 100% al 60 y 10% respectivamente.

Si bien el modelo no da la opción de definir de manera alguna la heterogeneidad horizontal (fracción de cabida cubierta, clases diamétricas, densidad de pies, especie dominante, etc), también es cierto que todo ello queda recogido en unas pocas variables todas ellas relacionadas con el LAI y que su adecuada calibración ha permitido simular las actuaciones analizadas en este estudio, lo que abre todo un campo de expectativas de cara a la orientación de dichas actuaciones con fines hidrológicos.

7. Agradecimientos

Este estudio ha sido posible gracias al apoyo de varias instituciones. En concreto es el resultado de dos proyectos de investigación, CGL2011-28776-C02-02, Hydrological characterisation of forest structures at plot scale for an adaptive management, HYDROSIL”, financiado por el ministerio de Ciencia e Innovación del gobierno español con fondos FEDER, y el proyecto: “Determination of hydrologic and forest recovery factors in Mediterranean Forests and their social perception”, liderado por Eduardo Rojas and financiado por el Ministerio de Medio Ambiente Rural y Marino. Además, los autores desear agradecer expresamente a la Generalitat Valenciana (CMAAUV) y VAERSA su apoyo técnico y logístico para el uso del monte público de La Hude y la ejecución de los trabajos forestales, en concreto a Javier Hermoso de Mena y Raúl Díez.

8. Bibliografía

- ALBERTSON, J.D; KIELY, G; 2001. On the structure of soil moisture time series in the context of land surfaces models, *J. Hydrol.*, 243, 101–119.
- CAYLOR, K.K.; DRAGONI, D.; 2009. Decoupling structural and environmental determinants of sap velocity: Part I, Methodological development. *Agric. For. Meteorol.*, 149(3-4): 559-569.
- DOHERTY, J.; 2009. PEST: Model-Independent Parameter Estimation. Watermark Numerical Computing, Brisbane, Australia. <http://www.sspa.com/pest>.
- D’ODORICO, P.; RIDOLFI, L.; PORPORATO, A.; RODRIGUEZ-ITURBE, I.; 2000. Preferential states of seasonal soil moisture: The impact of climate fluctuations. *Water Resour. Res.*, 36, 2209–2219.
- DRAGONI, D.; CAYLOR, K.K.; SCHMID, H.; 2009. Decoupling structural and environmental determinants of sap velocity: Part II, Observational application. *Agric. For. Meteorol.*, 149(3-4): 570-581.
- FONTES, L., BONTEMPS, J.D., BUGMANN, H., VAN OIJEN, M., GRACIA, C., KRAMER, K., LINDNER, M., RÖTZER, T., SKOVSGAARD, J.P.; 2010. Models for supporting forest management in a changing environment. *For. Systems*, 19, 8-29.
- HUNTER JR, PIPER SC, NEMANI R, KEELING CD, OTTO RD, RUNNING SW (1996) Global net carbon exchange and intra-annual atmospheric CO₂ concentrations predicted by an ecosystem process model and three-dimensional atmospheric transport model. *Global Biogeochem. Cycles*, 10, 431-456.
- NASH, J. E.; SUTCLIFFE, J. V.; 1970. River flow forecasting through conceptual models, Part I - A discussion of principles, *J. Hydrol.*, 10, 282–290.
- NADEZHDA, N.; ČERMÁK, J.; CEULEMANS, R.; 2002. Radial patterns of sap flow in woody stems of dominant and understory species: scaling errors associated with positioning of sensors. *Tree Physiol.*, 22, 907–918.

- JOHNSEN K., SAMUELSON L., TESKEY R., MCNULTY S., FOX T., 2001. Process models as tools in forestry research and management. *For. Science*, 47(1), 2-8.
- KORZUKHIN M.D., TERMIKAEIAN M.T., WAGNER R.G., 1996. Process versus empirical models: which approach for forest ecosystem management. *Can. J. For. Res.*, 26(5), 879-887.
- LEGATES, D. R. AND MCCABE JR., G. J.; 1999. Evaluating the use of “goodness-of-fit” measures in hydrologic and hydroclimatic model validation, *Water Resour. Res.*, 35(1), 233–241.
- PORPORATO, A., AND RODRIGUEZ-ITURBE, I.; 2002. Ecohydrology, a challenging multidisciplinary research perspective. *Hydrol. Sciences-Journal des Sciences Hydrologiques* 47, no. 5 (October): 12.
- PUIGDEFABREGAS, J.; MENDIZABAL, T.; 1998. Perspectives on desertification: Western Mediterranean. *J. Arid Environ.*, 39, 209–224.
- RODRIGUEZ-ITURBE, I., PORPORATO, A., LAIO, F., AND RIDOLFI, L.; 2001. Plants in water-controlled ecosystems: Active role in hydrologic processes and response to water stress- I. Scope and general outline, *Adv. Water Resour.*, 24, 695–705.
- RUNNING, S.W; COUGHLAN, J.C; 1988. A general model of forest ecosystem processes for regional applications I. Hydrologic balance, canopy gas exchange and primary production processes. *Ecol. Modelling*, 42, 125-154.
- SKOVSGAARD, J.P.; VANCLAY, J.K.; 2008. Forest site productivity: a review of the evolution of dendrometric concepts for even-aged stands. *Forestry*, 81(1), 12-31.
- STAGE, A.; 2003. How forest models are connected to reality: evaluation criteria for their use in decision support. *Can. J. For. Res.*, 33(3), 410-421.
- STAUDT, K.; SIEBICKE, L.; SERAFIMOVICH, A.; SIEBICKE, L.; PYLES, R. D.; FALGE, E.; 2011. Vertical structure of evapotranspiration at a forest site (a case study). *Agric. For. Meteorol.*, 151(6), 709-729.
- WILLMOT, C. J.; 1981. On the validation of models, *Phys. Geogr.*, 2, 184–194.
- WILLMOT, C. J.; 1984. On the evaluation of model performance in physical geography, in: *Spatial Statistics and Models*, edited by: Gaile, G. L. and Willmot, C. J., D. Reidel, Dordrecht, 443–460.