



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural



# *Análisis integral a largo plazo de la gestión forestal de base eco-hidrológica. Acoplamiento de datos de campo, modelos matemáticos de simulación y redes bayesianas*

**A. García-Prats<sup>1</sup>, M. González-Sanchis<sup>1</sup> and A. del Campo<sup>1</sup>**

(1): *Research Institute of Water and Environmental Engineering (IIAMA). Universitat Politècnica de València (UPV). Spain.*

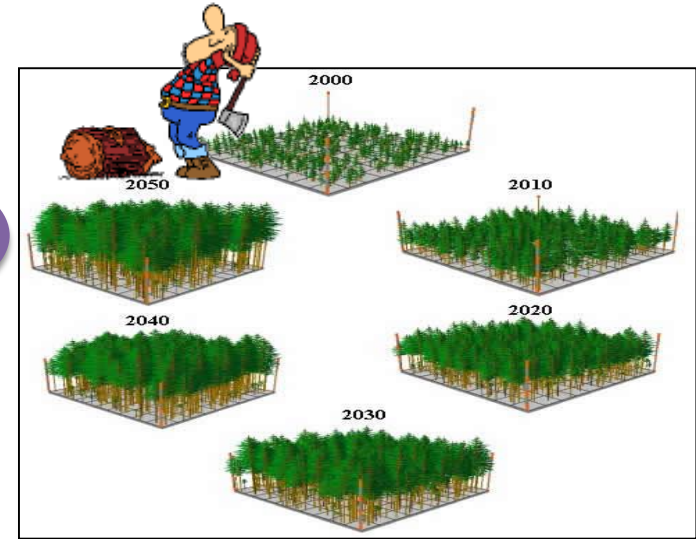
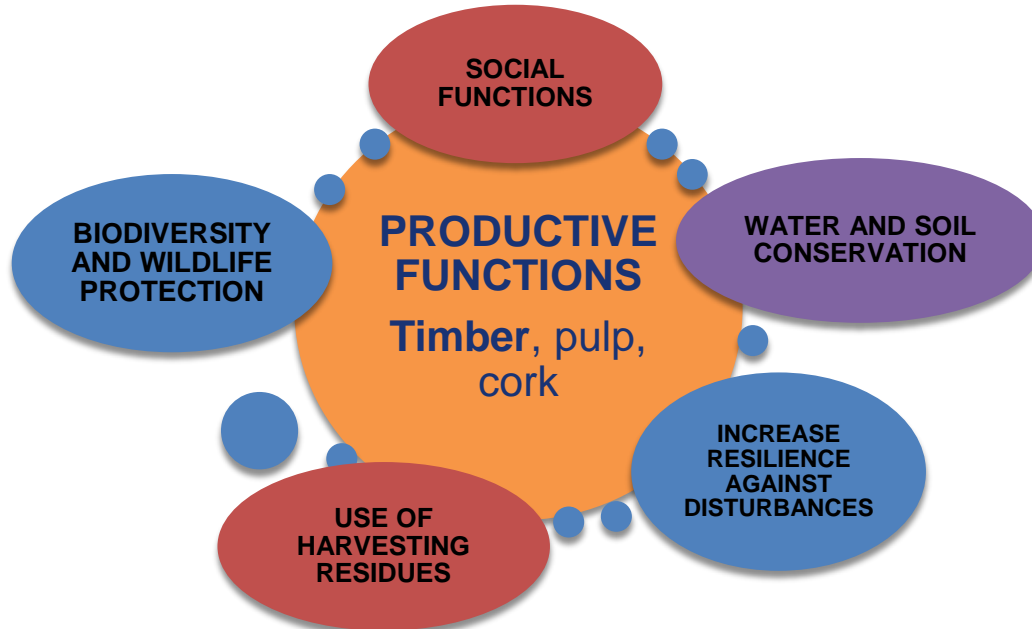


TEC MINE  
ResilientForests



ESPACIOS  
FORESTALES  
DE LA  
COMUNITAT  
VALENCIANA

- ❑ **Forest management** is grounded on the sustainable use of natural resources, *usually timber-oriented*. Designed to maximize and sustain the yields of timber. Other goods and services may be considered, protected and cared for, but always in the background.



## □ Semi-arid climate forest characteristics



- Low productivity
- Low quality of wood products
- Lack of economic interest

Management costs > timber/biomass value

- No interest from companies
- No rural population who exploited wood in the past.
- No intervention = abandonment



**Rural activities abandonment → forest encroachment and densification →  
consequences on hydrological processes** (Honda & Durigan, 2016. DOI: 10.1098/rstb.2015.0313)

- Its demonstrated that in semi-arid areas (Mediterranean areas) **water cycle is controlled by the canopy cover.**
- Intermediate canopy cover **maximizes groundwater recharge** with a little increase of runoff.



Istedt et al., 2016: Nature. *Scientific Reports* **6**,  
Article number: 21930 (2016), DOI: 10.1038/srep21930.

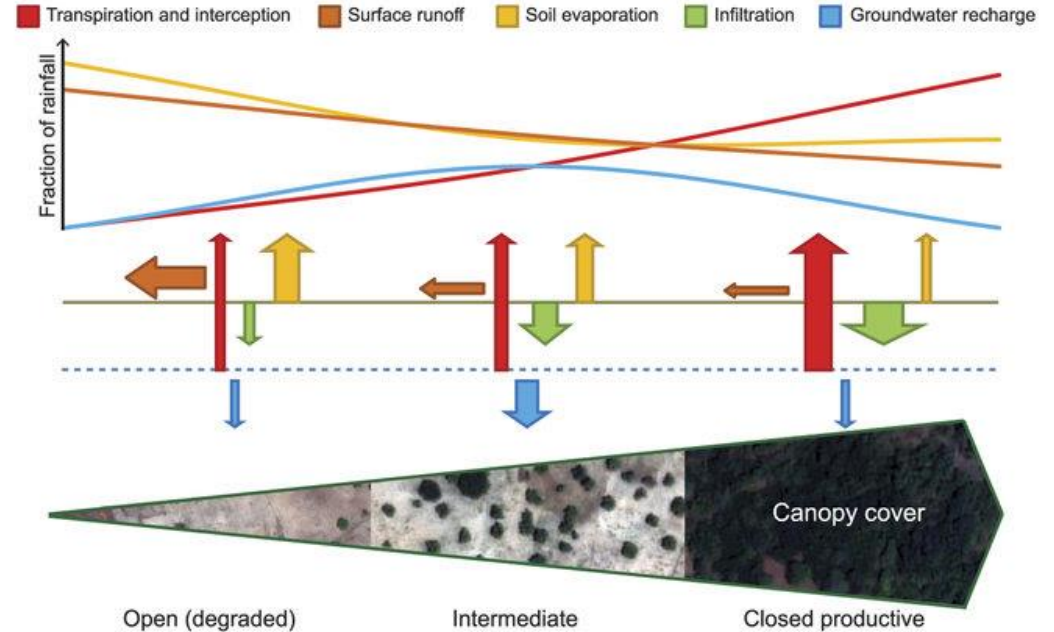


Figure 1: Conceptual water budget of the *optimum tree cover theory*.



## HYDROCLIMATE

# Plants turn on the tap

Plant transpiration is the largest continental water flux. Research now shows that climate and water availability projections are highly sensitive to the ways that plant responses to changing atmospheric conditions are represented.

Scott Jasechko

**P**lant transpiration vaporizes about half of the rain and snow that falls on land, moving more water than all of the world's rivers combined<sup>1,2</sup>. As plants exhale so much water in this way, simulating transpiration is critical for projecting the impacts of climate change. Writing in *Nature Climate Change*, Lian and colleagues<sup>3</sup> demonstrate the importance of transpiration in general circulation models. Their research

shows that biosphere responses to changing atmospheric conditions are more important for climate and water availability projections than previously thought.

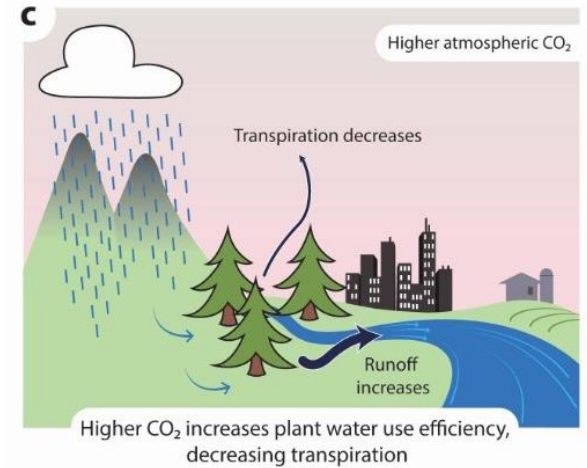
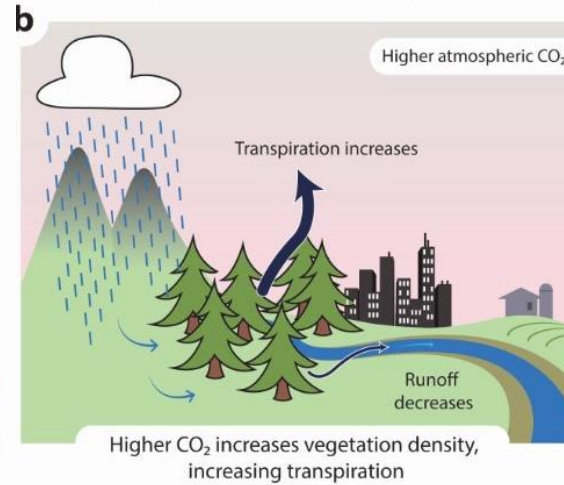
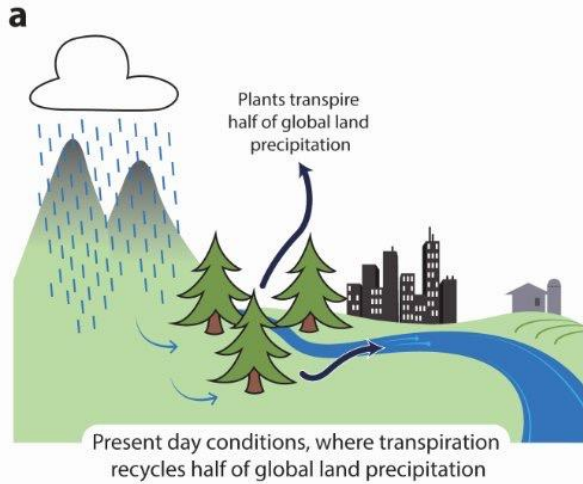
Climate change can affect transpiration by altering solar irradiance, wind patterns, surface temperatures, humidity levels, plant species compositions and the distribution of precipitation. Rising atmospheric CO<sub>2</sub> concentrations can also affect transpiration

in more direct ways. Transpiration rates may increase where high CO<sub>2</sub> levels fertilize and boost biomass density<sup>4</sup>. This ongoing<sup>5</sup> 'global greening' trend yields more plant biomass and plausibly more transpiration (Fig. 1b). Alternatively, plant transpiration rates may decline as plants transpire less water in exchange for each molecule of CO<sub>2</sub> they take up<sup>6,7</sup>, reducing plant water demands as atmospheric CO<sub>2</sub> supplies increase (Fig. 1c).

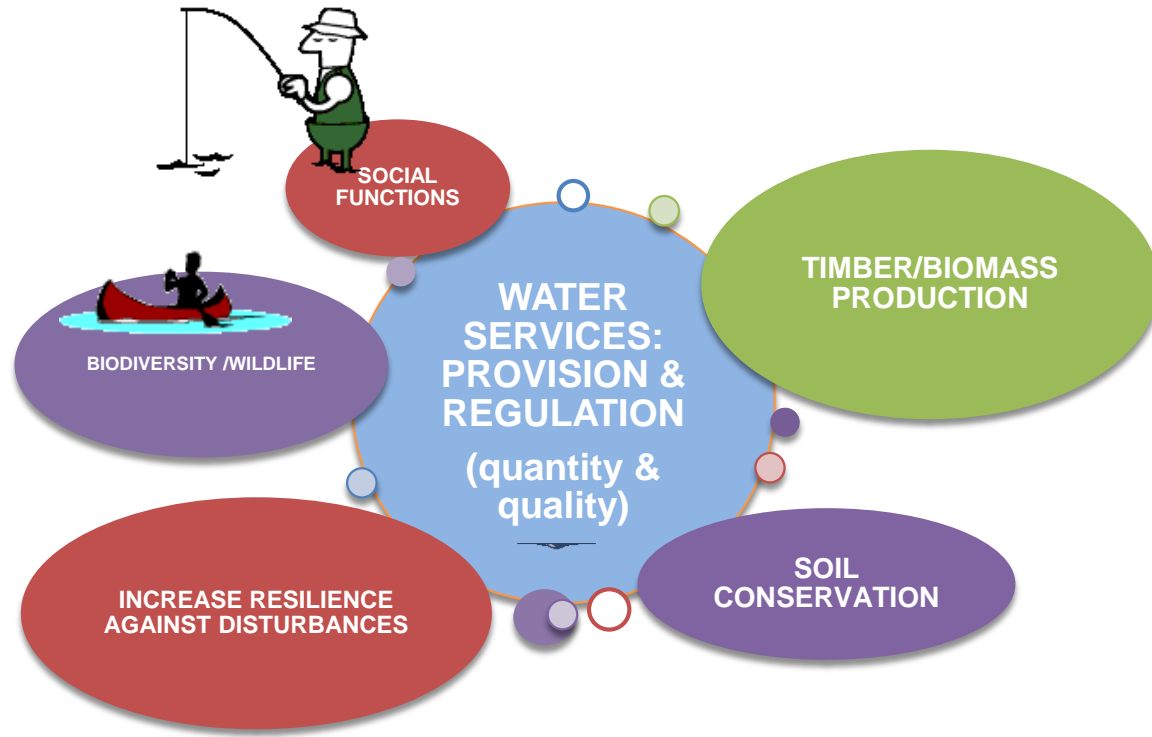
562

NATURE CLIMATE CHANGE | VOL 8 | JULY 2018 | 560-563 | [www.nature.com/natureclimatechange](http://www.nature.com/natureclimatechange)

© 2018 Macmillan Publishers Limited, part of Springer Nature. All rights reserved.



- ❑ **New Scope: Moving from timber-oriented to**
- ❑ **Hydrology-oriented Forest management:** manipulation and quantification of the water cycle in forests according to specific objectives.
  - Water-centered view
  - Timber/Biomass remains important
  - Other goods and services are considered and cared for.

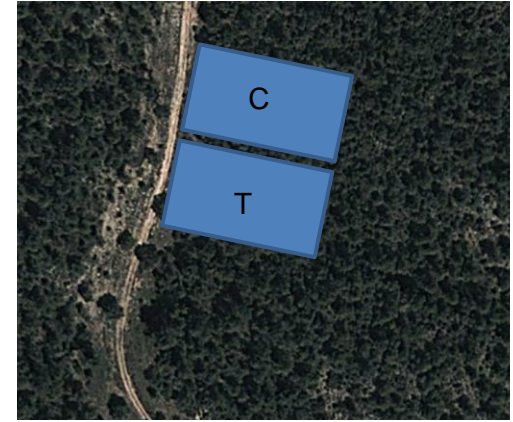


- Otros hablan de **Gestión Forestal Adaptativa**
- Fitzgerald et al. (2013) herramienta para **reducir las vulnerabilidades de los bosques** relacionadas con el clima: **aumentando la resiliencia frente a la sequía, manteniendo la productividad del sitio, reduciendo el riesgo de incendios forestales, mejorando el contenido de agua del suelo y aumentando el ratio agua azul/agua verde.**
- Villà-Cabrera et al. (2018) propone un marco basado en **5 estrategias diferentes**: i) reducción de la densidad de rodales, ii) manejo del sotobosque, iii) promoción de bosques mixtos, iv) cambio de especies, y v) promoción de la heterogeneidad espacial a escala territorial.
- Tras revisar más de **doscientos casos de estudio** basados en estas estrategias de manejo forestal para la adaptación publicados en **revistas científicas hasta 2015**, indicaron que en todos ellos la validez de cada estrategia para mejorar la capacidad de adaptación a corto plazo quedó demostrada, pero al mismo tiempo señalaron que en casi ninguno se abordaban otros posibles **efectos indirectos** que podrían **reducir el beneficio ecosistémico** de la estrategia de gestión, ni tampoco los efectos a largo plazo.



- **Desarrollar un DSS**
- Basado en un **análisis integral de la gestión forestal de base hidrológica** y evaluar los posibles efectos indirectos producidos en un ecosistema forestal mediterráneo real.
- Se incluye el **ciclo del agua, los ciclos del carbono y nitrógeno** del suelo, la **productividad del sitio** así como el **riesgo de incendio** forestal en un marco de modelización en busca de relaciones ocultas o asociaciones entre factores.
- Los datos de campo de las parcelas experimentales del tratamiento y los efectos en suelo, agua, planta y nutrientes fueron empleados para **calibrar y validar el modelo** Biome-BGCMuSo (Hidy et al., 2016).
- Para **generar suficiente variabilidad**, el modelo calibrado y validado se utilizó para simular otros muchos escenarios con condiciones diferentes a las medidas en las parcelas experimentales.
- Los resultados de todos los escenarios simulados se emplearon para construir una **red bayesiana** (RB) en una cadena de modelos vinculados (Couture et al., 2018).

- Sitio experimental:
  - Monte Público “La Hunde”, Valencia Region, Spain.
  - 39°04'-N, 1°14'-W, 1080-1100 m asl.
  - Mean Annual Rainfall = 466 mm
  - Mean Annual Temperature = 13.7 °C.
  - Eto (Penman-Monteith) = 1200 mm
  - Suelos textura franca, profundidad 10-50 cm, pendiente 31%.
  - Orientación parcelas NO
- Diseño experimental:
  - Monte bajo de encina con alta densidad de pies, con aprovechamiento de leñas abandonado hace unos 50 años
  - Dos parcelas rectangulares (Control y Tratamiento) de 1800 m<sup>2</sup> cada una.
  - Cada parcela se divide en 3 bloques o repeticiones de similar tamaño (diseño no aleatorio)
  - En mayo de 2012 se realizó una tratamiento selvícola:
    - Resalveo y limpieza
    - Apertura de la masa, favorecimiento pies dominantes de Quercus



- Inventario antes y después del tratamiento.

Tabla 1. Estructura de la masa.

	DB (cm)	DAP (cm)	AB (m <sup>2</sup> ·ha <sup>-1</sup> )	DP (pies· ha <sup>-1</sup> )	CC (%)	LAI (m <sup>2</sup> ·m <sup>-2</sup> )
PC	11.87	8.62	8.3	1020	62.7	1.1
PT	18.09	14.18	5.22	317	39.3	0.6

DB: Diámetro basal. DAP: Diámetro a la altura del pecho. AB: Área Basimétrica. DP: Densidad de pies. CC: Cobertura. LAI: Índice de Área Foliar.

- Fotos





# Field Measurements. Water Cycle

## Precipitation and Throughfall



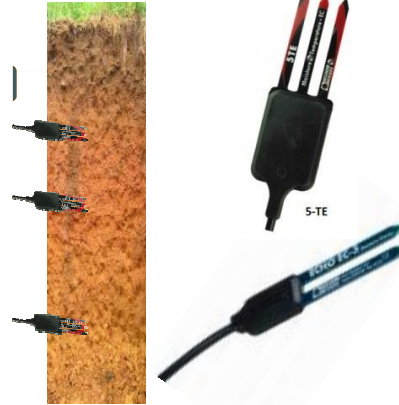
Gutters and tipping-bucket

## Stemflow



Stem collar and tipping-bucket

## Soil moisture



FDR probes (capacitive)

## Weather



Met. station

## Transpiration



Sap flow technique

## Run-off

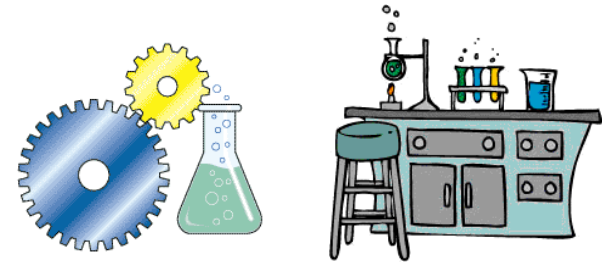


**DETALLES EN  
PRESENTACIÓN  
ANTONIO DEL CAMPO**

Trenches and  
water counters

- La mineralización de N se midió usando cilindros de resina. Las tasas de mineralización se determinaron comparando las concentraciones en los cilindros de resina después de una incubación en campo de dos meses, con muestras iniciales de suelo.
- La respiración del suelo se midió mensualmente utilizando un analizador de gas.
- Finalmente, la biomasa aérea se obtuvo por medio de modelos alométricos basados en las características del rodal descritas previamente en la Tabla 1.
- Las muestras de madera se enviaron al laboratorio iónico para la prueba del contenido de carbono.

• **DETALLES EN PRESENTACIÓN ANTONIO LIDÓN**





Existe una amplia variedad de **índices meteorológicos y de sequía** que se usan como índices de riesgo de incendios forestales.

Por ejemplo KBDI integrado en Canadian Forest Fire Danger Rating System, United States National Fire Danger Rating System, Bureau of Meteorology of Australia.

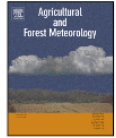
Agricultural and Forest Meteorology 205 (2015) 40–50



Contents lists available at [ScienceDirect](#)

## Agricultural and Forest Meteorology

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/agrformet](http://www.elsevier.com/locate/agrformet)



Development of a Keetch and Byram–Based drought index sensitive to forest management in Mediterranean conditions



A. Garcia-Prats<sup>a,\*</sup>, Del Campo Antonio<sup>a</sup>, Tarcísio Fernandes J.G.<sup>a,b</sup>, Antonio Molina J.<sup>c</sup>

<sup>a</sup> Department of Hydraulic Engineering and Environment – Research Group in Forest Science and Technology (Re-ForeST), Universitat Politècnica de València, Camí de Vera s/n., 46022 Valencia, Spain

<sup>b</sup> Centre of Biological Sciences and Nature, Federal University of Acre, Rio Branco, Acre, Brazil

<sup>c</sup> Research and Technology Food and Agriculture (IRIA), Torre Marimón, 08140 Caldes de Montbui, Spain

### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 22 July 2014

Received in revised form 12 February 2015

Accepted 14 February 2015

Available online 21 February 2015

#### Keywords:

Keetch–Byram drought index

KBDI

Wildfires

Drought

Forest management

Hydrology-oriented silviculture

### ABSTRACT

The present work aims to take a closer look at the behavior of two releases of the Keetch–Byram drought index (KBDI) under different forest management strategies in Mediterranean conditions. Since these versions of the index were demonstrated to be insensitive to the changes in water balance caused by different thinning treatments, a new KBDI-based index sensitive to silviculture operations was developed. This new approach enabled us to simulate the benefits achieved from a thinning operation in terms of forest fire risk reduction. Abatements of 22.5% and 26.4% in KBDI were obtained for the 2009 and 2010 high-risk forest fire periods, respectively, due to thinning. The reductions observed in the short-term did not disappear in a long term. A plot thinned 10 years ago showed KBDI reductions of 12.5% and 6.7% with respect to a non-managed plot (control treatment) in the same period. Finally, in order to make possible application of the new index to other stands, coefficients of the index were based on well-known and easy to get tree-related and physiological variables.

© 2015 Elsevier B.V. All rights reserved.

- Los **datos experimentales** solo cubren un período de **dos años**.
- Este período permite calibrar y validar el modelo antes descrito, pero es totalmente **insuficiente para construir un modelo RB** directamente a partir de datos.
- Además de que **solo incluiría las condiciones de las parcelas experimentales**.
- Con el fin de **generar suficiente variabilidad**, se generó una secuencia de simulaciones de 50 años de duración cada una, en condiciones distintas de las obtenidas en las parcelas experimentales.
- Así, se simularon:
  - 4 tipos de suelos (cada uno perteneciente a un grupo de comportamiento hidrológico frente a la infiltración descrito por el SCS en el método del número de la curva: A, B, C y D)
  - 4 orientaciones (NE, NO, SE, SO),
  - 6 grados de cobertura (la cobertura original y 5 intensidades de tratamiento).
- El número final de escenarios simulados fue de  $4 \times 4 \times 5 = 80$  para la PT y  $4 \times 4 \times 1 = 16$  para la PC. Como cada simulación se extendió 50 años, el número total de años simulados fue de  $96 \times 50 = 4800$

Table2. USDA-NRCS Hydrologic Soil Group, Aspect and Canopy Cover simulated combinations.

EXPERIMENTAL PLOT	USDA-NRCS HYDROLOGIC SOIL GROUP	ASPECT	CANOPY COVER (%)
Control plot	A	NE	
	B*	NW**	Original CC
	C	SE	63%
	D	SW	
Thinning treatment plot	A	NE	25% out 63% removed
	B*	NW**	35% out 63% removed
	C	SE	45% out 63% removed
	D	SW	55% out 63% removed
			65% out 63% removed

\*Experimental plot soil group; \*\*Experimental plot aspect



## Welcome to the website of the Biome-BGCMuSo model!

Biome-BGCMuSo is a biogeochemical model that simulates the storage and flux of water, carbon, and nitrogen between the ecosystem and the atmosphere, and within the components of the terrestrial ecosystem. Biome-BGCMuSo was developed from the widely used Biome-BGC model that was created by the [Numerical Terradynamic Simulation Group \(NTSG\), University of Montana](#). This website provides a brief introduction to the model highlighting the main differences between the original Biome-BGC and Biome-BGCMuSo. Biome-BGCMuSo source code and model executable are available at this website with documentation.

Las RB solo funcionan con variables discretas.

Las variables continuas se discretizan en 5 estados con un **método jerárquico** basado en técnicas de análisis cluster.

ORDEN	SOIL	ASPECT	C_T	Water year	Rainfall	lt_mm	Stemflow	Tr	Runoff	Deep_perc	Evap	ET	GPP	LAI_a	Soile...	VegC...	SoilminN...	SoilC...	Mir
1	B	NE	control	1	424.9000012	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
2	B	NE	control	2	342.000001	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
3	B	NE	control	3	336.1999996	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
4	B	NE	control	4	311.5999993	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
5	B	NE	control	5	347.2000021	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
6	B	NE	control	6	405.0000026	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
7	B	NE	control	7	423.5999996	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
8	B	NE	control	8	318.3999999	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
9	B	NE	control	9	384.9999984	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
10	B	NE	control	10	478.7999946	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
11	B	NE	control	11	441.3000003	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
12	B	NE	control	12	389.1000004	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
13	B	NE	control	13	398.4999998	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
14	B	NE	control	14	396.2999985	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
15	B	NE	control	15	416.4999988	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
16	B	NE	control	16	454.3000009	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
17	B	NE	control	17	371.1999993	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
18	B	NE	control	18	352.6999995	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
19	B	NE	control	19	404.8000001	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
20	B	NE	control	20	440.4999974	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
21	B	NE	control	21	317.7000018	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
22	B	NE	control	22	408.3999977	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
23	B	NE	control	23	488.0000031	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
24	B	NE	control	24	324.3000006	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
25	B	NE	control	25	446.6000019	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
26	B	NE	control	26	349.0000017	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
27	B	NE	control	27	454.8999999	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
28	B	NE	control	28	316.5000014	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
29	B	NE	control	29	448.2999974	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
30	B	NE	control	30	392.8999983	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
31	B	NE	control	31	514.0999969	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
32	B	NE	control	32	337.3000005	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
33	B	NE	control	33	375.1999998	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
34	B	NE	control	34	328.6999981	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
35	B	NE	control	35	484.5000016	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
36	B	NE	control	36	466.9000015	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
37	B	NE	control	37	332.1000004	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
38	B	NE	control	38	291.7000008	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
39	B	NE	control	39	308.6000008	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
40	B	NE	control	40	360.0000007	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
41	B	NE	control	41	354.5000008	s3_97_127	s3_10_18	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
42	B	NE	control	42	388.5000002	s4_127_156	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s2_48_143	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s4
43	B	NE	control	43	458.7000008	s5_156_up	s4_18_25	s3_62_154	s1_below_14	s3_143_233	s1_below_62	s3_192_310	s3_0_1	s3_1_2	s3_0_0	s3_0_0	s2_0_0	s3_2_3	s3

Discretize - Rainfall

Method: Hierarchical


Bin count: 5

Prefix: s

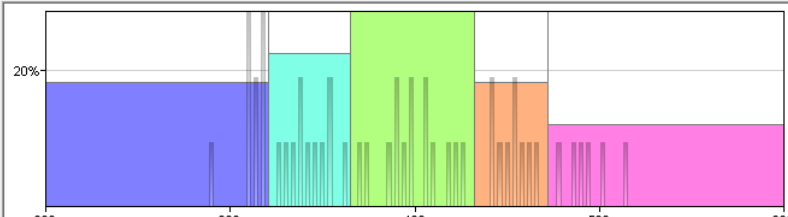
Append boundary suffix

Discretize

State ID	From	To	Count
s1_below_321	321.35	365.6	864
s2_321_365	321.35	365.6	1056
s3_365_432	365.6	432.7	1344
s4_432_472	432.7	472.85	864
s5_472_up	472.85		576



Drag boundaries to adjust intervals or edit them directly in the grid above



Bin count for original distribution: 100

OK Cancel



Sea  $\{A_1, A_2, \dots, A_i, \dots, A_n\}$  un conjunto de sucesos mutuamente excluyentes y exhaustivos, y tales que la probabilidad de cada uno de ellos es distinta de cero (0). Sea  $B$  un suceso cualquiera del que se conocen las probabilidades condicionales  $P(B|A_i)$ . Entonces, la probabilidad  $P(A_i|B)$  viene dada por la expresión:

$$P(A_i|B) = \frac{P(B|A_i)P(A_i)}{P(B)}$$

donde:

- $P(A_i)$  son las probabilidades a priori,
- $P(B|A_i)$  es la probabilidad de  $B$  en la hipótesis  $A_i$ ,
- $P(A_i|B)$  son las probabilidades a posteriori.

Tabla 2. Variables incluidas en la RB y sus estados.

Variable	Variable	Estados	Unidades
1	Grupo hidrológica de suelo (GHS)	A,B,C,D	-
2	Precipitación	<321;321-366;366-433;433-473;>473	mm·año <sup>-1</sup>
3	Orientación	NE, NW; SE; SW	-
4	Cobertura del dasel-Tratamiento (CCT)	Control; Tratamientos 25, 35, 45	-
5	Transpiración	<24;24-63;63-155;155-237;>237	mm·año <sup>-1</sup>
6	Intercepción	<32;32-97;97-127;127-156;>156	mm·año <sup>-1</sup>
7	HVS	<0,21;0,21-0,48;0,48-0,64;0,64-0,86;>0,86	-
8	Evapotranspiración	<125;125-193;193-310;310-377;>377	mm·año <sup>-1</sup>
9	LAI	<0,22;0,22-1,46;1,46-2,25;2,25-3,13;>3,13	m <sup>2</sup> m <sup>-2</sup>
10	Productividad primaria(GPP)	<0,17,0,7-0,77;0,77-1,34;1,34-1,80;>1,80	kgC m <sup>-2</sup> ·año <sup>-1</sup>
11	KBDI	<167;167-330;330-488;488-629;629-715;>715	Centésimas de pulgada
12	Temperatura mínima del suelo	<1,15;1,15-2,68;2,68-3,88;3,88-4,89;>4,89	!C
13	Lixiviado de N	<0,02;0,02-0,05;0,05-0,09;0,09-0,15;>0,15	kgN·ha <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>
14	Esorrentía	<15;15-25;25-39;39-72;>72	mm·año <sup>-1</sup>
15	Carbono orgánico del suelo	<1,91;1,91-2,54;2,54-3,21;3,21-3,63;>3,63	kgC·m <sup>-2</sup>
16	Evaporación del suelo	<62;62-76;76-96;96-108;>108	mm·año <sup>-1</sup>
17	Mineralización Nsuelo	<1,95;1,95-5,61;5,61-7,53;7,53-10,22;>10,22	kgN·ha <sup>-1</sup> ·año <sup>-1</sup>
18	Respiración del suelo	<0,19;0,19-0,56;0,56-0,75;0,75-1,02;>1,02	kgC m <sup>-2</sup> ·año <sup>-1</sup>
19	Esorrentía cortical	<6;6-11;11-19;19-26;>26	mm·año <sup>-1</sup>
20	Carbono en la vegetación	<0,02;0,02-0,15;0,15-0,23;0,23-0,33;>0,33	kgC·m <sup>-2</sup>
21	Percolación profunda	<48;48-143;143-234;234-396;>396	mm·año <sup>-1</sup>

## Análisis de sensibilidad.

Quién influye en quién.!!

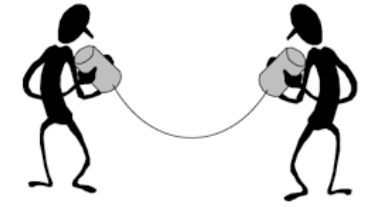
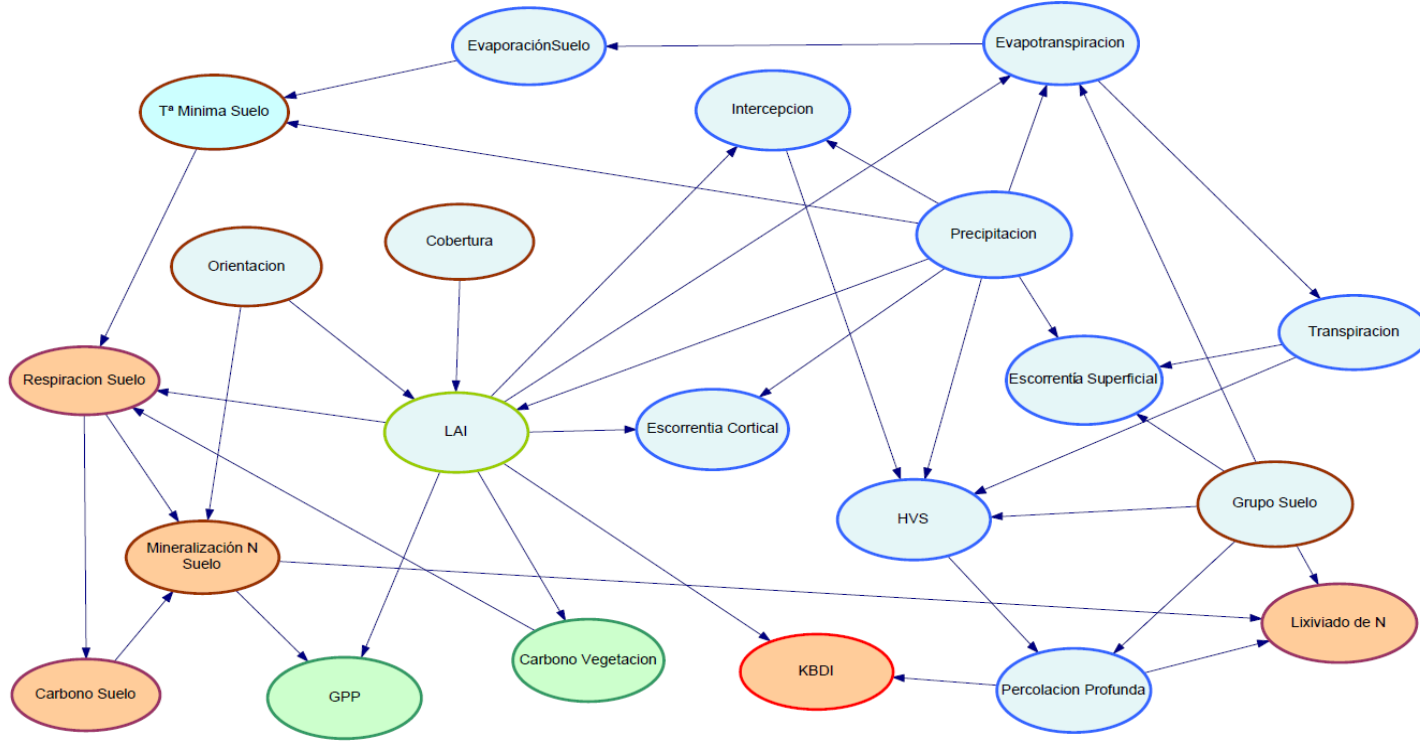


Tabla 3. Sensibilidad de las variables. El número indica la variable definida en la Tabla 2. La tabla se interpreta como: columnas = “variable influida por”, filas = “la variable influye en”. Por ejemplo, la variable fila 1 (Grupo hidrológico de suelo) condiciona el comportamiento de la variable 5, 7, 8, 11, 13, 14, 16 y 21. La sensibilidad se cuantifica en una escala Alta \*\*\*, Media \*\*, Baja\* y nula.

	5	6	7	8	9	10	11	13	14	15	16	17	18	19	20	21
1	**		***	***			**	**	***		**					***
2	***	***	***	***	***	***	*	*	***	**	**	*	***	***	***	**
3	**	**	*	**	***	***	*	*	*	**	*	*	***	*	***	*
4	**	**	*	***	***	***	*	*	*	***	*	*	***	**	***	*
5			*				*	*	**							*
6			*				*	*								*
7							*	*								*
8	*		*				*	*	*		*					*
9	*	*	*	*		*	*	*	*	*	*	*	*	*	*	*
10																
11						*										
12										*			*			
13																
14																
15						*		*								
16						*						***				
17						*		*								
18						*		*		**		**				
19																
20						*		*		**		**	***			
21							*	**								

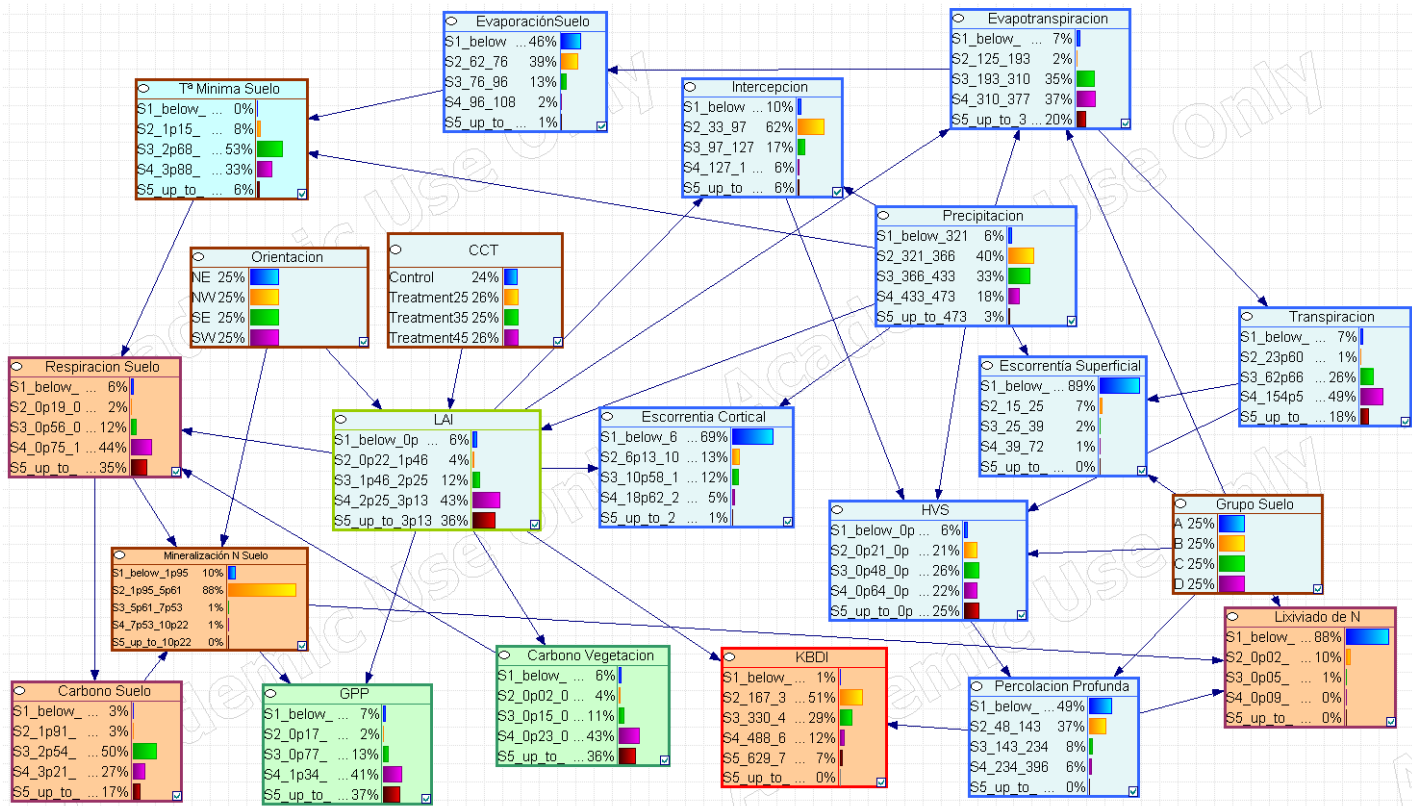
- Una **red bayesiana (RB)** es un modelo estadístico gráfico con **dos componentes**:
  - a) Un **componente cualitativo** o **diagrama de causa-efecto** definido mediante un gráfico acíclico dirigido (GAD). En este gráfico, cada nodo representa una variable en el modelo, y cada arco representa la **dependencia estadística entre las variables**.
  - b) Un **componente cuantitativo** definido por las **tablas de probabilidad condicional** (TPC), una por nodo que cuantifica la **intensidad de la dependencia** del nodo.
  - En la construcción del gráfico es indispensable que las variables sean discretas. Las variables continuas se discretizaron en 5 estados usando para ello un procedimiento jerárquico basado en técnicas de clustering. La tabla 2 resume las variables incluidas en la construcción de la RB.

Todos los pasos de la construcción y explotación de RB se desarrollaron con el software GeNIe Modeler v.2.2, disponible de forma gratuita para uso de investigación académica de BayesFusion, LLC, bajo licencia de la Universidad de Pittsburgh.

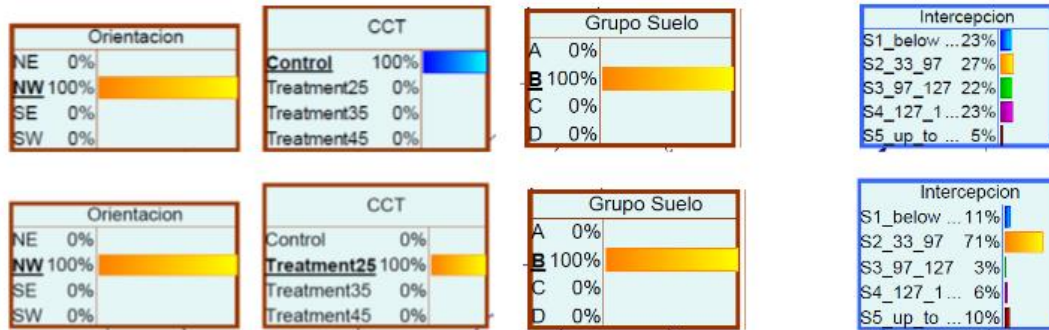


**La dependencia se debe sustentar en los datos!!**





- Análisis de escenarios mediante la RB construida.
- Estos escenarios se analizan  **fijando evidencias**, esto es,  **fijar una variable en un estado concreto con una certidumbre del 100%** para ver cómo esta probabilidad se propaga por el resto de la red y afecta al resto de variables de interés.
- Ejemplo que le ocurre a la variable intercepción cuando las variables sobre las que no tenemos posibilidad de actuación (orientación y tipo de suelo) se fijan en los estados que se encontraron en las parcelas experimentales y el tratamiento se cambia de estado Control a Tratamiento 25 (eliminar el 25% de la cobertura de la parcela que se usa como control).



- La gestión forestal de base hidrológica es una herramienta válida para responder a la necesidad de adaptación en aquellas áreas donde el agua es el factor más limitante. En esas áreas, la gestión adaptativa podría centrarse en las relaciones bosque-agua.
- Los resultados tanto experimentales como de modelos deben analizarse utilizando herramientas capaces de hacer frente a las **relaciones complejas** entre las variables involucradas y un **alto grado de incertidumbre**. Las Redes Bayesianas demuestran ser una herramienta eficaz en este ámbito.
- Los resultados específicos ofrecidos por la RB construida mostraron que **el manejo de base hidrológica fue muy positivo** en la medida en que se proporcionó **más agua a la masa** debido a una **reducción importante de la intercepción**.
- Este recurso se puso a disposición de la planta, lo que aumentó tanto la Evapotranspiración como sus componentes (Transpiración y Evaporación de Suelo). T
- También se **incrementó el contenido de agua del suelo y muy ligeramente la percolación profunda**. Por el contrario se redujo drásticamente la escorrentía cortical como consecuencia de la reducción tanto del número de árboles por hectárea como de la intercepción.
- Finalmente, **no se observó ningún efecto sobre la escorrentía**.

- En lo que respecta al nitrógeno, la **mineralización a partir de materia orgánica se mantuvo inalterado** y la pérdida de N por lixiviación aumentó de forma prácticamente imperceptible ya que se asocia con la percolación profunda.
- El contenido de **carbono orgánico del suelo también se incrementó**, lo que a su vez causó una mayor respiración. El efecto a largo plazo del tratamiento en el LAI fue muy positivo.
- Sin duda, esto se debió al **mayor vigor generado por la mayor disponibilidad de agua y la reducción de la competencia entre los árboles**. Esta mayor actividad resultó en un **aumento en GPP y carbono en la vegetación**, y por lo tanto, es de esperar un mayor secuestro de carbono.
- Vale la pena enfatizar que esta **cantidad extra de agua y nutrientes fue tomada por la planta y no implicó ninguna pérdida de nutrientes del sistema**. El riesgo de incendio también se redujo por efecto del tratamiento. Las intensidades de tratamiento con **reducciones de cobertura superiores al 25% no aportaron mejores resultados**.



Contents lists available at ScienceDirect

## Science of the Total Environment

journal homepage: [www.elsevier.com/locate/scitotenv](http://www.elsevier.com/locate/scitotenv)



# Conclusions

## Hydrology-oriented forest management trade-offs. A modeling framework coupling field data, simulation results and Bayesian Networks



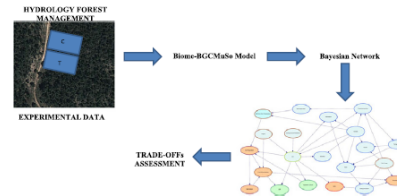
Alberto Garcia-Prats \*, María González-Sanchis, Antonio D. Del Campo, Cristina Lull

Research Institute of Water and Environmental Engineering (IIAMA), Universitat Politècnica de València, Camino de Vera s/n. 46022, Valencia, Spain

### HIGHLIGHTS

- We coupled field data, simulation results and BNs in a modeling framework.
- Trade-offs of hydrology-oriented forest management were assessed.
- A greater availability of water and nutrients for the stand was observed.
- This extra water and nutrients were uptaken by the stand without loss of nutrients.

### GRAPHICAL ABSTRACT



### ARTICLE INFO

#### Article history:

Received 25 January 2018

Received in revised form 12 April 2018

Accepted 10 May 2018

Available online 26 May 2018

Editor: José Virgilio Cruz

### ABSTRACT

Hydrology-oriented forest management sets water as key factor of the forest management for adaptation due to water is the most limiting factor in the Mediterranean forest ecosystems. The aim of this study was to apply Bayesian Network modeling to assess potential indirect effects and trade-offs when hydrology-oriented forest management is applied to a real Mediterranean forest ecosystem. Water, carbon and nitrogen cycles, and forest fire risk were included in the modeling framework. Field data from experimental plots were employed to calibrate and validate the mechanistic Biome-BGCMuSo model that simulates the storage and flux of water, carbon, and nitrogen between the ecosystem and the atmosphere. Many other 50 year long conifers with different con-



UNIVERSITAT  
POLITÈCNICA  
DE VALÈNCIA



Instituto de Ingeniería del  
Agua y Medio Ambiente



**Re-ForeST**

research group in forest science and technology



Escuela Técnica Superior  
de Ingeniería Agronómica y del Medio Natural

# Thanks for your attention

**Alberto García-Prats (agprats@upv.es)**

Research Institute of Water and Environmental Engineering (IIAMA).

Universitat Politècnica de València (UPV). Spain.

<https://hydrosil.webs.upv.es>

This work has been funded by the Spanish Ministry of Economy and Competitiveness through the research project “CGL2011-28776-C02-02, HYDROSIL”, CGL2014-58127-C3-2, SILWAMED and CEHYRFO-MED (CGL2017-86839-C3-2-R)



GENERALITAT  
VALENCIANA

Conselleria d'Agricultura,  
Medi Ambient, Canvi Climàtic  
i Desenvolupament Rural



TEC MINE

**ResilientForests**



ESPACIOS  
FORESTALES  
DE LA  
COMUNITAT  
VALENCIANA