

**NOTA TÉCNICA****MODELOS TERRITORIALES DE VARIABLES CLIMÁTICAS EN ESPAÑA: IDENTIFICACIÓN DE ÁREAS Y VARIABLES ROBUSTAS E INCONSISTENTES****Rafael Alonso Ponce<sup>1\*</sup>, Eduardo López Senespleda<sup>2</sup> y Guillermo Madrigal Casanueva<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> Centro de Investigación Forestal de Valonsadero, JCYL. Apdo. correos 175. 42080–SORIA (España). Correo electrónico: rafalopon@yahoo.es

<sup>2</sup> CIFOR-INIA. Crta. A Coruña km 7,5. 28040-MADRID (España)

**Resumen**

En el presente trabajo se comparan dos de los modelos más populares de ámbito estatal y de libre acceso actualmente disponibles, el de Otilio Sánchez Palomares y colaboradores (INIA) y el de Julián Gonzalo (Universidad de Valladolid). Esta comparación tiene como objeto el identificar qué variables climáticas modelizadas son razonablemente coincidentes entre ambos modelos y en qué áreas del territorio dicha coincidencia es mayor, teniendo en cuenta la precisión y exactitud de cada uno de ellos. En general, las variables relativas al régimen térmico son muy estables, con discrepancias entre ambos modelos que raramente superan el 10%. Por el contrario, las variables relativas al régimen hídrico resultan mucho menos robustas, con discrepancias que frecuentemente alcanzan el 25%, sobre todo en áreas montañosas y en zonas de transición entre cuencas hidrográficas. Los resultados presentados en esta comunicación deben ayudar, por un lado, a identificar zonas sensibles en las que un especial cuidado deberá observarse para el uso de dichos modelos climáticos. Y por otro, permitirán comparar de manera más eficiente los resultados de trabajos de diversa índole que se apoyen en datos climáticos extraídos de cada uno de los modelos aquí analizados.

Palabras clave: *Modelos climáticos, Comparación de modelos, Discrepancia media*

**INTRODUCCIÓN**

El uso de variables climáticas es prácticamente indispensable en multitud de facetas de la investigación y la gestión forestales. Desde que a finales del pasado siglo los sistemas de información geográfica permitieron dar el salto de datos puntuales a territoriales, los modelos climáticos han brindado enormes oportunidades al sector forestal al poder emplear variables climáticas en

cualquier punto del territorio, independientemente de la cercanía a una estación meteorológica.

Dos de los modelos de libre acceso más populares entre los forestales españoles son los de SÁNCHEZ PALOMARES *et al.* (1999) y GONZALO (2008; 2011), que han sido empleados en trabajos de muy diversa índole, principalmente en trabajos de modelización de la distribución potencial de especies, tanto actual como en un futuro escenario climático alterado. Sin embar-

	SÁNCHEZ PALOMARES et al. (1999)	GONZALO (2008, 2011)
Nº estaciones	1.563 (P), 1.042 (TP)	4.078 (P), 1.339 (TP)
Datos (periodo)	1940-1989	1951-1999
Resolución	continua	1 km
Variabes	28	48
Método ajuste	Regresión múltiple paso a paso	Interpolación espacial
Validación	Pred.-obs. (toda la muestra)	Submuestra
Regionalización	Sí (cuencas hidrográficas)	No

Tabla 1. Modelos climáticos comparados

go, las distintas propiedades de ambos modelos (método de ajuste, datos de partida, resolución, etc.) (Tabla 1) pueden comprometer la consistencia de la comparación de resultados obtenidos a partir de uno u otro modelo. En especial es destacable el diferente periodo de años de la serie de datos empleada en ambos modelos.

El objetivo de este trabajo es identificar qué parámetros climáticos son más discrepantes entre ambos modelos, localizándolos por zonas, con el fin de resaltar el especial cuidado que deberá observarse a la hora de considerar resultados obtenidos a partir de estos dos modelos climáticos.

## MATERIAL Y MÉTODOS

Se han seleccionado 14 parámetros climáticos para establecer la comparación: 6 relativos al régi-

men térmico, 5 al pluviométrico y 3 al hídrico (Tabla 2), todas ellas de frecuente uso en trabajos de ecología forestal. Se aplicaron los dos modelos a todo el territorio español peninsular, para obtener dichos parámetros con una resolución de 1 km.

La discrepancia relativa ( $d_{\%}$ ) entre ambos modelos respecto a su promedio, en cada celda, se ha calculado a partir de la siguiente expresión:

$$d_{\%} = 100 \cdot \frac{x_{JG} - x_{OSP}}{0.5 \cdot (x_{JG} + x_{OSP})}$$

donde  $x_{JG}$  y  $x_{OSP}$  son los valores de la variable climática según el modelo de GONZALO (2008, 2011) o de SÁNCHEZ PALOMARES et al. (1999), respectivamente. Es decir,  $d_{\%}$  evalúa el porcentaje que representa la diferencia entre ambos modelos con respecto a la media de ambos. Obviamente, valores positivos de  $d_{\%}$  indican que el modelo JG sobreestima respecto al OSP y viceversa. Por otro

<b>Régimen térmico</b>	
TM	Temperatura media anual (°C).
TV	Temperatura media de verano (°C).
TI	Temperatura media de invierno (°C).
MMX	Temperatura media de las máximas del mes más cálido (°C).
MMN	Temperatura media de las mínimas del mes más frío (°C).
ETP	Evapotranspiración anual (mm) (THORNTHWAITE, 1948).
<b>Régimen pluviométrico</b>	
PT	Precipitación total anual (mm)
PI	Precipitación de invierno (mm).
PP	Precipitación de primavera (mm).
PV	Precipitación de verano (mm).
PO	Precipitación de otoño (mm).
<b>Régimen hídrico</b>	
SUP	Superávits (mm) (THORNTHWAITE & MATHER, 1957)
DEF	Déficits (mm) (THORNTHWAITE & MATHER, 1957)
IH	Índice hídrico (%) (THORNTHWAITE & MATHER, 1957)

Tabla 2. Parámetros climáticos empleados

lado, el hecho de que el denominador de la expresión de  $d\%$  pueda recibir valores cercanos a cero (cuando cada modelo prediga valores de la variable  $x$  de signo contrario) va a comprometer la interpretación de los resultados para algunas variables y algunas zonas, como se discutirá más adelante.

Además, dado que el modelo OSP está regionalizado por cuencas y subcuencas hidrográficas, se ha calculado el valor medio de  $d\%$  en valor absoluto y la diferencia, en términos absolutos, entre ambos modelos en cada subcuenca,

con el fin de identificar fácilmente cuáles de ellas presentan mayores discrepancias.

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Los valores de  $d\%$  pueden explorarse gráficamente en la Figura 1. Se muestran, a modo de ejemplo, únicamente los relativos a los parámetros *TM*, *MMN*, *ETP*, *PT*, *DEF* e *IH*. Asimismo, los valores medios de  $d\%$  en valor absoluto, por

Cuenca / Subcuenca	TM	TV	TI	MMX	MMN	ETP	PT	PP	PV	PO	PI	DEF	SUP	IH
<b>Norte</b>														
<i>Oriental</i>	2	2	7	3	63	1	8	11	9	8	10	39	12	15
<i>Centro-occidental</i>	3	3	13	4	72	1	13	15	13	13	13	19	19	24
<b>Duero</b>														
<i>Duero centro-oriental</i>	3	2	21	2	43	1	9	9	5	10	12	5	22	295
<i>Duero occidental</i>	3	2	29	2	88	1	14	17	10	14	17	6	29	302
<b>Tajo</b>														
<i>Oriental</i>	3	2	20	3	99	2	9	10	9	12	13	5	21	181
<i>Tiétar</i>	4	3	13	3	49	3	6	10	10	9	8	5	10	71
<i>Alagón</i>	3	3	5	3	101	2	18	24	12	19	19	6	26	178
<i>Centro-meridional</i>	2	2	7	3	44	2	10	15	11	10	13	4	21	229
<b>Guadiana</b>														
<i>Guadiana</i>	2	1	4	1	87	1	11	13	11	10	14	3	23	200
<b>Guadalquivir</b>														
<i>Cabecera</i>	3	3	8	2	211	2	18	19	14	17	23	7	40	197
<i>Margen derecha</i>	2	2	4	3	37	2	7	10	12	9	9	4	14	278
<i>Margen izquierda</i>	1	1	4	1	44	1	6	11	18	8	7	3	11	102
<i>Sector atlántico</i>	1	2	2	2	6	2	9	15	20	9	9	6	14	142
<b>Sur</b>														
<i>Oriental</i>	3	3	11	3	68	3	16	24	27	16	20	8	62	93
<i>Occidental</i>	2	2	6	5	32	2	9	22	24	10	10	6	15	136
<b>Ebro</b>														
<i>Cabecera</i>	3	3	15	4	151	1	9	10	8	9	13	10	19	108
<i>Aragón</i>	4	4	19	3	161	2	8	8	10	9	9	25	14	49
<i>Margen izquierda</i>	4	3	23	4	99	2	11	12	17	14	22	26	33	106
<i>Margen derecha</i>	2	1	12	2	126	1	8	9	7	10	14	6	29	127
<b>Pirineo</b>														
<i>Oriental</i>	3	2	10	3	90	2	8	10	12	8	14	20	21	166
<b>Levante</b>														
<i>Norte</i>	3	2	12	2	64	1	9	10	9	9	15	7	28	150
<i>Sur</i>	2	1	7	1	66	1	9	10	9	12	15	5	29	159
<b>Segura</b>														
<i>Segura</i>	2	2	5	2	49	2	11	14	13	10	19	6	60	59
<b>TOTAL</b>	<b>3</b>	<b>2</b>	<b>12</b>	<b>2</b>	<b>78</b>	<b>1</b>	<b>10</b>	<b>13</b>	<b>11</b>	<b>11</b>	<b>14</b>	<b>9</b>	<b>25</b>	<b>164</b>

**Tabla 3.** Promedio por cuencas hidrográficas de los valores absolutos de la discrepancia relativa  $d\%$ . Los acrónimos de las variables pueden consultarse en la Tabla 2

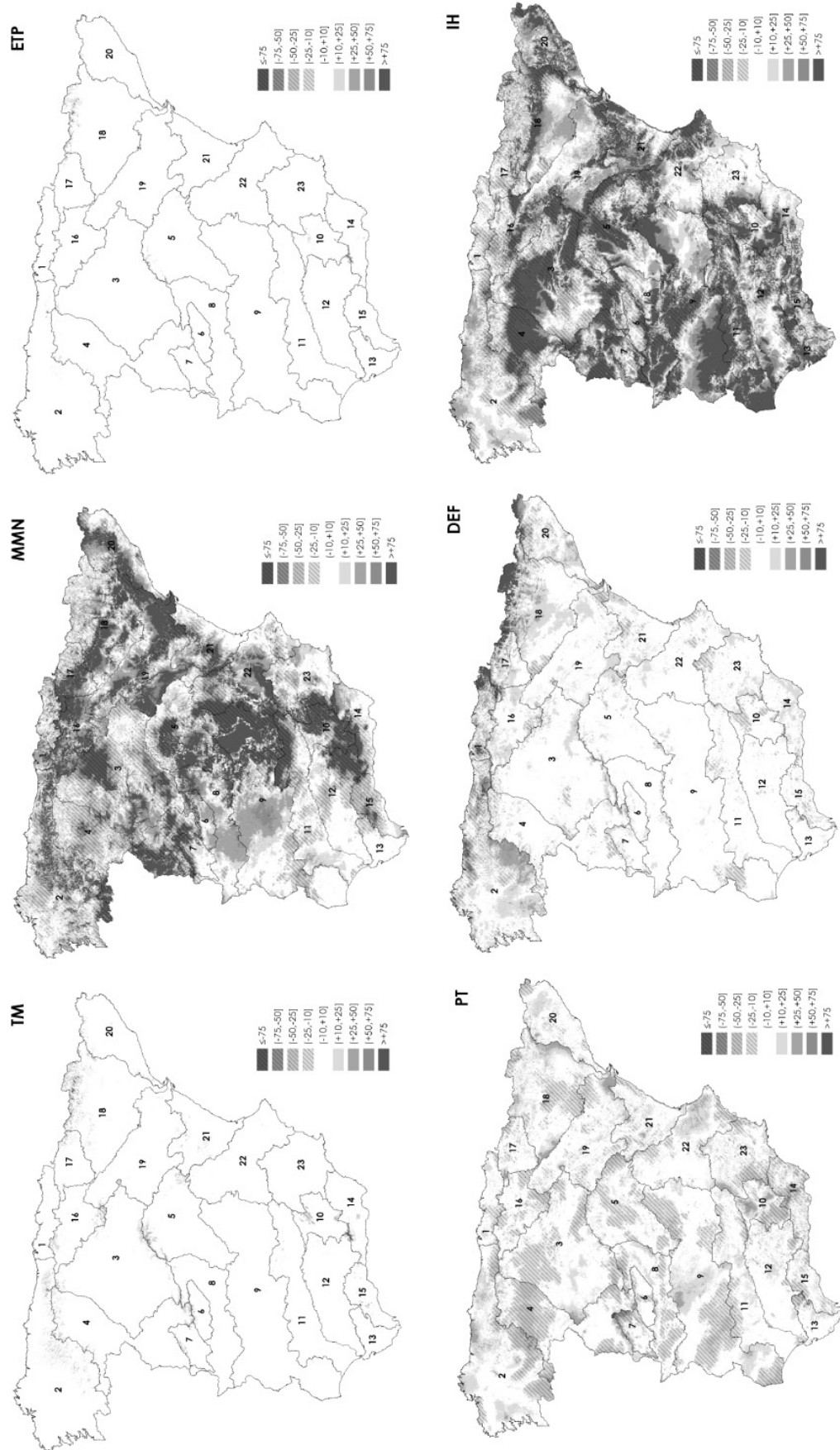
cuenca hidrográfica, se presentan en la Tabla 3, mientras que en la Tabla 4 aparecen los valores medios de las diferencias, en valor absoluto, entre los dos modelos climáticos considerados, por cuencas hidrográficas.

Los parámetros relativos al régimen térmico son, salvo *MMN*, presentan discrepancias relativas muy reducidas, lo que muestra la gran coincidencia entre ambos modelos. Especialmente destacable es *ETP*, con discrepancias relativas cercanas al 1%. Las áreas con discrepancias ele-

vadas se reducen a las cotas más altas de algunos sistemas montañosos. La excepción la constituye *MMN*, con discrepancias muy fuertes (78% de media) en todo el territorio (especialmente en la cabecera del Guadalquivir y el valle del Ebro), salvo en el sudoeste. Este diferente resultado de *MMN* se deriva probablemente del comportamiento inadecuado del evaluador  $d_{\%}$  cuando el valor promedio de la variable es cercano a cero, lo que implica que pequeñas desviaciones en términos absolutos provoquen fuertes

Cuenca / Subcuenca	TM	TV	TI	MMX	MMN	ETP	PT	PP	PV	PO	PI	DEF	SUP	IH
<b>Norte</b>														
<i>Oriental</i>	0,4	0,6	0,6	1,0	0,9	11	138	46	25	38	52	21	125	21
<i>Centro-occidental</i>	0,4	0,7	0,5	1,1	0,7	12	183	54	21	52	71	29	164	29
<b>Duero</b>														
<i>Duero centro-oriental</i>	0,4	0,5	0,5	0,8	0,5	11	57	17	6	18	22	19	50	10
<i>Duero occidental</i>	0,3	0,6	0,6	0,6	0,5	11	117	37	8	33	48	20	112	19
<b>Tajo</b>														
<i>Oriental</i>	0,4	0,6	0,5	1,0	0,4	15	65	19	8	23	25	19	57	11
<i>Tiétar</i>	0,5	0,8	0,4	1,1	0,6	25	77	27	6	31	35	25	70	11
<i>Alagón</i>	0,5	0,8	0,3	1,4	0,6	24	218	74	8	69	82	26	199	28
<i>Centro-meridional</i>	0,4	0,6	0,4	1,1	0,5	19	74	27	6	20	33	23	65	9
<b>Guadiana</b>														
<i>Guadiana</i>	0,3	0,5	0,4	0,5	0,5	18	67	21	5	16	32	22	57	8
<b>Guadalquivir</b>														
<i>Cabecera</i>	0,6	1,0	0,4	0,9	1,3	25	104	33	7	24	47	35	85	14
<i>Margen derecha</i>	0,5	0,6	0,4	1,0	0,7	24	53	21	5	17	25	28	45	7
<i>Margen izquierda</i>	0,3	0,4	0,3	0,5	0,7	17	42	20	5	14	19	21	33	5
<i>Sector atlántico</i>	0,3	0,5	0,3	0,6	0,4	17	104	42	6	25	45	30	89	12
<b>Sur</b>														
<i>Oriental</i>	0,6	0,8	0,5	1,0	0,9	29	70	28	6	21	30	48	44	9
<i>Occidental</i>	0,5	0,7	0,7	1,7	1,5	25	81	46	7	24	36	35	67	9
<b>Ebro</b>														
<i>Cabecera</i>	0,4	0,6	0,5	1,3	0,6	12	88	28	13	22	35	23	76	14
<i>Aragón</i>	0,5	0,7	0,6	0,9	0,7	16	114	30	24	37	34	28	98	19
<i>Margen izquierda</i>	0,4	0,7	0,5	1,1	0,7	17	87	25	24	29	39	34	75	21
<i>Margen derecha</i>	0,3	0,4	0,6	0,9	0,8	10	48	15	8	16	16	24	33	6
<b>Pirineo</b>														
<i>Oriental</i>	0,4	0,7	0,4	1,0	0,8	17	71	22	22	20	24	33	55	10
<b>Levante</b>														
<i>Norte</i>	0,4	0,6	0,6	0,9	0,6	15	54	16	9	18	20	25	39	7
<i>Sur</i>	0,3	0,4	0,5	0,7	0,6	11	54	16	6	21	23	23	41	7
<b>Segura</b>														
<i>Segura</i>	0,4	0,6	0,4	0,9	0,6	19	52	19	6	14	22	35	33	6
<b>TOTAL</b>	<b>0,4</b>	<b>0,6</b>	<b>0,5</b>	<b>0,9</b>	<b>0,6</b>	<b>16</b>	<b>83</b>	<b>27</b>	<b>10</b>	<b>24</b>	<b>34</b>	<b>26</b>	<b>71</b>	<b>13</b>

Tabla 4. Valores medios de las diferencias, en valor absoluto, entre los dos modelos climáticos considerados, por cuencas hidrográficas. Los acrónimos de las variables pueden consultarse en la Tabla 2



**Figura 1.** Discrepancia relativa (d%) para seis de los parámetros considerados. Los tonos más oscuros indican mayor discrepancia, siendo las zonas con trama rayada aquellas en las que el modelo OSP sobrestima respecto al JG, mientras que las zonas sin trama señalan lo contrario. Las zonas blancas muestran alta congruencia entre ambos modelos. Los números se corresponden con el número de subcuencas hidrográficas del modelo OSP

incrementos de términos relativos. De hecho, en la Tabla 4 puede comprobarse que el orden de magnitud de los valores absolutos de las diferencias entre ambos modelos son muy parecidos a los de las otras variables del régimen térmico.

Los parámetros pluviométricos presentan valores algo mayores, pero aún muestran una razonable congruencia entre ambos modelos (el valor medio de los cinco parámetros pluviométricos es del 11,8%). En general, las mayores discrepancias se producen en algunas transiciones de cuencas, repartidas por todo el territorio.

Los mayores valores de  $d_{\%}$ , que sobrepasan el 150% de media, se dan en *IH*. Aunque los otros dos parámetros hídricos (*DEF* y *SUP*), de los que se deriva aquél, muestran discrepancias bastante reducidas (salvo en el extremo norte), especialmente *DEF*, en muchas zonas estas diferencias se dan en sentidos opuestos, con lo cual se exagera enormemente el error de *IH*. A ello contribuye igualmente, de manera análoga a *MMN*, el hecho de que en amplias zonas del territorio peninsular ambos parámetros se mueven en valores próximos a cero, lo cual provoca, como ya se ha comentado, resultados de  $d_{\%}$  poco o nada interpretables. No parece, pues, un indicador adecuado para evaluar las discrepancias en parámetros que pueden rondar valores nulos en ciertas áreas. De hecho, al igual que en el caso de *MMN*, los valores absolutos de las diferencias entre ambos modelos para *IH* (Tabla 4) no resultan excesivos, siendo de 13 unidades para el conjunto de la España peninsular.

En general el modelo OSP tiende a predecir valores térmicos menores que el modelo JG (Tabla 4), salvo para *MMN*. Por el contrario, los valores pluviométricos son en promedio mayores según OSP, salvo la precipitación estival. Es decir, el modelo JG predice unas condiciones climáticas más suaves térmicamente en invierno en promedio pero con valores más extremados, así como menos secas en verano. Cabe preguntarse si esto es debido a las diferentes características de modelización empleada o al diferente periodo de años de los datos de partida (el modelo JG utiliza una serie 10 años más moderna), o a ambas causas.

Considerando las dos últimas hipótesis, y aunque fuera del objetivo de este trabajo, resulta razonable plantear que la comparación de ambos

modelos revela la tendencia al aumento de temperaturas y al descenso de precipitaciones en nuestro país, con la salvedad de una mayor precipitación estival. El uso para la comparativa de otros parámetros más complejos como puedan ser la intensidad y duración de la sequía o el índice de Vernet ayudarían a completar este análisis.

Mientras se estaba redactando el presente documento la Agencia Estatal de Meteorología, en colaboración con el Instituto de Meteorología de Portugal, publicó el Atlas Climático Ibérico (AEMET-IM, 2011), para el cual se generaron modelos territoriales para casi 100 variables climáticas, a una resolución de 250 m, mediante técnicas de regresión múltiple e interpolación geoestadística. Resultará de gran interés analizar comparativamente las variables derivadas de estos modelos con OSP y JG, de manera análoga a lo expuesto en la presente comunicación.

## CONCLUSIONES

Se puede afirmar que los modelos climáticos considerados presentan una alta congruencia en lo relativo al régimen térmico. Para los parámetros que caracterizan el régimen pluviométrico se presentan mayores discrepancias, localizándose estas en las transiciones de cuencas fundamentalmente. Por último, el régimen hídrico puede llegar a presentar diferencias notables, aunque más reducidas en el caso del déficit hídrico. En cualquier caso, el evaluador empleado para el análisis presenta graves deficiencias a la hora de aplicarlo a variables que pueden tomar valores negativos y positivos o cercanos a cero.

## BIBLIOGRAFÍA

- AEMET-IM; 2011. *Atlas Climatológico Ibérico*. Agencia Estatal de Meteorología. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid, España.
- GONZALO, J.; 2008. *Diagnosis fitoclimática de la España Peninsular. Actualización y análisis geoestadístico aplicado*. Tesis doctoral. Universidad de Valladolid. Valladolid.
- GONZALO, J.; 2011. *Diagnosis fitoclimática de la España Peninsular. Hacia un modelo de*

- clasificación funcional de la vegetación y de los ecosistemas peninsulares españoles. Serie Técnica: Naturaleza y Parques Nacionales. Organismo Autónomo Parques Nacionales. Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino. Madrid.*
- SÁNCHEZ PALOMARES, O.; SÁNCHEZ SERRANO, F. Y CARRETERO, M.P.; 1999. *Modelos y cartografía de estimaciones climáticas termoplumiométricas para la España peninsular. INIA. Madrid.*
- THORNTHWAITE, C.W.; 1948. An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review* 38: 55-94.
- THORNTHWAITE, C.W. & MATHER, J.R.; 1957. Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balances. *Climatology* 10: 181-311.