



DESCRIPCIÓN Y ENSAYO DE UN PROCEDIMIENTO DE REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DEL TERRITORIO

Gabriel del Barrio
María E. Sanjuán
Jaime Martínez-Valderrama
Alberto Ruiz



Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat



DESCRIPCIÓN Y ENSAYO DE UN PROCEDIMIENTO DE REGIONALIZACIÓN CLIMÁTICA DEL TERRITORIO



Madrid, 2019



Aviso Legal: los contenidos de esta publicación podrán ser reutilizados, citando la fuente y la fecha, en su caso, de la última actualización.

El presente documento fue realizado en el marco del proyecto *Establecimiento de un sistema estatal de seguimiento del Estado de Conservación de los Tipos de Hábitat en España*, promovido y financiado por la Dirección General de Calidad y Evaluación Ambiental y Medio Natural del Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, desarrollado entre 2015 y 2017.

Dirección técnica del proyecto

Rafael Hidalgo Martín¹

Realización y producción

Tragsatec

Coordinación general

Elena Bermejo Bermejo² y Juan Carlos Simón Zarzoso²

Coordinación científica

Gabriel del Barrio Escribano³

Autores

Gabriel del Barrio Escribano³

María E. Sanjuán Martínez³

Jaime Martínez Valderrama³

Alberto Ruiz Moreno³

Coordinación y revisión editorial

Jara Andreu Ureta²

Juan Carlos Velázquez Melero²

Íñigo Vázquez-Dodero Estevan²

¹ Dirección General de Biodiversidad y Calidad Ambiental. Ministerio para la Transición Ecológica

² Tragsatec. Grupo Tragsa

³ Estación Experimental de Zonas Áridas (EEZA - CSIC)

A efectos bibliográficos la obra debe citarse como sigue:

Del Barrio G, Sanjuán M E, Martínez-Valderrama J & Ruiz A. 2019. Descripción y ensayo de un procedimiento de regionalización climática del territorio. Serie "Metodologías para el seguimiento del estado de conservación de los tipos de hábitat". Ministerio para la Transición Ecológica. Madrid. 42 pp.

Las opiniones que se expresan en esta obra no representan necesariamente la posición del Ministerio para la Transición Ecológica. La información y documentación aportadas para la elaboración de esta monografía son responsabilidad exclusiva de los autores.



MINISTERIO PARA LA TRANSICIÓN ECOLÓGICA

Edita:

© Ministerio para la Transición Ecológica

Secretaría General Técnica

Centro de Publicaciones

Catálogo de Publicaciones de la Administración General del Estado:

<https://cpage.mpr.gob.es>

NIPO: 638-19-088-X

ÍNDICE

1. INTRODUCCIÓN	7
2. DATOS.....	8
2.1. Área y periodo de estudio	8
2.2. Datos de entrada: archivo climático de Iberia y Baleares.....	8
2.3. Pre-proceso de datos y obtención de resúmenes	9
2.4. Variables bioclimáticas	10
2.5. Clasificaciones de referencia	13
3. MÉTODOS.....	14
3.1. Clasificación multivariante	14
3.2. Asociación entre dos mapas	15
4. RESULTADOS	15
4.1. Niveles de clasificación.....	15
4.2. Jerarquía de zonas bioclimáticas.....	18
4.3. Demostración frente a clasificaciones de referencia	20
5. DISCUSIÓN	25
5.1. Numérica.....	25
5.2. Geográfica	26
6. CONCLUSIONES.....	28
7. REFERENCIAS	29
ANEXO I. Mapas de las clasificaciones de referencia.....	31
ANEXO II. Mapas de la regionalización climática.....	37



1. INTRODUCCIÓN

El clima es la principal fuente de variación en la distribución geográfica de los ecosistemas terrestres. Ello se debe a que sus gradientes se acoplan en una jerarquía de escalas espaciales, las menores de las cuales son muy largas y se miden en centenares de kilómetros. Por esa razón, dominan sobre otros gradientes físicos más cortos como los topográficos, y tienen la capacidad de explicar las distribuciones de muchos ecosistemas a niveles regional, continental y global. La vegetación que se encuentra en su intervalo óptimo de un gradiente climático y sobre un suelo uniforme, a su vez también controlado por el clima, se denomina zonal.

La diversidad de variables usadas para caracterizar el clima en un ámbito geográfico crea el dilema metodológico de seleccionar unas pocas, limitando así la capacidad explicativa de la solución, o usarlas todas, lo que dificulta la comprensión del problema. Históricamente, la primera de esas opciones ha prevalecido, seleccionando un conjunto de variables importantes y clasificándolas mediante umbrales que se percibían como significativos. Ejemplos de esta aproximación son los diagramas ombrotérmicos de Walter & Lieth (1967), la clasificación climática de Köppen-Geiger (Peel *et al.* 2007) y, en España, el mapa fitoclimático de Allué (1990).

Esas representaciones tienen la ventaja de combinar inteligiblemente unas pocas variables que se reconocen como relevantes para explicar el efecto general del clima sobre una amplia variedad de sistemas, y por ello siguen vigentes. Sus mayores inconvenientes son, respectivamente, zonificación poco precisa, capacidad limitada para descender a escalas espaciales detalladas, y laboriosidad extrema para su (re)cálculo. Además, todas comparten el aspecto cuestionable de incluir un sesgo cognitivo empírico tanto en la selección de variables como en la definición de umbrales, lo que dificulta replicar el trabajo.

En la actualidad, existen dos elementos que solucionan en gran medida los problemas anteriores. Por un lado, las técnicas de taxonomía numérica e inteligencia artificial permiten manejar objetivamente tanto las variables como sus umbrales. Por otro, la disponibilidad creciente de bases de datos geoespaciales, que cubren grandes extensiones con resolución espacial uniforme, facilitan abordar la clasificación climática de grandes territorios con una calidad controlada. El trabajo aquí descrito sigue este enfoque.

Los objetivos concretos de este trabajo son:

1. Definir un procedimiento geomático para la clasificación jerárquica del clima en grandes territorios, con los siguientes requisitos:
 - Usar bases de datos normalizadas, abiertas y gratuitas como datos de entrada.
 - Usar métodos de clasificación objetivos, explícitos y repetibles.
 - Separar claramente el proceso de cómputo de la intervención de expertos en la producción del resultado final.
 - Facilitar su repetición en la misma área de estudio para diferentes periodos, o su aplicación a nuevas áreas de estudio, por parte de personal no necesariamente experto en el área o periodo.



2. Aplicar dicho procedimiento a un área suficientemente grande del estado español, de modo que sirva como demostración metodológica y como base técnica para las tareas del sistema de seguimiento relacionadas con ecosistemas terrestres zonales.

Toda clasificación debe obedecer a un motivo. En este caso ha sido optimizar una partición climática para que tenga capacidad explicativa sobre la distribución de ecosistemas terrestres zonales.

2. DATOS

2.1. Área y periodo de estudio

El área de estudio seleccionada fue la península ibérica, junto con el archipiélago Balear. Ello asegura incluir gradientes climáticos completos, y anticipa una base para trabajos similares que puedan desarrollarse en dichas islas o en Portugal continental. Toda el área de estudio forma un sistema coherente, y carecería de sentido realizar regionalizaciones parciales que luego sería complicado relacionar entre sí. La resolución espacial fue de 1000 m.

La regionalización partió de un archivo climático de cuatro variables básicas (temperaturas máxima media, media, mínima media y precipitación), con una longitud de treinta años y una resolución temporal de un mes. De este archivo se calcularon resúmenes para cada variable y mes, de modo que un resumen consiste en el valor medio de cierta variable para cierto mes a lo largo del periodo.

Los resúmenes sirvieron de base para calcular, mediante algoritmos adecuados, un conjunto de diecinueve variables bioclimáticas que tienen un valor predictivo reconocido sobre la distribución de ecosistemas terrestres zonales. Esas variables formaron los datos de entrada para dos clasificaciones multivariantes sucesivas. La primera, no jerárquica, tuvo el objetivo de reducir toda la variabilidad de los datos a un conjunto reducido de grupos. La segunda, jerárquica, permitió clasificar dichos grupos de forma aglomerativa, lo que dio lugar a la regionalización climática final. Esta puede entenderse como formada por varios niveles, cada uno de los cuales es partición de clases en el nivel inmediatamente superior.

2.2. Datos de entrada: archivo climático de Iberia y Baleares

El archivo climático de Iberia y Baleares consiste en un conjunto de superficies climáticas en formato ráster a una resolución espacial de 1000 m, que cubre el periodo 1970-2010 a una resolución temporal de un mes. Hay cuatro series de variables climáticas: temperatura máxima media (TMX), temperatura media (TMD), temperatura mínima media (TMN) y precipitación (PRE). El archivo consta, por tanto, de 1920 superficies (= 40 años x 12 meses x 4 variables).

El archivo está disponible para su descarga bajo licencia *Creative Commons* (Ruiz-Moreno *et al.* 2011) y sus detalles técnicos han sido publicados (Del Barrio *et al.* 2010), por lo que aquí solo se proporciona un resumen.

Las superficies fueron interpoladas usando ANUSPLIN (Hutchinson & Xu 2013) sobre registros climáticos georreferenciados de España (Agencia Estatal de Meteorología) y Portugal (*Sistema Nacional de*



Informação de Recursos Hídricos). Los registros fueron filtrados siguiendo recomendaciones de la Organización Meteorológica Mundial (WMO 2011) y el Sistema de Observación del Clima Global (GCOS 2010). Se emplearon redes variables de estaciones para interpolar las superficies, para adaptarse a la disponibilidad de datos de entrada. En promedio, dichas redes estaban formadas por 390 estaciones para las temperaturas, y 1877 para la precipitación.

Las interpolaciones fueron hechas usando una configuración fija del algoritmo, buscando minimizar el Error General de Validación Cruzada (GCV, del inglés *Generalized Cross Validation Error*). Se ajustaron modelos de *spline* cuadráticas trivariantes, con longitud, latitud y elevación como variables independientes. Los campos de precipitación fueron transformados a su raíz cuadrada para reducir el sesgo, restituyendo el valor a mm tras la interpolación.

La calidad del archivo interpolado se informa a dos niveles. El primero se refiere a errores en la estructura espacial de las superficies interpoladas, y se mide por la razón entre la señal (es decir, el número de estaciones realmente usadas en la interpolación, que estima sus grados de libertad) y el número total de estaciones disponibles. El valor ideal es de 0,5, y en este archivo las superficies de temperatura presentaron en general valores inferiores, muchos entre 0,25 y 0,35. Ello sugiere limitaciones en la cantidad de datos de entrada, que puede haber resultado en pérdida de detalle para algunas superficies. Esto no es necesariamente malo en términos de patrones macro y mesoclimáticos, pero indica que las predicciones absolutas deberían usarse con cautela en el caso de patrones microclimáticos.

El siguiente estimador de calidad valora el error predictivo de las interpolaciones, mediante la raíz cuadrada de GCV (RTGCV). Este valor es siempre inferior a 1°C, con picos de hasta 0,85°C para TMX en los meses de verano. Los errores absolutos de la precipitación oscilaron entre 4,4 mm en las superficies de julio y 12,8 mm en las de diciembre.

2.3. Pre-proceso de datos y obtención de resúmenes

El Mapa Forestal de España a escala 1:50.000 (MFE50) fue realizado entre 1997 y 2006. Puesto que la Cartografía de los Tipos de Hábitat Forestales de España 1:50.000 (CHFE50) (Sánchez de Dios *et al.* 2019) se elaboró a partir del MFE50, este producto es el principal candidato para cruzarse con la regionalización climática y, por tanto, guio la selección del periodo de estudio. Con objeto de mantener décadas completas y redondas, y de desplazar ligeramente la clasificación hacia el presente, dicho periodo fue fijado en 1981-2010.

Los archivos climáticos de Iberia y Baleares forman dos bases de datos diferentes. Ambos se presentan como capas ráster en coordenadas geodésicas (código EPSG 4326). Este formato se mantuvo para calcular los resúmenes o normales climáticas de las cuatro variables básicas para cada mes, y subsiguientemente las diecinueve variables bioclimáticas. Entonces, las capas de Iberia y Baleares fueron proyectadas por separado a un *grid* común en el sistema de referencia final del proyecto: UTM Huso 30, *datum* ETRS89 (código EPSG 25830). Finalmente, los pares correspondientes de capas de Iberia y Baleares fueron superpuestos para dar capas únicas con ambos territorios integrados. La regionalización climática fue calculada sobre estas capas. El proceso general de datos fue realizado con la librería ráster (Hijmans & Etten 2014).



2.4. Variables bioclimáticas

Las normales climáticas de las cuatro variables básicas contienen toda la información necesaria sobre el clima durante los treinta años del periodo. Sin embargo, esa información es 'plana' y no destaca aspectos climáticos que tienen un control especial sobre los ecosistemas terrestres, como la intensidad del verano, frecuencia de heladas o temperatura de la estación lluviosa. Existen varias aproximaciones para extraer ese tipo de aspectos, como agrupar las normales mensuales por estaciones (Benito *et al.* 2008) o modelar la duración del periodo vegetativo y periodos de heladas (Del Barrio *et al.* 1990). El desarrollo de técnicas para el modelado predictivo de la distribución de organismos a partir del clima propició la evolución de un conjunto de variables bioclimáticas que se ha mantenido estable hasta ahora por su capacidad explicativa. Aparecieron por primera vez asociadas al programa ANUCLIM (Xu & Hutchinson 2016) y, con ligeras variantes, fueron adoptadas por la base climática mundial WorldClim (Hijmans *et al.* 2005). Se ha seguido esta última opción, usando la librería *dismo* (Hijmans *et al.* 2015) para su cómputo.

Las variables bioclimáticas seleccionadas están descritas en la Tabla 1 y pueden verse en la Figura 1 y Figura 2.

Tabla 1 Variables bioclimáticas empleadas en la regionalización climática. Fuente: elaboración propia.

Nota: ver imágenes en Figura 1.

Abreviatura	Descripción
<i>ptot</i>	Precipitación total anual
<i>pseasn</i>	Estacionalidad de la precipitación total (desviación típica x 100)
<i>pwetm</i>	Precipitación total del mes más húmedo
<i>pdrym</i>	Precipitación total del mes más seco
<i>pwetq</i>	Precipitación total del trimestre más húmedo
<i>pdryq</i>	Precipitación total del trimestre más seco
<i>pwarmq</i>	Precipitación total del trimestre más cálido
<i>pcoldq</i>	Precipitación total del trimestre más frío
<i>tmed</i>	Temperatura media anual
<i>tseasn</i>	Estacionalidad de la temperatura media (desviación típica x 100)
<i>tmaxwm</i>	Temperatura media máxima del mes más cálido
<i>tmincm</i>	Temperatura media mínima del mes más frío
<i>tamp</i>	Amplitud anual de temperatura ($t_{maxwm} - t_{mincm}$)
<i>trang</i>	Amplitud diaria de temperatura (media de las diferencias mensuales entre temperaturas media máxima y media mínima)
<i>tisoth</i>	Isotermalidad: $(trang / tamp) * 100$
<i>twarmq</i>	Temperatura media del trimestre más cálido
<i>tcoldq</i>	Temperatura media del trimestre más seco
<i>twetq</i>	Temperatura media del trimestre más húmedo
<i>tdryq</i>	Temperatura media del trimestre más seco

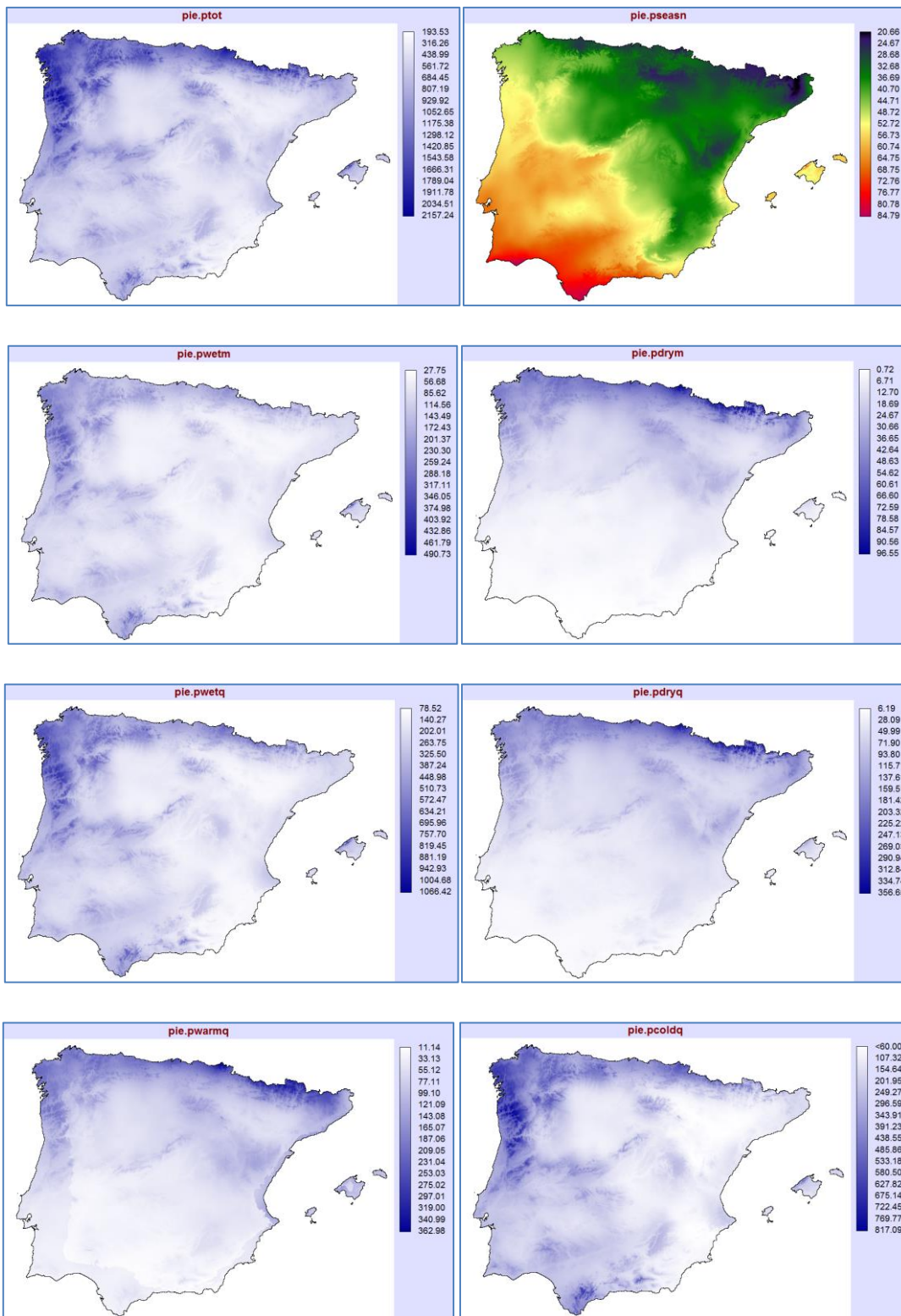
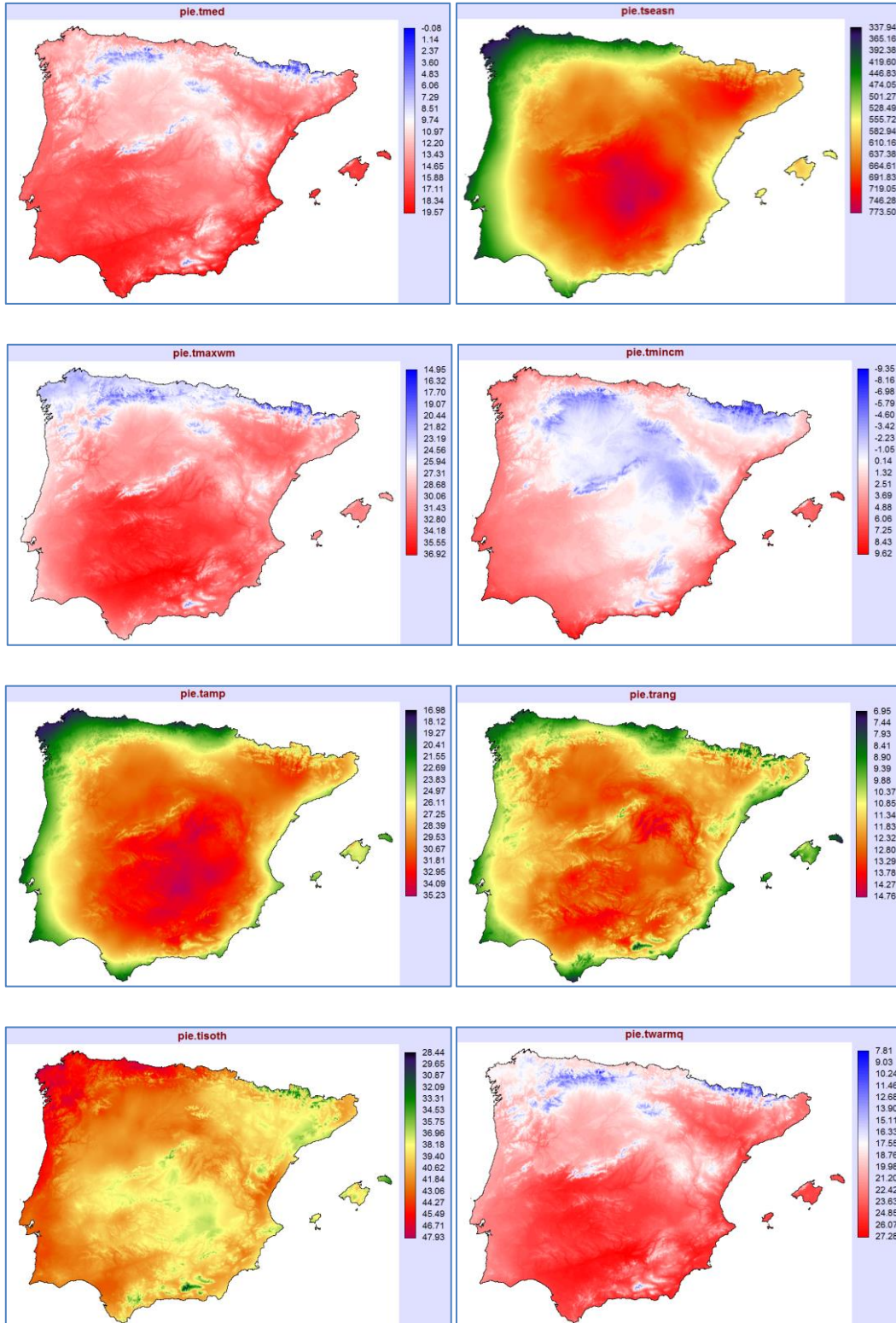


Figura 1 Variables bioclimáticas usadas para la regionalización; precipitación. Fuente: elaboración propia a partir del Archivo Climático de Iberia y Baleares (Ruiz-Moreno *et al.* 2011).

Nota: ver abreviaturas de variables en Tabla 1.



Continúa en la siguiente página ►

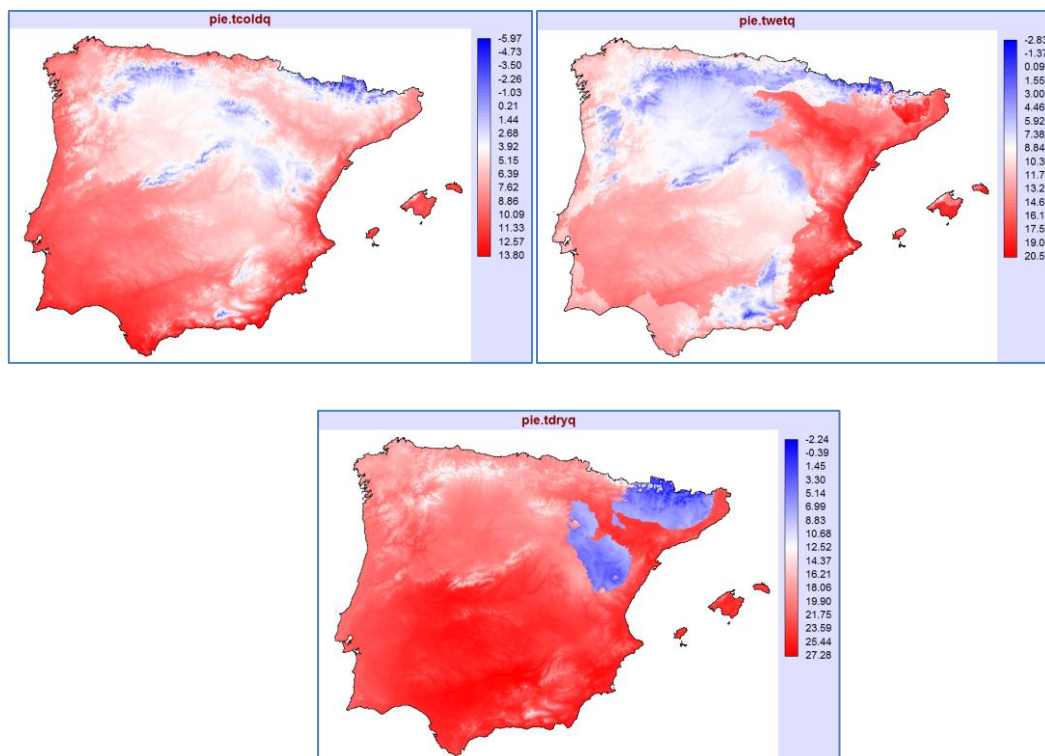


Figura 2 Variables bioclimáticas usadas para la regionalización: temperatura. Fuente: elaboración propia a partir del Archivo Climático de Iberia y Baleares (Ruiz-Moreno *et al.* 2011).

Nota: ver abreviaturas de variables en Tabla 1.

2.5. Clasificaciones de referencia

Una regionalización no puede ser validada, excepto realizando pruebas estadísticas internas tratando de probar que las clases resultantes son distintas entre sí, en términos de las variables que han servido para crearla. Consideramos que este ejercicio sería redundante e inútil. Lo primero, porque si el proceso ha sido correctamente realizado, el resultado lleva necesariamente a clases diferentes. Lo segundo, porque la utilidad de la regionalización debe medirse respecto a las variables externas que debe interpretar, en este caso la distribución de ecosistemas zonales terrestres.

Sin embargo, la regionalización puede demostrarse frente a otros productos equivalentes que se consideren suficientemente aceptados. La idea de realizar clasificaciones climáticas regionales o globales tiene ilustres precedentes, muchos de los cuales no han sido validados, pero sí puestos a prueba por varias generaciones de estudios geobotánicos. El razonamiento es que, si la regionalización aquí presentada es suficientemente parecida a algunas de estas clasificaciones de referencia, su utilidad puede aceptarse y su discusión puede entonces basarse en sus propias características.

En línea con lo anterior, la regionalización climática fue comparada con las siguientes clasificaciones climáticas:

- **KGclass:** clasificación de Köppen-Geiger (Köppen *et al.* 2011). Según (Trewartha & Lyle 1980) e implementación en (Eccel *et al.* 2016).
- **Biome:** biomas (Olson *et al.* 2001).



- **Ecorregion:** ecorregiones (Olson *et al.* 2001).
- **AllueORDER:** subregiones fitoclimáticas (Allué 1990).
- **RivasREGION:** regiones biogeográficas (Rivas-Martínez 1987; Rivas-Martínez & Rivas-Saenz 1996-2019).
- **RivasPISO:** pisos bioclimáticos (Rivas-Martínez 1987; Rivas-Martínez & Rivas-Saenz 1996-2019).

Los mapas de esas clasificaciones pueden ser consultados en el Anexo I.

3. MÉTODOS

3.1. Clasificación multivariante

La clasificación de grandes masas de datos aplicada a problemas geográficos ha evolucionado en décadas recientes, desde aproximaciones basadas en taxonomía numérica que buscaban principalmente generar hipótesis, hasta métodos basados en inteligencia artificial que persiguen optimizar la clasificación, cualesquiera que sean sus causas. La regionalización climática, en el caso de este estudio, tiene la función de explicar asociaciones entre ecosistemas terrestres zonales y clima, y por ello requiere un control explícito sobre sus clases y particularmente su jerarquía de niveles. En consecuencia, se ha decidido seguir el primero de esos enfoques.

Cualquier clasificación basada en taxonomía numérica requiere generar una matriz de asociación entre los objetos a clasificar. Si los objetos son celdas ráster de una imagen, como en este caso, dicha matriz tendría un tamaño enorme (aproximadamente la mitad del cuadrado del número de celdas). Por esa razón, la estrategia fue realizar la clasificación en dos pasos. Todo el proceso fue llevado a cabo con la librería *PATN* (Belbin & Collins 2009).

El primer paso fue una clasificación no jerárquica de las celdas. La matriz de entrada estaba formada por todas las celdas válidas (N= 587 874 filas) y sus valores para cada una de las variables bioclimáticas (columnas). Sobre ella se aplicó el algoritmo ALOC (Belbin 1987), que clasifica los objetos iterativamente en un número predeterminado de grupos. En este caso, se especificaron 60 grupos suponiendo que esa cantidad absorbería toda la variabilidad climática presente en los datos de entrada. La medida de asociación seleccionada fue el índice métrico de Gower, apropiada para datos continuos con una escala lineal.

El segundo paso fue usar los valores medianos de las variables bioclimáticas dentro de cada grupo para construir una nueva matriz de 60 filas por 19 columnas. Sobre ella se aplicó una fusión jerárquica aglomerativa con el algoritmo UPGMA-flexible. El dendrograma asociado fue inspeccionado visualmente y cortado a varios niveles, los cuales definen la jerarquía de la clasificación.

La composición en celdas de los grupos no jerárquicos era conocida, por tanto, el último paso fue convertir las clases jerárquicas de grupos de celdas en clases de celdas, dando lugar a la regionalización final.



3.2. Asociación entre dos mapas

La estrategia seguida para comparar un par de mapas ha seguido dos pasos. En el primero se comprobó la capacidad de uno para explicar el otro, mediante la medida de asociación Lambda (L_{AB}). En el segundo se contrastaron relaciones estadísticas entre ambos mapas, para verificar si el parecido es significativo y las principales correspondencias entre ambos conjuntos de clases. Esto se hizo mediante una prueba de chi-cuadrado (X^2). El coeficiente de acuerdo Kappa, comúnmente usado para valorar semejanza entre mapas, no pudo ser aplicado en este caso debido a que el número de clases era distinto en ambos casos, y además no había una correspondencia definida entre sus conjuntos de clases.

El estadístico L_B (Siegel & Castellan 1988) es apropiado para comparar dos variables cualitativas de modo que se examine la capacidad de una (A) para predecir la otra (B). Rinde valores comprendidos entre 0 y 1, que pueden interpretarse respectivamente como el grado de predictibilidad de la variable B a partir de la A . Esto hace que, dado un par de variables, haya dos medidas posibles de L_B según cual se considere como A y cual como B . Por ello, L_B se considera un índice asimétrico. Cuando se calcula L en las dos direcciones y se ofrece un valor promediado, puede hablarse de un estadístico simétrico L_{AB} , que es una medida de la reducción del error en la predicción de cualquiera de las variables A o B .

Las clasificaciones de referencia usadas en la demostración no son, *a priori*, mejores o más válidas que la propia regionalización desarrollada en este estudio. Por ello se aplicó el estadístico simétrico L_{AB} , usando la implementación en la librería *DescTools* (Signorelli 2017) para su cómputo.

El estadístico L_{AB} fue usado para seleccionar el nivel de la regionalización más afín, en los términos explicados arriba, a cada una de las clasificaciones de referencia. El siguiente paso fue contrastar la significación de dicha afinidad mediante el estadístico X^2 , e interpretar las contingencias más relevantes entre las clases de los mapas comparados. El valor de X^2 fue calculado mediante el método de Monte Carlo con 1000 réplicas.

Estos análisis se basaron en una red de muestreo siguiendo un esquema estratificado aleatorio, por el que se dividió el área de estudio en cuadrículas, situando un punto al azar dentro de cada una de ellas. Esta separación evita la autocorrelación espacial en el muestreo. La red resultante estaba formada por $n=58\ 149$ celdas (9,9% de un total de $N= 587\ 874$ celdas).

4. RESULTADOS

4.1. Niveles de clasificación

La Figura 3 muestra los 60 grupos no jerárquicos producidos por ALOC. El principal valor de este mapa es representar las unidades de mayor detalle que forman parte de la regionalización. Es decir, cada mancha se considera como un tipo homogéneo de clima, y no será posible hacer subdivisión alguna sin cambiar los parámetros del algoritmo de clasificación.

Naturalmente, no todas las celdas asignadas a cada mancha se identifican del mismo modo con el centroide de la misma, representado por los valores medianos de las 19 variables bioclimáticas. Esa variación está representada en la Figura 4, en términos de disimilaridad, usando la misma medida de asociación que se empleó en la clasificación (índice métrico de Gower).



Comparando los mapas de la Figura 3 y Figura 4 puede observarse un patrón general, por el que las celdas situadas en la zona geográfica central de una mancha cualquiera tienden a presentar mayor afinidad (menor disimilaridad) con su centroide. La afinidad disminuye al aproximarse a los límites de la mancha, y es mínima justo en la zona de contacto con la mancha contigua. Si se traspasa el límite, se entra en una nueva mancha y la afinidad vuelve a aumentar hasta llegar a su zona central.

Este es un resultado lógico del proceso de clasificación, y tiene un uso potencial para valorar la representatividad de cualquier localización respecto al clima al que ha sido asignada. Los valores de disimilaridad se mantienen relativamente bajos en la práctica totalidad del área de estudio, incluso considerando los máximos y mínimos relacionados con el patrón descrito. Las desviaciones respecto a este patrón monótono pueden interpretarse como zonas relativamente heterogéneas que han respondido peor a la clasificación. El único caso que parece darse en el área es Sierra Nevada occidental, cuyos valores de disimilaridad alcanzan el máximo en la Figura 3. Aun así, ese máximo no llega a 0,20 (en un rango posible entre 0 y 1) y puede darse por aceptable.

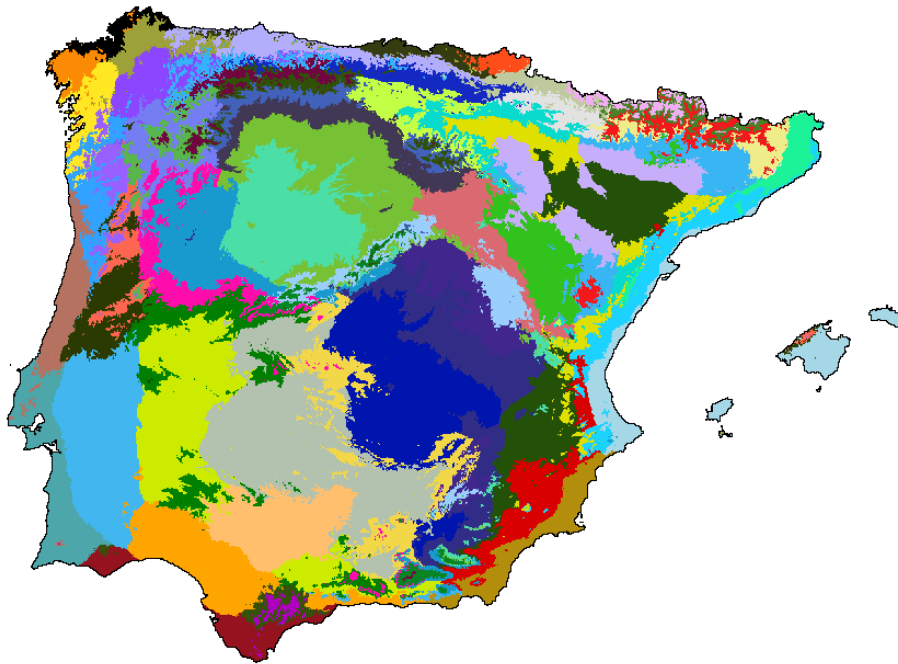


Figura 3 Grupos no jerárquicos de clima en Iberia y Baleares. La paleta de colores es arbitraria. Fuente: elaboración propia.

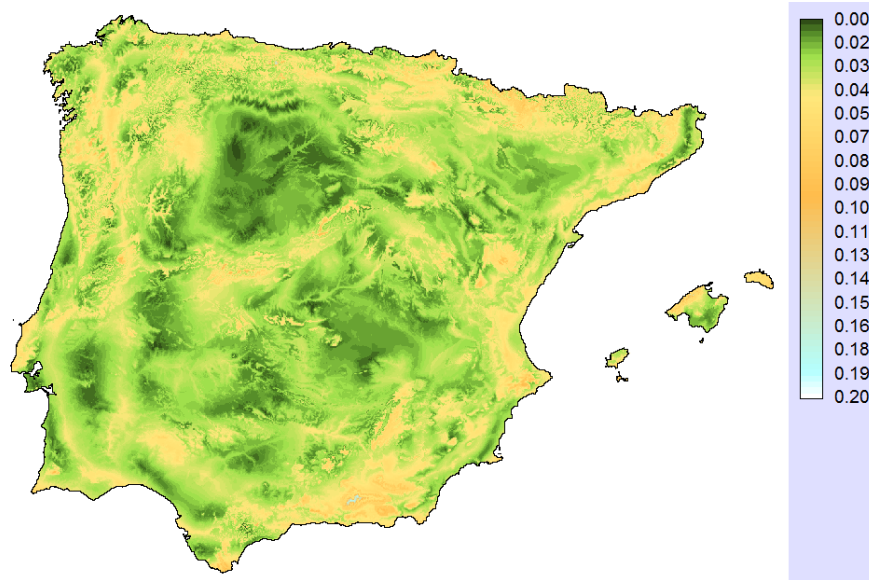


Figura 4 Disimilaridad entre cada celda clasificada y el centroide del grupo al que pertenece. La medida es el índice métrico de Gower, que varía entre 0 (parecido total) y 1 (disimilaridad total). Fuente: elaboración propia.

Los 60 grupos no jerárquicos parecen suficientemente finos como para absorber la variabilidad del clima en el área de estudio, pero son de poca utilidad a menos que puedan aglomerarse por niveles. Esta es la función de su clasificación jerárquica. La Figura 5 muestra el dendrograma resultante.

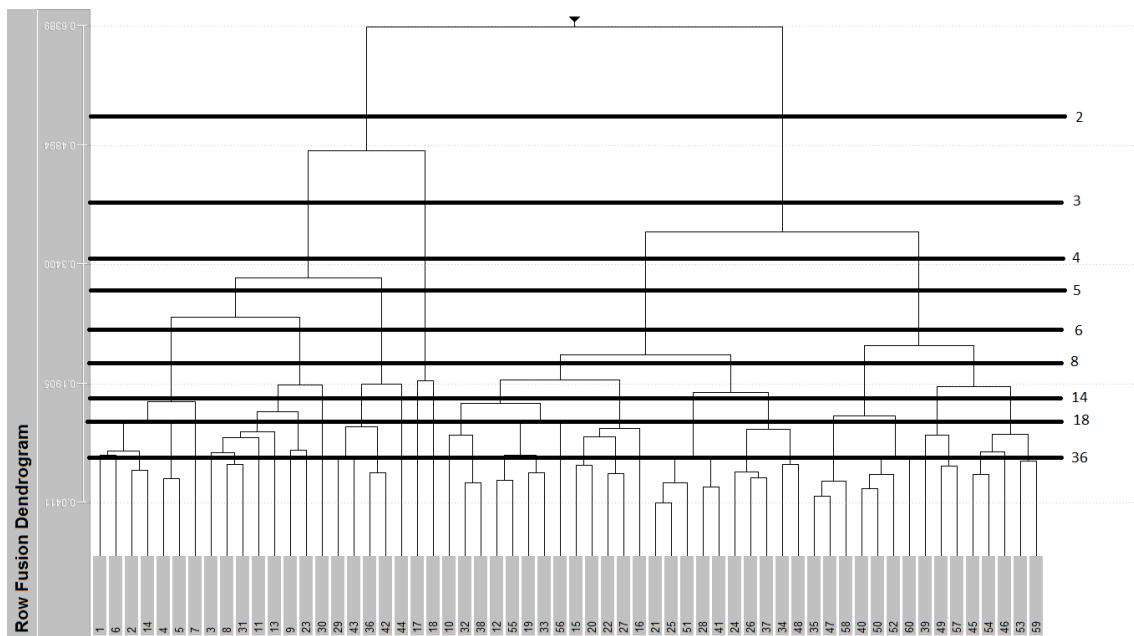


Figura 5 Dendrograma asociado a la fusión aglomerativa (UPGMA-flexible) de los 60 grupos no jerárquicos de clima. Los niveles de corte y número de clases correspondientes están representados por líneas horizontales. Fuente: elaboración propia.



El historial de fusión, y por tanto la jerarquía de niveles de la regionalización climática, derivan de este dendrograma. Los mapas asociados pueden consultarse en la Figura 6.

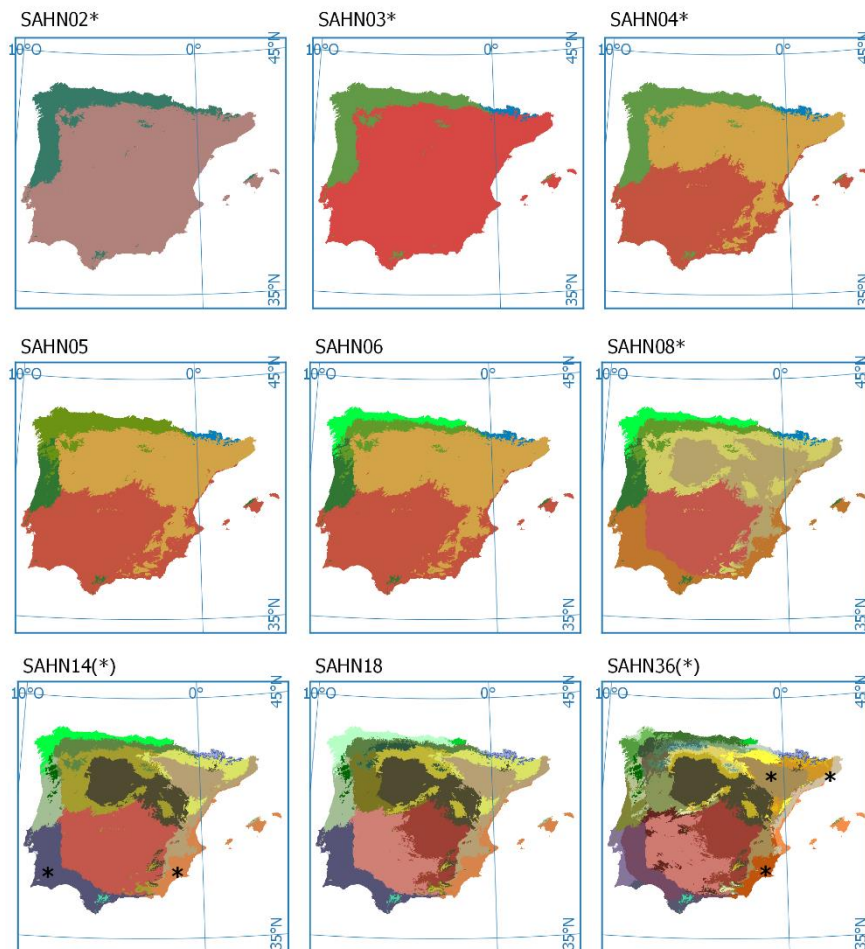


Figura 6 Mapas correspondientes a algunos niveles de corte del dendrograma que fusiona los 60 grupos climáticos creados inicialmente. El número de clases en cada mapa se indica con los dos últimos dígitos de su código. Los mapas o sectores de mapa incorporados a la regionalización se indican mediante asteriscos. Fuente: elaboración propia.

Nota: ver Figura 5 para entender mejor la estructura de la clasificación.

4.2. Jerarquía de zonas bioclimáticas

El proceso de seleccionar un conjunto de mapas asociado a niveles de corte del dendrograma, y su conversión en una regionalización climática propiamente dicha, es interpretativo. Se pretendió extraer el menor número posible de mapas que permitiese mostrar con detalle progresivo las principales variaciones de vegetación natural presentes en la geografía ibérica. La interpretación mantuvo un mapa existente de pisos bioclimáticos (Rivas-Martínez 1987) como referencia aproximada para identificar y nombrar las clases de cada nivel. Además, se usaron diagramas ombrotérmicos para observar diferencias entre clases de un nivel dado.



Tabla 2 Niveles jerárquicos de la regionalización climática. La paleta de colores es consistente con la usada en los mapas. Fuente: elaboración propia.

Nivel 1: Ecorregiones	Nivel 2: Ecorregiones	Nivel 3: Subregiones	Nivel 4: Dominios	Nivel 5: Subdominios	Nivel 6: Sectores	
0201 Eurosiberiana (iberoatlántica)	0301 Atlántica	0401 Atlántica	0801 Atlántico litoral o colino			
			0802 Subatlántico montano cantábrico			
			0803 Subatlántico lusitano			
0202 Mediterránea	0302 Alpina (pirenaica)	0402 Alpina (pirenaica)	0804 Alpino (pirenaico)			
			0805 Submediterráneo húmedo (montano)			
	0303 Mediterránea			0806 Submediterráneo continental (semiárido)		
						3627 Depresión Ebro y páramos Albacete
						3628 Sierras litorales catalana y alicantina
			0404 Mediterránea	0807 Mesomediterráneo (subtermófilo manchego extremadureense)		
				0808 Termomediterráneo	1413 Seco	
						3633 Murciano almeriense
				1414 Húmedo		

La inspección de la selección preliminar de niveles de corte (Figura 6) condujo a identificar las particiones de 2, 3, 4, 8, 14 y 36 clases como los más relevantes. Las dos últimas contribuyen a la regionalización con divisiones o sectores de solo ciertas clases de un nivel menos detallado. Por ejemplo, el nivel 5 es idéntico al 4 excepto que la clase 0808 de este fue subdividida en dos partes usando las clases formadas



en la partición de 14 clases. En el nivel 6, se individualizó el sector 3633 dentro de la clase 1413 del nivel 5; dicho sector fue obtenido de la partición de 36 clases. La Tabla 2 muestra la jerarquía de niveles, cuyos mapas pueden ser consultados en el Anexo II.

4.3. Demostración frente a clasificaciones de referencia

La Figura 7 muestra la reducción del error aleatorio de cada par de mapas (clasificación de referencia, nivel de la regionalización), y que puede interpretarse como grado de semejanza entre ellos.

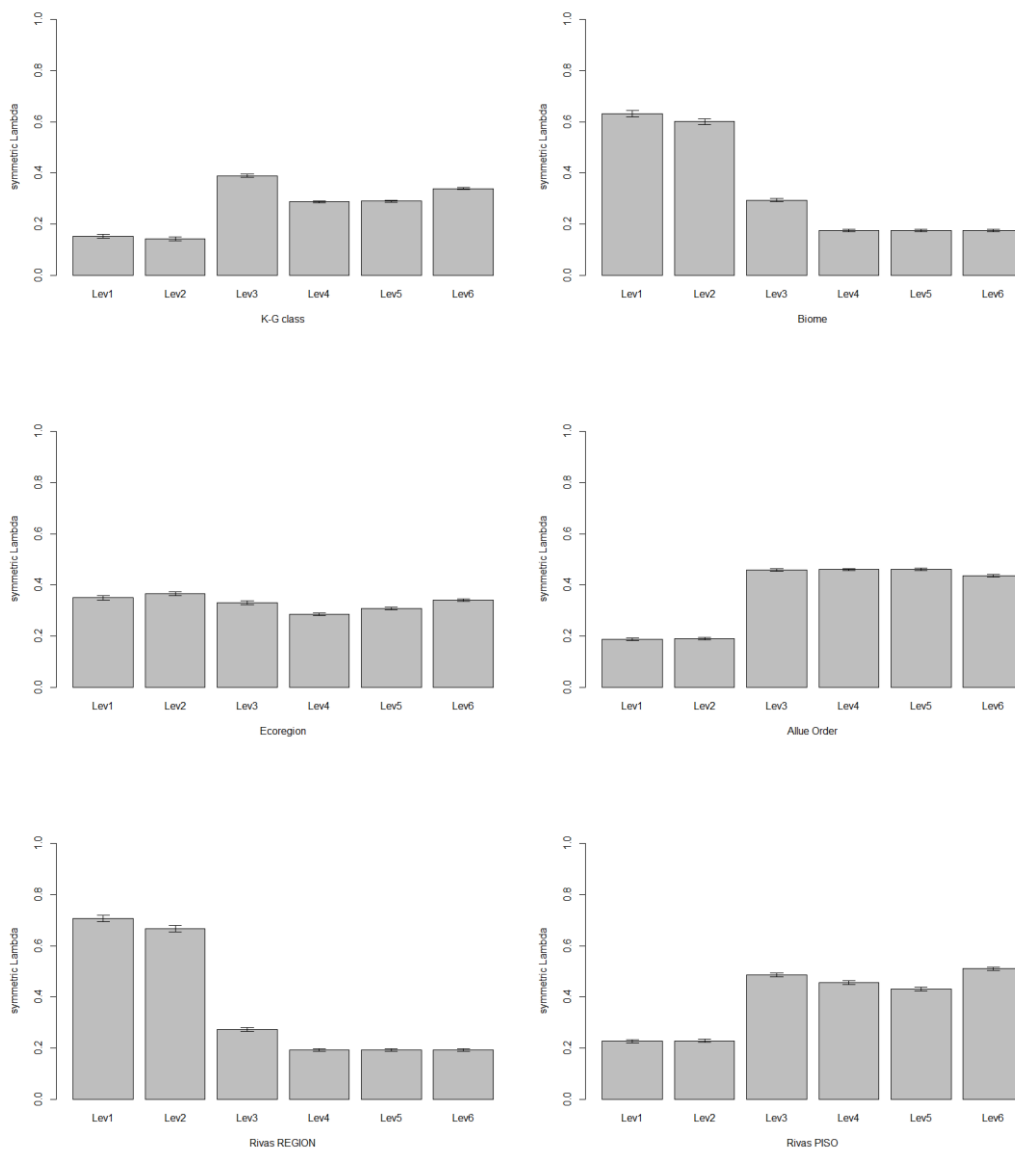


Figura 7 Valores del estadístico Lambda simétrico (L_{AB}) entre cada clasificación de referencia y los seis niveles de la regionalización climática. Fuente: elaboración propia.



El valor máximo es de $0,708 \pm 0,013$ y se alcanza al comparar RivasREGION con el nivel 1 (ecorregiones), y el mínimo de $0,142 \pm 0,007$ corresponde a la clasificación KGclass enfrentada al nivel 2 (ecorregiones). Desde este punto de vista, las clasificaciones de referencia más afines a los niveles de la regionalización serían: nivel 1 – RivasREGION ($0,708 \pm 0,013$), nivel 2 – RivasREGION ($0,668 \pm 0,014$), nivel 3 – RivasPISO ($0,486 \pm 0,008$), nivel 4 – AllueORDER ($0,460 \pm 0,004$), nivel 5 – AllueORDER ($0,461 \pm 0,004$) y nivel 6 – RivasPISO ($0,510 \pm 0,006$).

Examinar el comportamiento general de cada clasificación frente a todos los niveles de la regionalización tiene un valor diagnóstico complementario. Hay dos patrones extremos desde este punto de vista. Por un lado, las clasificaciones Biome y RivasREGION muestran sus mayores semejanzas con los niveles 1 y 2, decreciendo abruptamente a partir del nivel 3. Opuestamente, las clasificaciones AllueORDER y RivasPISO tienen relativamente poca semejanza con los dos primeros niveles, y muestran valores consistentemente altos con los cuatro últimos. El caso de KGclass sigue este último patrón de forma atenuada, y Ecorregion mantiene afinidades intermedias para todos los niveles.

Las relaciones recién descritas se suplementan con los contrastes de significación realizados con la X^2 . La cantidad de combinaciones posibles entre clasificaciones de referencia y niveles de la regionalización es muy grande. Esos análisis fueron realizados solo para extraer el nivel de la regionalización más significativamente relacionado con cada clasificación, resultados que se muestran en las Figuras 8 a 12. A continuación se explican algunos de ellos. El lector puede interpretar fácilmente cualquiera de las Figuras mencionadas a partir de estos ejemplos

Las Figuras 7 y 8 muestran respectivamente los resultados de cruzar las clasificaciones Biome y RivasREGION con el nivel 1, que es con el que tienen mayor afinidad. La clase PA04 de Biome (bosques planifolios templados y mixtos) tiene relación positiva con la ecorregión 0201_Eurosiberiana, y la clase PA12 (bosques y matorrales mediterráneos) se relaciona positivamente con la ecorregión 0202_Mediterránea. La interpretación es equivalente para RivasREGION.

La Figura 9 presenta el resultado de cruzar la clasificación RivasPISO con el nivel 6. Entre las relaciones positivas, cabe destacar: piso Colino y dominio 0801_Atlántico litoral o colino; piso Mesomediterráneo y dominio 0807_Mesomediterráneo; piso Montano y dominio 0802_Subatlántico montano cantábrico; piso Subalpino y dominio 0804_Alpino; piso Termomediterráneo y subdominio 0808-1414_Termomediterráneo-húmedo.

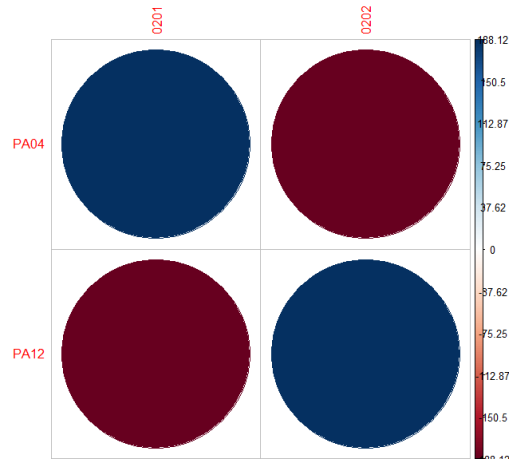


Figura 8 Relaciones entre la clasificación Biome (filas) y el nivel 1 de la regionalización climática (columnas) ($X^2= 35\ 390$, $p= 9,99E-5$). El tamaño e intensidad de color de los círculos es proporcional a la magnitud de los residuales normalizados: azul para relaciones positivas, rojo para relaciones negativas. Fuente: elaboración propia.

Nota: ver abreviaturas en Anexos I y II, respectivamente.

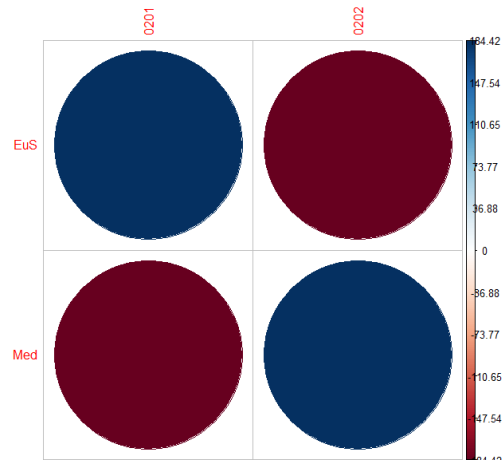


Figura 9 Relaciones entre la clasificación RivasREGION (filas) y el nivel 1 de la regionalización climática (columnas) ($X^2= 34012$, $p= 9,99E-5$). El tamaño e intensidad de color de los círculos es proporcional a la magnitud de los residuales normalizados: azul para relaciones positivas, rojo para relaciones negativas. Fuente: elaboración propia.

Nota: ver abreviaturas en Anexos I y II, respectivamente.

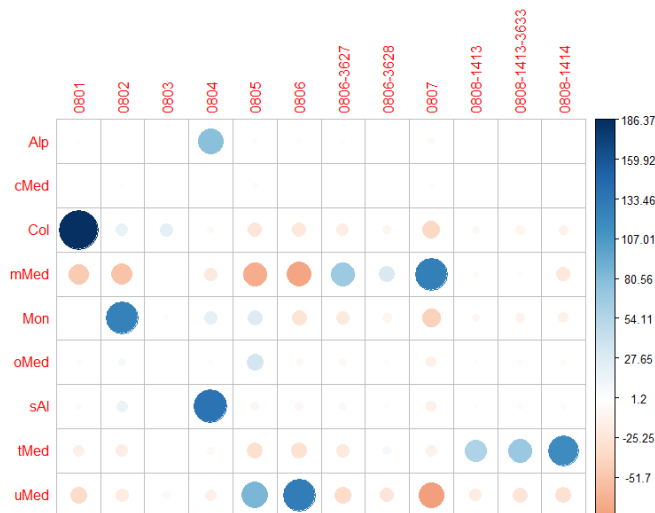


Figura 10 Relaciones entre la clasificación RivasPISO (filas) y el nivel 6 de la regionalización climática (columnas) ($\chi^2= 136\ 025$, $p= 9,99E-5$). El tamaño e intensidad de color de los círculos es proporcional a la magnitud de los residuales normalizados: azul para relaciones positivas, rojo para relaciones negativas. Fuente: elaboración propia.
Nota: ver abreviaturas en Anexos I y II, respectivamente.

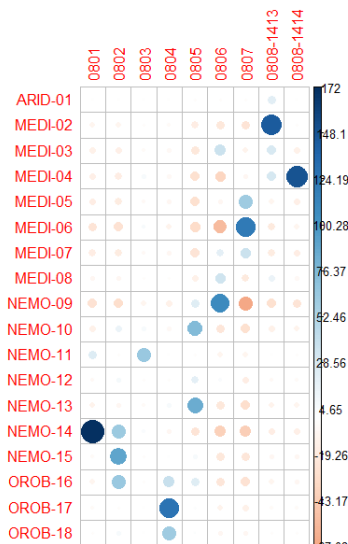


Figura 11 Relaciones entre la clasificación AllueORDER (filas) y el nivel 5 de la regionalización climática (columnas) ($\chi^2= 164\ 103$, $p= 9,99E-5$). El tamaño e intensidad de color de los círculos es proporcional a la magnitud de los residuales normalizados: azul para relaciones positivas, rojo para relaciones negativas. Fuente: elaboración propia.
Nota: ver abreviaturas en Anexos I y II, respectivamente.

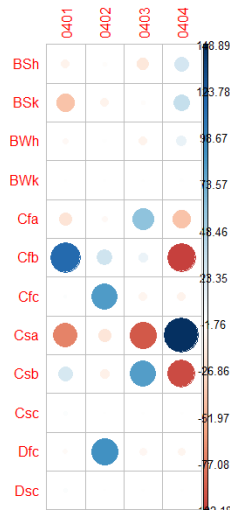


Figura 12 Relaciones entre la clasificación KGclass (filas) y el nivel 3 de la regionalización climática (columnas) ($X^2= 57\ 564$, $p= 9,99E-5$). El tamaño e intensidad de color de los círculos es proporcional a la magnitud de los residuales normalizados: azul para relaciones positivas, rojo para relaciones negativas. Fuente: elaboración propia.

Nota: ver abreviaturas en Anexos I y II, respectivamente.

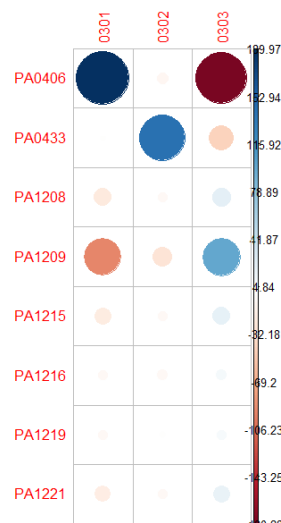


Figura 13 Relaciones entre la clasificación Ecoregion (filas) y el nivel 2 de la regionalización climática (columnas) ($X^2= 56\ 834$, $p= 9,99E-5$). El tamaño e intensidad de color de los círculos es proporcional a la magnitud de los residuales normalizados: azul para relaciones positivas, rojo para relaciones negativas. Fuente: elaboración propia.

Nota: ver abreviaturas en Anexos I y II, respectivamente.



5. DISCUSIÓN

Los resultados de la regionalización climática requieren ser discutidos desde dos perspectivas. La primera es el proceso numérico y su capacidad para producir resultados comparables a otras clasificaciones de referencia. La segunda es la distribución geográfica de las clases climáticas. Ambas difieren en las evidencias a manejar, que en la primera son estadísticas y en la segunda proceden de una interpretación experta.

5.1. Numérica

Los valores obtenidos para L_{AB} dan como razonable la capacidad predictiva recíproca entre la regionalización climática y las clasificaciones de referencia. El subconjunto obtenido para cada nivel y su referencia más semejante se encuentra en la banda media del rango posible, entre 0 y 1. No cabía esperar valores muy próximos a 1, ya que todas las clasificaciones de referencia empleadas tienen su origen en reglas especificadas por expertos, mientras que el proceso de clasificación que dio lugar a la regionalización ha sido un cómputo ciego sin imposición alguna. En el otro extremo, valores muy próximos a 0 sugerirían un alejamiento notable de particiones geográficas que han demostrado su utilidad en el curso del tiempo.

El patrón por el que cada nivel se asemeja a una clasificación de referencia equivalentemente detallada, y que estas sean distintas e independientes entre sí en la sucesión de niveles, refuerza la consistencia jerárquica de la regionalización. La Figura 6 muestra cierta generalidad en este comportamiento, que no se restringe a una sola clasificación de referencia por nivel. Por ejemplo, la clasificación más afín al nivel 1 es RivasREGION con $LAB = 0,708 \pm 0,013$, pero Biome le sigue muy de cerca con $LAB = 0,631 \pm 0,012$. Lo mismo puede decirse de otros niveles.

Sin embargo, es un hecho que las clasificaciones realizadas específicamente para la región ibérica (RivasPISO y AllueORDER) dominan entre las más semejantes a cada nivel, especialmente entre los más detallados. Se interpreta esto como un respaldo importante a la regionalización, ya que dichas clasificaciones fueron hechas por expertos con la finalidad de producir sendos sistemas de reglas que reflejasen lo mejor posible las variaciones regionales de vegetación. Que el resultado de un ejercicio ciego se parezca a ellas apoya su solidez.

Como se ha mencionado anteriormente, la nomenclatura de clases de los niveles más detallados de la regionalización está inspirada en la usada por RivasPISO. Ello se justificó porque esta clasificación es ampliamente usada para referir ecosistemas terrestres en Iberia, especialmente España. Sería ilusorio pensar que ha influido de otra forma en la regionalización climática. Las asociaciones positivas entre clases de ambas particiones (Figura 10) refuerzan su parecido, a pesar de que sus orígenes respectivos son distintos. Dicho lo cual, conviene precisar que el mayor valor de esta comparación es apoyar un procedimiento no experto como la regionalización mediante evidencias expertas contenidas en un producto probado y aceptado.

El procedimiento de regionalización tiene también algunos problemas que conviene destacar. El más importante es que no produce directamente un sistema de reglas que permitan explicarla y replicarla, como sí sucede con las clasificaciones de Köppen-Geiger o Rivas-Martínez. Las clases son producidas



optimizando su dispersión multivariante. Ello la convierte en un procedimiento empírico que debe ser ejecutado cada vez sin anticipación alguna sobre sus resultados.

Más aún, el tamaño del área de estudio condiciona estos en parte, ya que en general los gradientes más largos prevalecen en la separación de grupos durante la fase no jerárquica. Por tanto, ejecutar dicha fase sobre una nueva área de estudio no garantizaría que se formasen los mismos grupos climáticos. Y si esta es muy pequeña, las variables usadas en la discriminación podrían ser diferentes. Por ejemplo, si se aplicara el procedimiento sobre un subconjunto de los datos, digamos la ecorregión Alpina (pirenaica), la precipitación no sería usada como principal fuente de variación, porque ya es relativamente elevada y homogénea en toda la zona. Por el contrario, la discriminación de grupos operaría con gradientes más cortos asociados con la altitud o la posición topográfica.

Esa faceta de la regionalización es un arma de doble filo. Resulta conveniente para ampliar detalles de una clase que, por la razón que sea, ha permanecido demasiado homogénea tras el cómputo. Por otro lado, la primera regionalización a realizar sobre un área de estudio debe incluir una representación suficiente de todas las variantes climáticas que cabe esperar al final del proceso. Así, si es necesario añadir una nueva área de estudio sin tener que repetirlo todo, bastará con hallar su centroide mediano para las 19 variables bioclimáticas, y usar ALOC para asignarlo al grupo cuyo centroide sea más afín de entre los ya calculados.

5.2. Geográfica

El proceso de producir la regionalización no es exclusivamente automático, pero tiene la ventaja de separar netamente la parte puramente numérica de la que requiere intervención humana. Esta incluye dos decisiones importantes, los niveles de corte del dendrograma, y la selección y aceptación de las clases derivadas de cada nivel. A continuación, se ofrece un comentario geográfico de estos niveles, que puede apoyarse en la Figura 6, Tabla 2 y Anexo II. Aunque la clasificación fue aglomerativa, resulta más intuitivo interpretarla como una división progresiva del área de estudio:

- **Nivel 1. Ecorregiones.** Esta es la partición más sencilla del territorio, e identifica dos manchas que pueden asociarse fácilmente con las regiones biogeográficas Eurosiberiana y Mediterránea. Sorprenden un poco los enclaves meridionales (Ronda, Grazalema, el Aljibe, Monchique, la sierra de Ayllón, etc.) y de la sierra de la Tramontana de Mallorca. Aunque tradicionalmente se ha señalado una cierta influencia eurosiberiana o atlántica en sus paisajes, resulta algo extraña la clasificación como territorios atlánticos en el primer nivel de corte. En general, creemos que podría ser más correcto considerarlos territorios mediterráneos con una notable influencia atlántica. La precipitación total anual parece haber tenido gran peso en esta asignación.
- **Nivel 2. Ecorregiones.** El territorio pirenaico se desgaja de la ecorregión Atlántica en este nivel. El parecido con el mapa de regiones biogeográficas que maneja la Agencia Europea de Medio Ambiente es evidente. Eso justifica la denominación como Alpina (pirenaica) para esta nueva ecorregión. Sin embargo, conviene tener presente que considerar los Pirineos como parte de la región Alpina es una visión obsoleta en la geobotánica actual, y que dicha denominación es de conveniencia.
- **Nivel 3. Subregiones.** La anterior ecorregión Mediterránea se divide aquí en dos subregiones: Submediterránea y Mediterránea. La primera ocupa la parte norte y montañas, y coincide



esencialmente con los pisos supramediterráneo y oromediterráneo del mapa bioclimático RivasPISO. La segunda ocupa la parte sur, y se aproxima al clima Mediterráneo genuino, reuniendo los pisos meso y termomediterráneos de RivasPISO.

- **Nivel 4. Dominios climáticos.** Este nivel presenta el mejor compromiso entre complejidad y sencillez, y casi todas las clases del nivel precedente, excepto la Alpina (pirenaica), han experimentado subdivisión. Su parecido geográfico con la clasificación RivasPISO es notable (Figura 9). Sin embargo, le faltan dos detalles que se esperaría estuvieran diferenciados. Primero, la zona subhúmeda de Girona, próxima a la costa (Alberes, Ampurdán, comarca de La Selva), que entra en la clase 0806 con las zonas semiáridas del valle del Ebro y el centro de la cuenca del Duero. Segundo, la zona más árida murciano-almeriense (y parte de Albacete), que tampoco se diferencia del termomediterráneo que engloba zonas muy húmedas como las sierras de Algeciras, de Huelva o de Monchique. Estos detalles justificaron la adición de manchas individuales producidas en niveles de corte más detallados.
- **Nivel 5. Subdominios.** La subdivisión del dominio Termomediterráneo en una parte seca de influencia atlántica y otra húmeda de influencia mediterránea ocurre al cortar el dendrograma para producir 14 clases. Estas dos clases fueron percibidas como importantes y se incorporaron como subdominios en el nivel 5.
- **Nivel 6. Sectores.** El segundo detalle mencionado en el nivel 4 aparece bien delimitado en el corte del dendrograma a 36 clases. Algunas de ellas fueron incorporadas en el nivel 6 como sectores, es decir, como zonas individualizadas dentro de dominios existentes. Se trata de la depresión del Ebro y páramos de Albacete (3627), el arco árido murciano-almeriense (3633) y las sierras litorales catalanas y alicantinas (3628).

Pueden observarse los límites del proceso de decisión asociado con la selección de manchas para definir la regionalización. Es posible seleccionar tantos niveles de corte del dendrograma como se considere relevante para describir el clima del área de estudio. También se puede ampliar el detalle solo en ciertas clases de un nivel dado, subdividiéndolas total o parcialmente a partir de clases concretas de niveles más detallados.

Sin embargo, diferentes manchas de una clase no se deberían considerar como clases distintas, aunque estén separadas geográficamente, ni tampoco se debería modificar manualmente los límites de una clase dada. El primero de estos casos puede relacionarse con la sierra de Tramontana en las islas Baleares, que es asignado a la ecorregión Atlántica en la zona más alta del dendrograma. Ello sucede probablemente porque se encuentra a barlovento de las precipitaciones sinópticas, y su régimen de precipitación es suficientemente parecido al de otras zonas propiamente atlánticas. Aunque sus influencias biogeográficas sean diferentes a éstas, probablemente es preferible preservar el parecido climático objetivo y usarlo como fuente de hipótesis, que cambiar manualmente su asignación convirtiéndola en un híbrido donde hechos numéricos e interpretaciones subjetivas se mezclan de forma irreconocible.



6. CONCLUSIONES

Este estudio presenta una regionalización bioclimática de la península ibérica y Baleares, basada en un procedimiento numérico que opera sobre bases de datos geoespaciales. La regionalización es jerárquica y consta de seis niveles, que implican particiones sucesivas del territorio, que son totales en los cuatro niveles superiores, y parciales en los dos más detallados. Los nombres atribuidos a esos niveles (y su número de clases) son los siguientes: ecorregiones (2), ecorregiones (3), subregiones (4), dominios (8), subdominios (8+1) y sectores (9+3). El uso primario para este producto es la interpretación del clima como principal fuente de variación para la distribución de ecosistemas terrestres zonales en el área de estudio.

La regionalización solo puede darse por válida mediante demostración frente a otras clasificaciones equivalentes, tanto en su uso pretendido como su estructura espacial. Seis clasificaciones de referencia fueron aplicadas para ello: clases de Köppen-Geiger, biomas, ecorregiones, subregiones fitoclimáticas, regiones biogeográficas y pisos bioclimáticos. Todas ellas mostraron parecidos interpretables y significativos con la regionalización. En general, el parecido de una clasificación de referencia dada mostraba su máximo con el nivel de la regionalización que tuviera un número similar de clases, independientemente de la clasificación elegida. Estos resultados apoyan la validez de la regionalización.

La regionalización tiene mayor semejanza con las clasificaciones elaboradas específicamente para Iberia, un resultado remarcable considerando que todas ellas tienen orígenes distintos. Los mapas de regiones biogeográficas y de pisos bioclimáticos de Rivas-Martínez resultaron particularmente semejantes, y por ello inspiraron la terminología aplicada a los cuatro niveles superiores de la regionalización.

Este estudio obedeció a objetivos concretos relacionados con el estado de conservación de ecosistemas en España peninsular. Creemos haberlos alcanzado, especialmente tras desarrollar un ejercicio de demostración para el que no se han encontrado precedentes. Sin embargo, también creemos que uno de sus mayores atractivos es demostrar que es posible producir regionalizaciones consistentes, objetivas e interpretables para otras áreas con soportes más débiles de datos y experiencia.

El procedimiento separa netamente una fase numérica que no requiere intervención alguna, de otra más interpretativa en la que es necesario tomar decisiones explícitas. Algunas de estas pueden ser tomadas por un operador con experiencia en taxonomía numérica, aunque no conozca el área de estudio, pero la selección final de niveles y su interpretación debería ser informada por un experto en el campo para el que se usará el producto final, en este caso geobotánica.

La regionalización aquí presentada, y otras equivalentes que pudieran producirse para otros sitios, nunca podrán sustituir a clasificaciones de referencia construidas por expertos regionales. Estas resultan de años de trabajo exhaustivo, e incorporan correcciones casuísticas que no pueden ser predichas mediante tendencias estadísticas generales. Pero sí pueden ser aplicables cuando esas referencias están parcial o totalmente ausentes del área de estudio, y también pueden ser una fuente de hipótesis cuando la realidad reflejada en una clasificación de referencia contradice algún resultado de la regionalización.



7. REFERENCIAS

- Allué J L. 1990. Mapa de Subregiones Fitoclimáticas de España Peninsular y Balear. Dirección General de Medio Natural y Política Forestal. Ministerio de Medio Ambiente, y Medio Rural y Marino. Madrid.
- Belbin L. 1987. The Use of Non-hierarchical Allocation Methods for Clustering Large Sets of Data. *The Australian Computer Journal*. 19(1): 32-41.
- Belbin L & Collins A. 2009. PATN Version 3.12. Blatant Fabrications Pty Ltd. <http://www.patn.com.au/>.
- Benito M, Sánchez R & Sainz H. 2008. Effects of climate change on the distribution of Iberian tree species. *Applied Vegetation Science*. 11(2): 169-178.
- Del Barrio G, Creus J & Puigdefabregas J. 1990. Thermal Seasonality of the High Mountain Belts of the Pyrenees. *Mountain Research and Development*. 10(3): 227–233.
- Del Barrio G, Puigdefabregas J, Sanjuan M E, Stellmes M & Ruiz-Moreno A. 2010. Assessment and monitoring of land condition in the Iberian Peninsula, 1989–2000. *Remote Sensing of Environment*. 114(8): 1817–1832.
- Eccel E, Cordano E & Toller G. 2016. ClimClass: Climate Classification According to Several Indices. R package version 2.1.0. <https://cran.r-project.org/package=ClimClass>.
- GCOS. 2010. Guideline for the Generation of Datasets and Products Meeting GCOS Requirements GCOS-143 (WMO/TD No. 1530). World Meteorological Organization. Geneva.
- Hijmans R J, Cameron S E, Parra J L, Jones P G & Jarvis A. 2005. Very high resolution interpolated climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology*. 25: 1965–1978.
- Hijmans R J & Etten J van. 2014. raster: Geographic data analysis and modeling. R package version 2.2-31. <http://cran.r-project.org/package=raster>.
- Hijmans R J, Phillips S, Leathwick J & Elith J. 2015. dismo: Species Distribution Modeling. R package version 1.0-12. <http://cran.r-project.org/package=dismo>.
- Hutchinson M F & Xu T. 2013. ANUSPLIN VERSION 4.4 User Guide. Fenner School of Environment and Society. Canberra. <http://fennerschool.anu.edu.au/research/products/anusplin-vrsn-44>.
- Köppen W, Volken E & Brönnimann S. 2011. The thermal zones of the Earth according to the duration of hot, moderate and cold periods and to the impact of heat on the organic world. *Meteorologische Zeitschrift*. 20(3): 351–360.
- Olson D M, Dinerstein E, Wikramanayake E D, Burgess N D, Powell G V N, Underwood E C, D'amico J A, Itoua, Strand H E, Morrison J C, Loucks C J, Allnutt T F, Ricketts T H, Kura Y, Lamoreux J F, Wettengel W W, Hedao P & Kassem K R. 2001. Terrestrial Ecoregions of the World: A New Map of Life on Earth. *Bioscience*. 51(11): 933-938.
- Peel M C, Finlayson B L & McMahon T A. 2007. Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification. *Hydrology and Earth System Sciences Discussions, European Geosciences Union*. 11(5): 1633–1644.



Rivas-Martínez S. 1987. Memoria del Mapa de Series de Vegetación de España 1: 400.000. ICONA - Ministerio de Agricultura, Pesca y Alimentación. Madrid. 268 pp.

https://www.miteco.gob.es/es/biodiversidad/servicios/banco-datos-naturaleza/informacion-disponible/memoria_mapa_series_veg.aspx

Rivas-Martínez S & Rivas-Saenz S. 1996-2019. Worldwide Bioclimatic Classification System. Phytosociological Research Center. <http://www.globalbioclimatics.org/>.

Ruiz-Moreno A, del Barrio G & Sanjuan M E. 2011. A 1970-2010 archive of climate surfaces for the Iberian Peninsula. <https://digital.csic.es/handle/10261/126572>.

Siegel S & Castellan N J. 1988. Nonparametric Statistics for the Behavioural Sciences. 2nd edition. McGraw-Hill. Boston.

Signorelli A. 2017. DescTools: Tools for descriptive statistics. R package version 0.99.22. <https://cran.r-project.org/package=DescTools>.

Trewartha G T & Lyle H H. 1980. An Introduction to Climate. 5th edition. MacGraw-Hill. New York

Walter H & Lieth H. 1967. Klimadiagram Weltatlas. Gustav Fischer Verlag. Jena.

WMO. 2011. Guide to Climatological Practices (WMO-No. 100). World Meteorological Organization. Geneva.

Xu T B & Hutchinson M F. 2016. ANUCLIM version 6.1 User Guide. Fenner School of Environment and Society. Canberra.



ANEXO I. Mapas de las clasificaciones de referencia

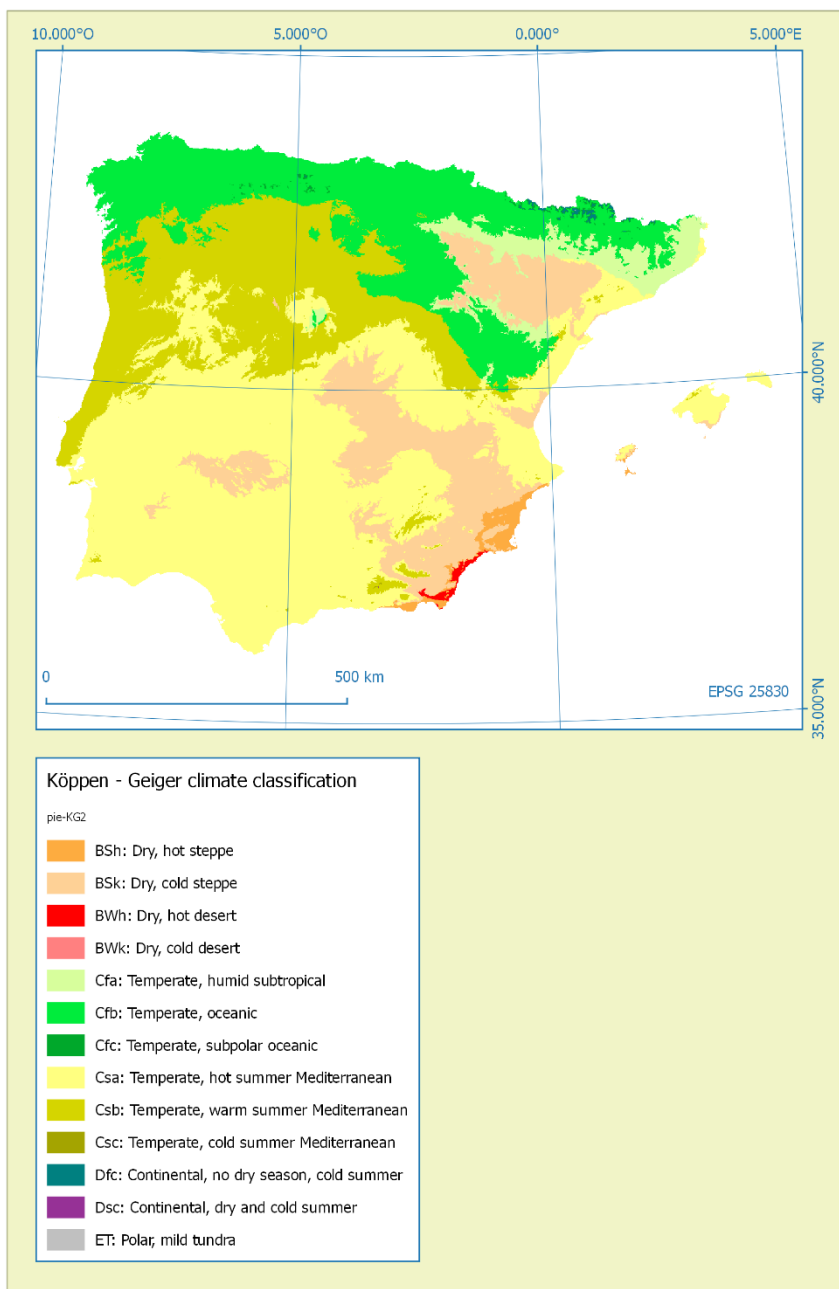


Figura I.1 Clasificación climática de referencia. Fuente: elaboración propia a partir de Köppen-Geiger según (Trewartha & Lyle 1980), implementada según (Eccel *et al.* 2016).

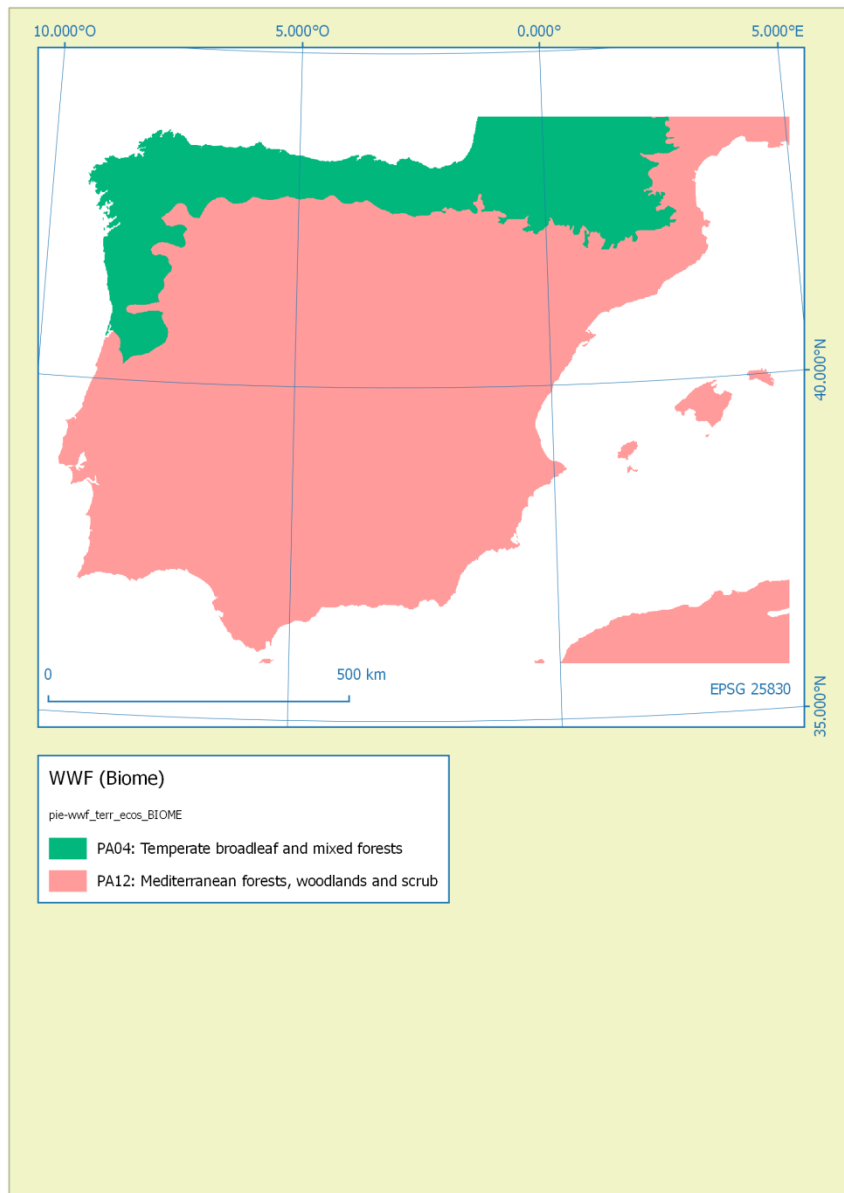


Figura I.2 Biomas de *World Wildlife Foundation* (WWF). Fuente: elaboración propia a partir de Olson *et al.* (2001).

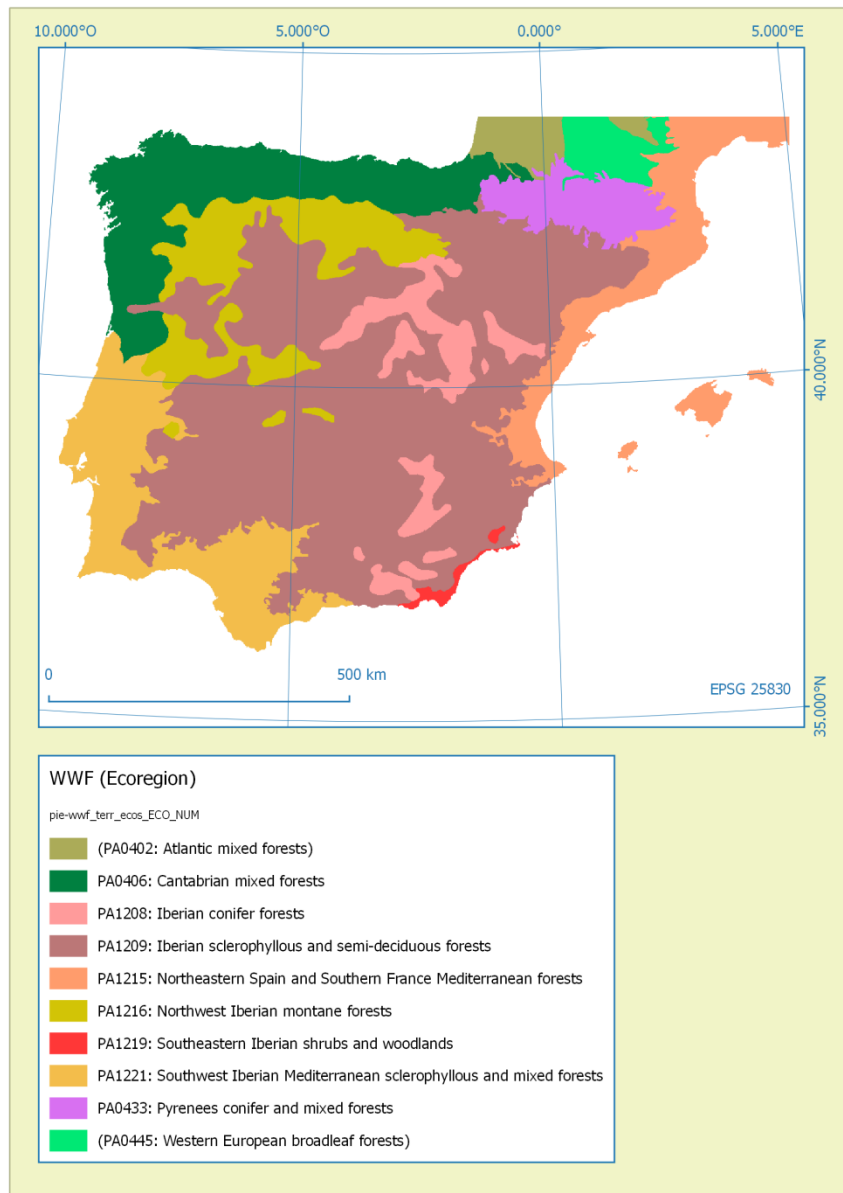


Figura I.3 Ecorregiones de *World Wildlife Foundation* (WWF). Fuente: elaboración propia a partir de Olson *et al.* (2001).

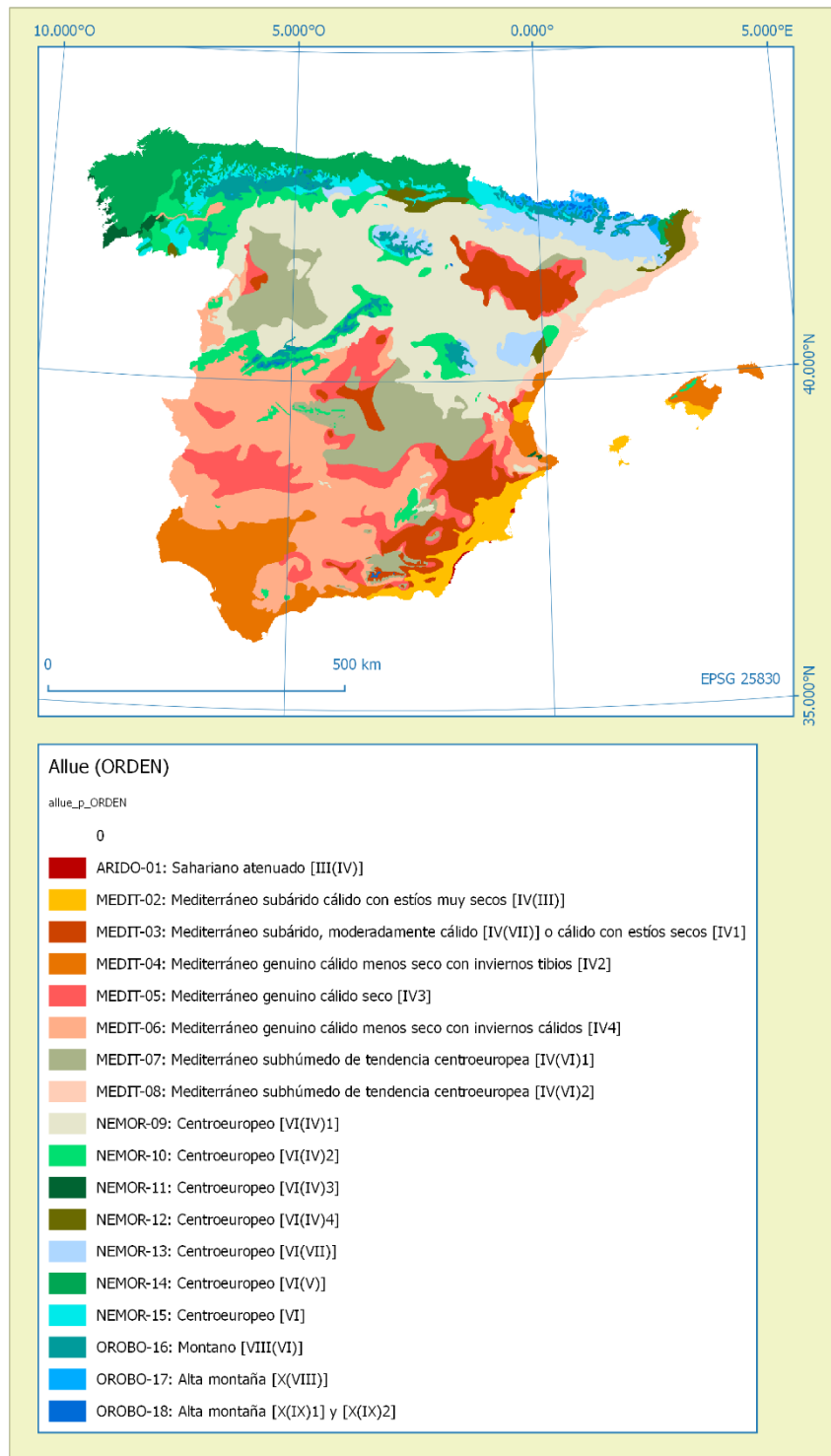


Figura I.4 Subregiones fitoclimáticas del Atlas Fitoclimático de España (órdenes). Fuente: elaboración propia a partir de Allué (1990).

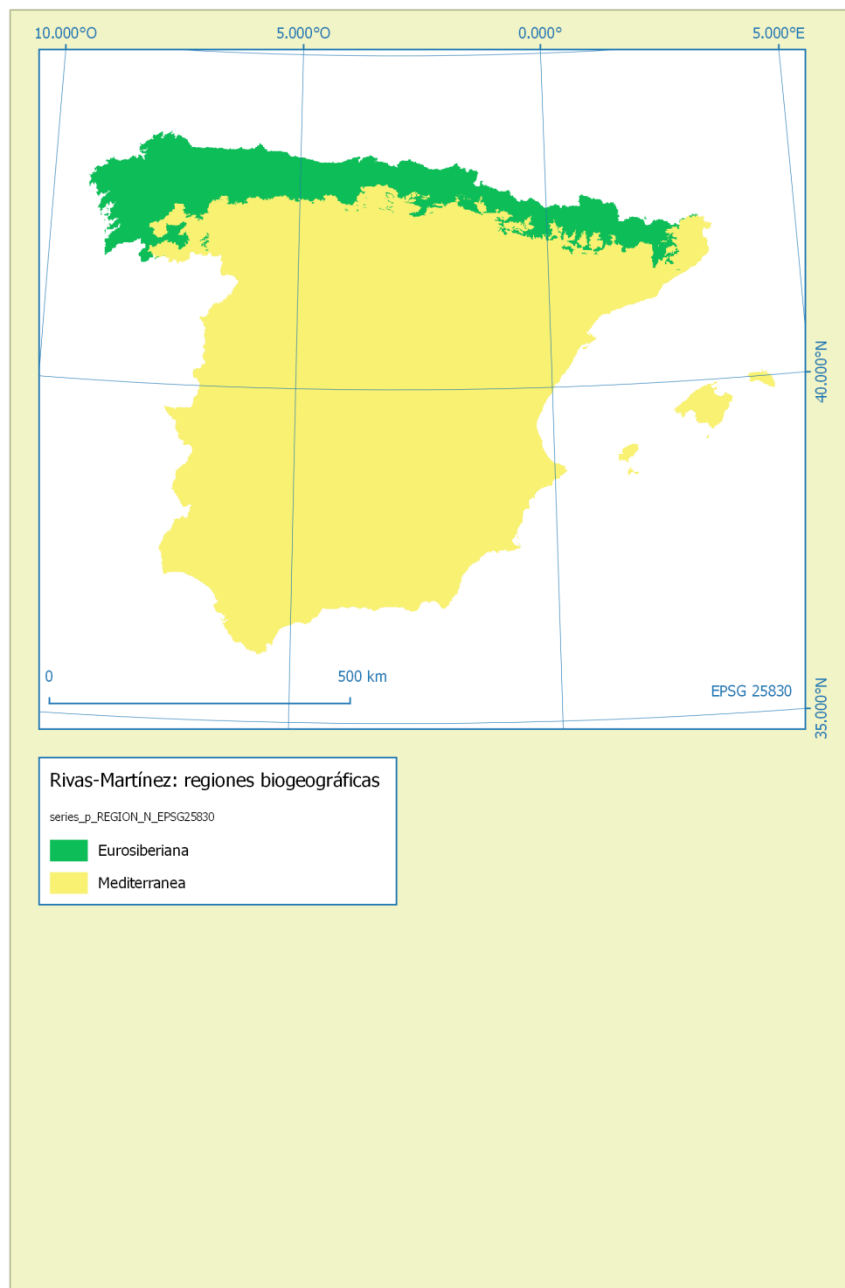


Figura I.5 Regiones biogeográficas de Rivas-Martínez. Fuente: elaboración propia a partir de Rivas-Martínez (1987) y Rivas-Martínez & Rivas-Saenz (1996-2019).

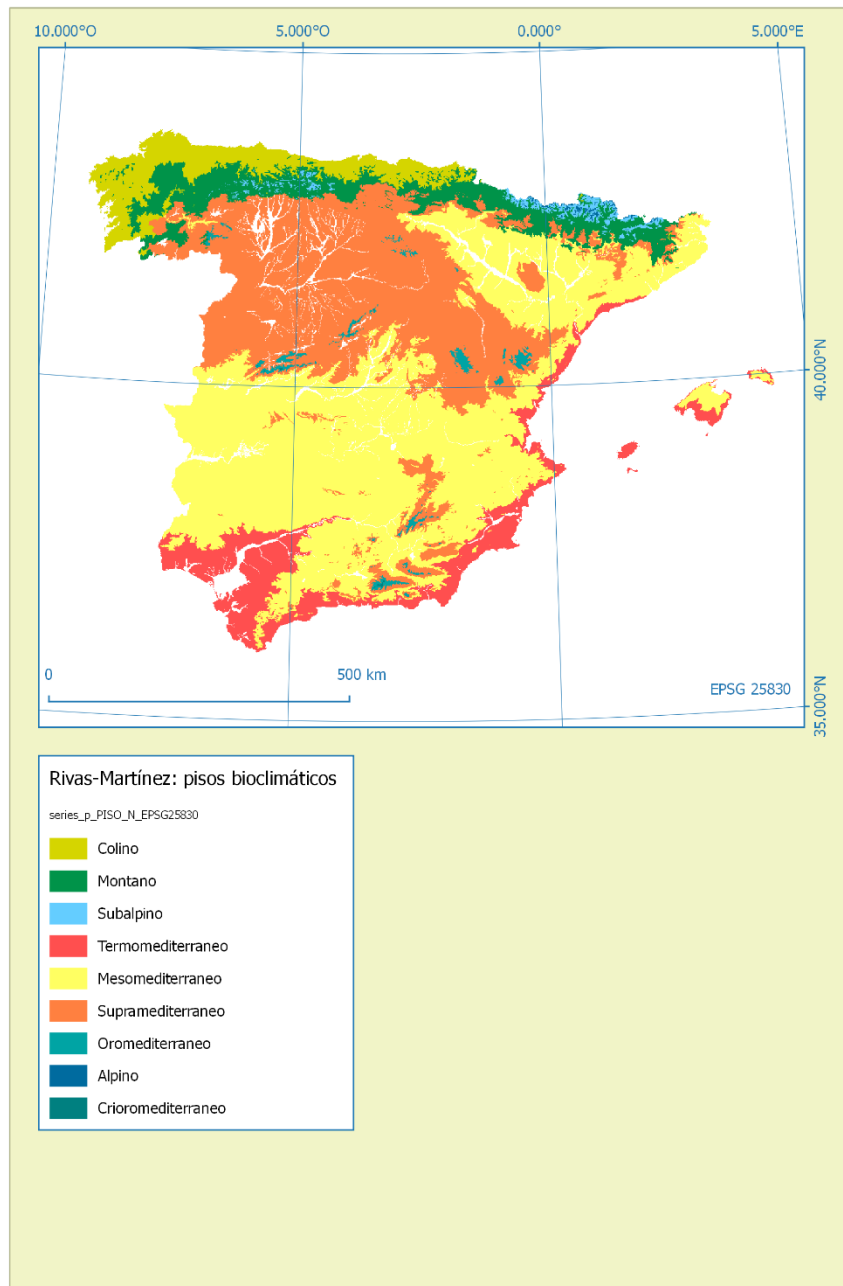


Figura I.6 Pisos bioclimáticos de Rivas-Martínez. Fuente: elaboración propia a partir de Rivas-Martínez (1987) y Rivas-Martínez & Rivas-Saenz (1996-2019).



ANEXO II. Mapas de la regionalización climática

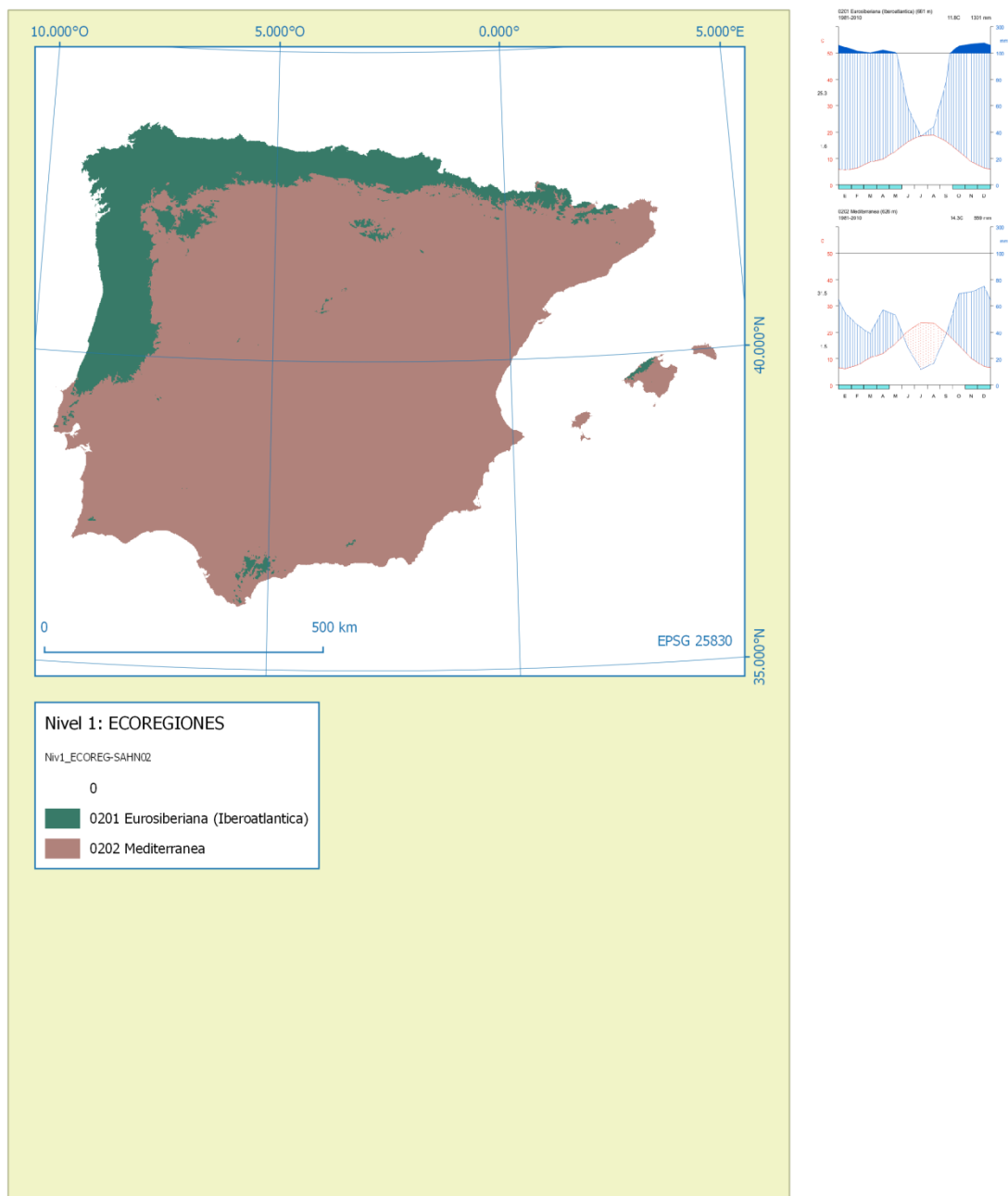


Figura II.1 Mapa de regionalización climática. Nivel 1 de la clasificación (ecorregiones). Fuente: elaboración propia.

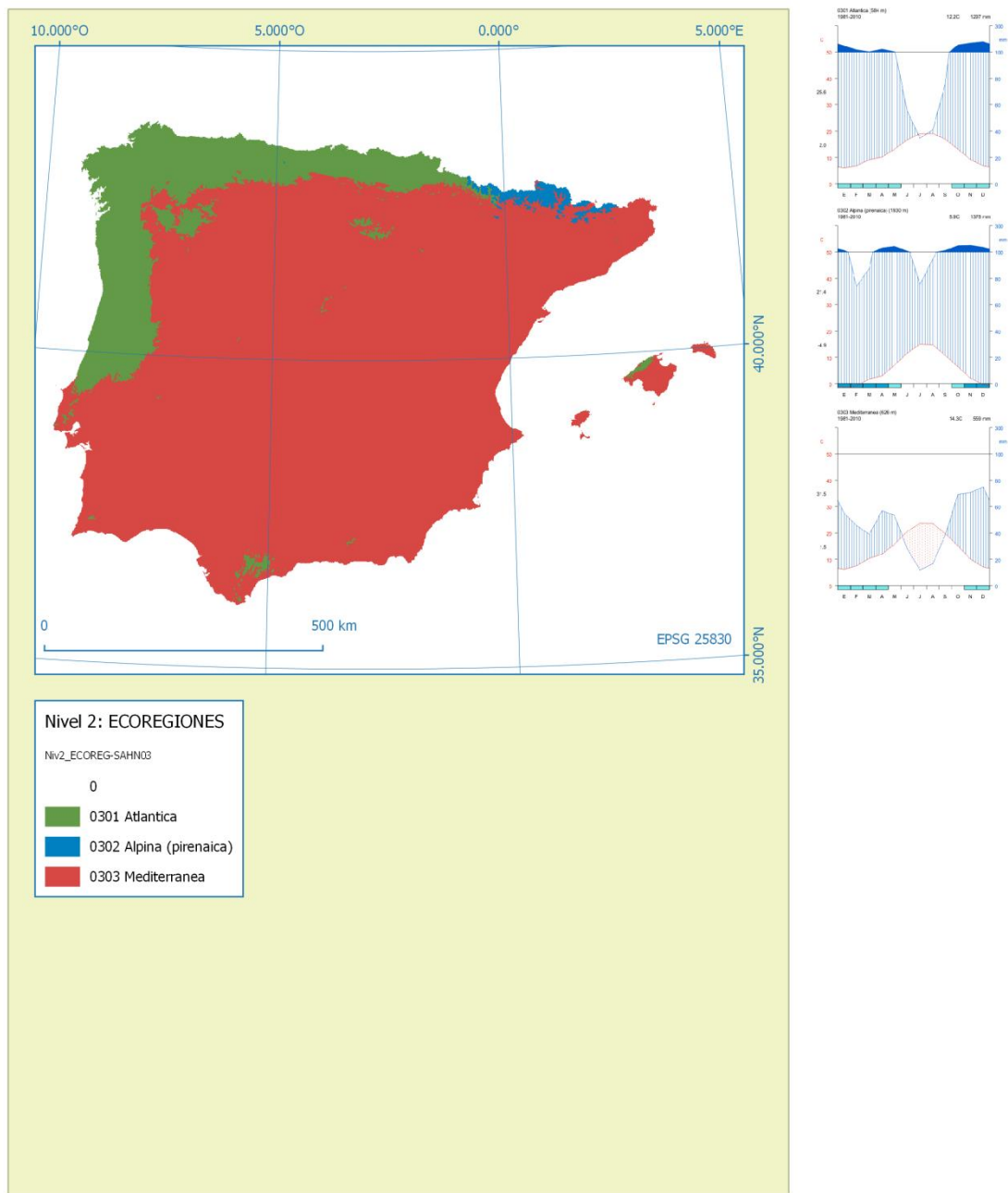


Figura II.2 Mapa de regionalización climática. Nivel 2 de la clasificación (ecorregiones). Fuente: elaboración propia.

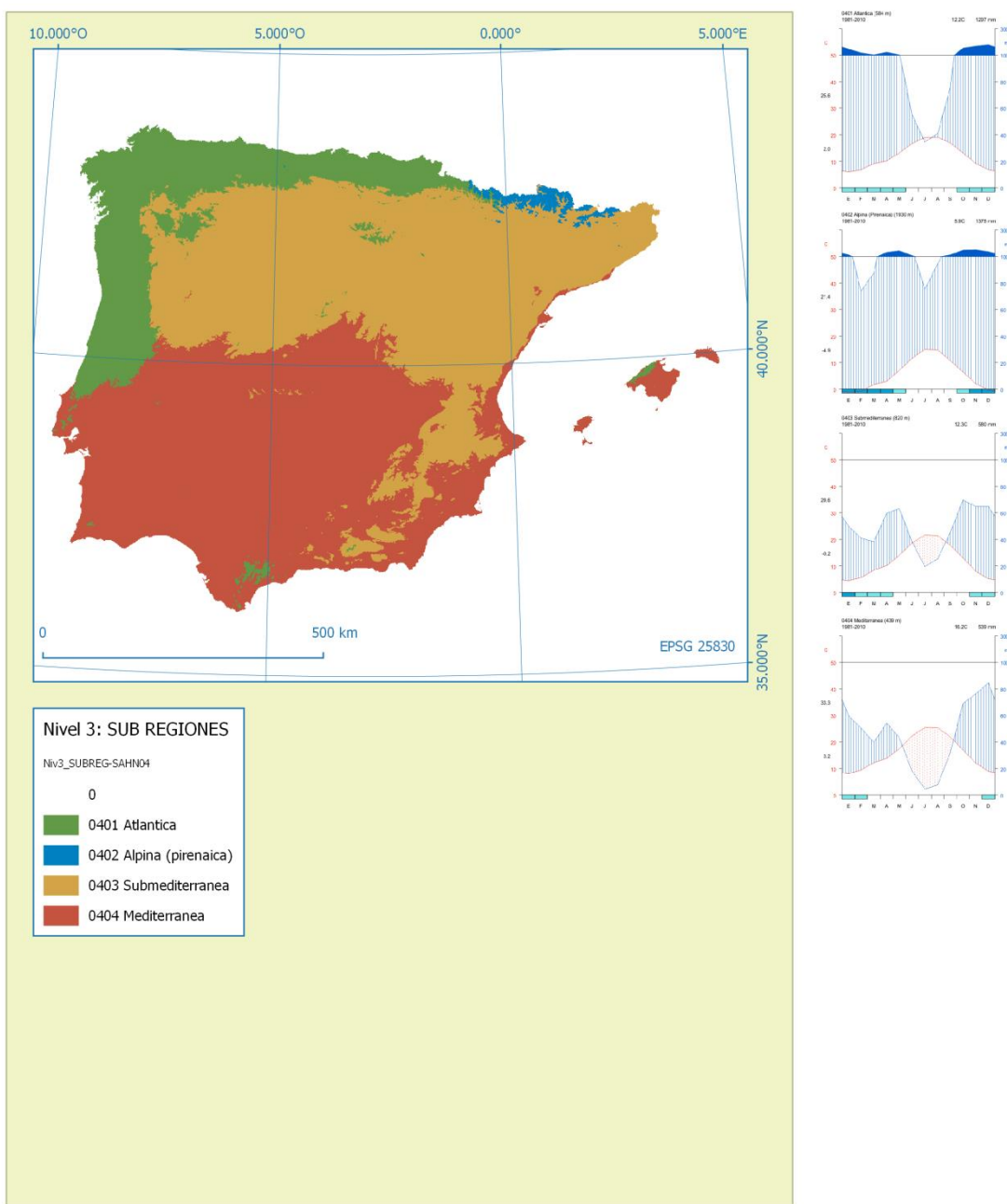


Figura II.3 Mapa de regionalización climática. Nivel 3 de la clasificación (subregiones). Fuente: elaboración propia.

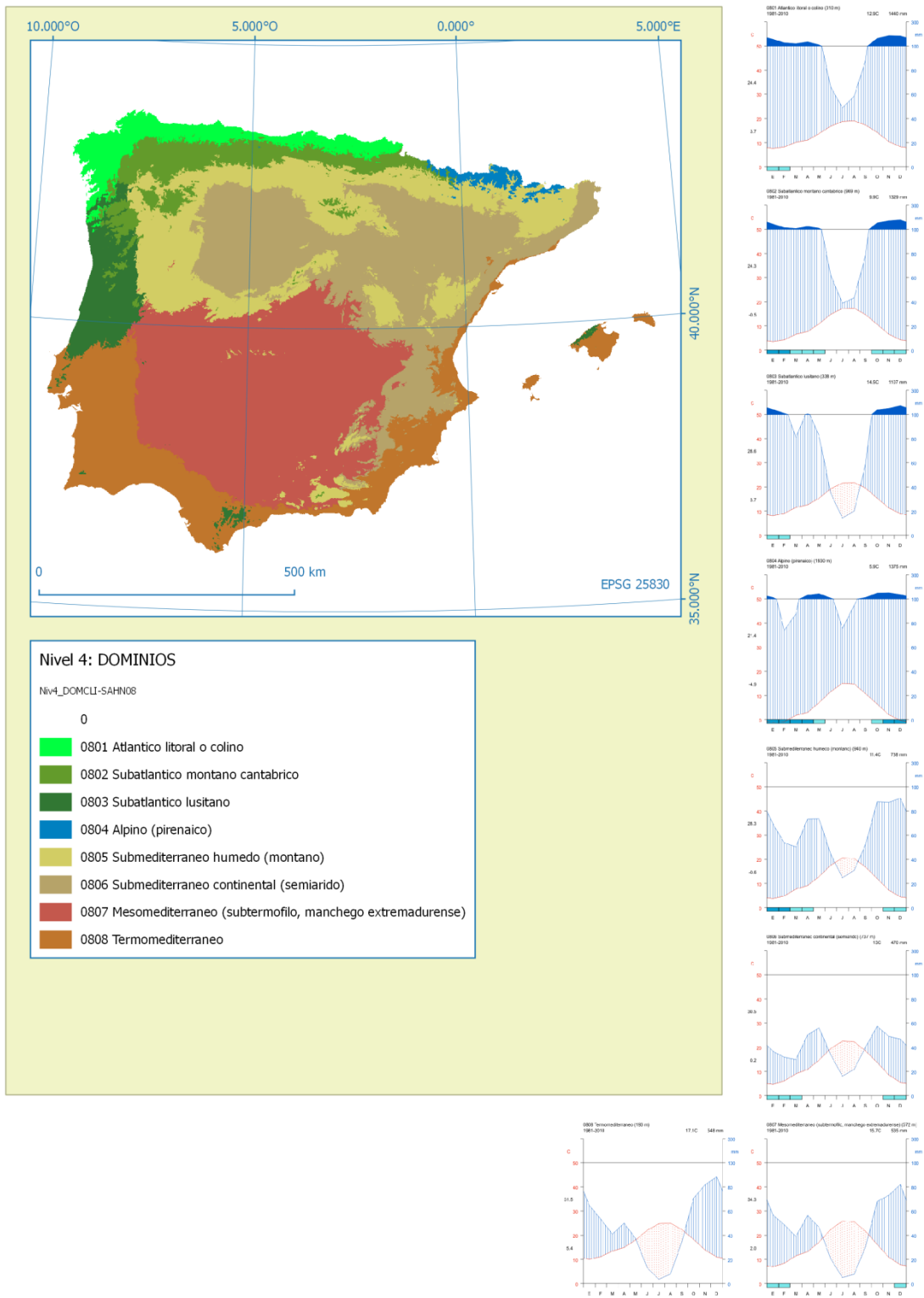


Figura II.4 Mapa de regionalización climática. Nivel 4 de la clasificación (dominios). Fuente: elaboración propia.

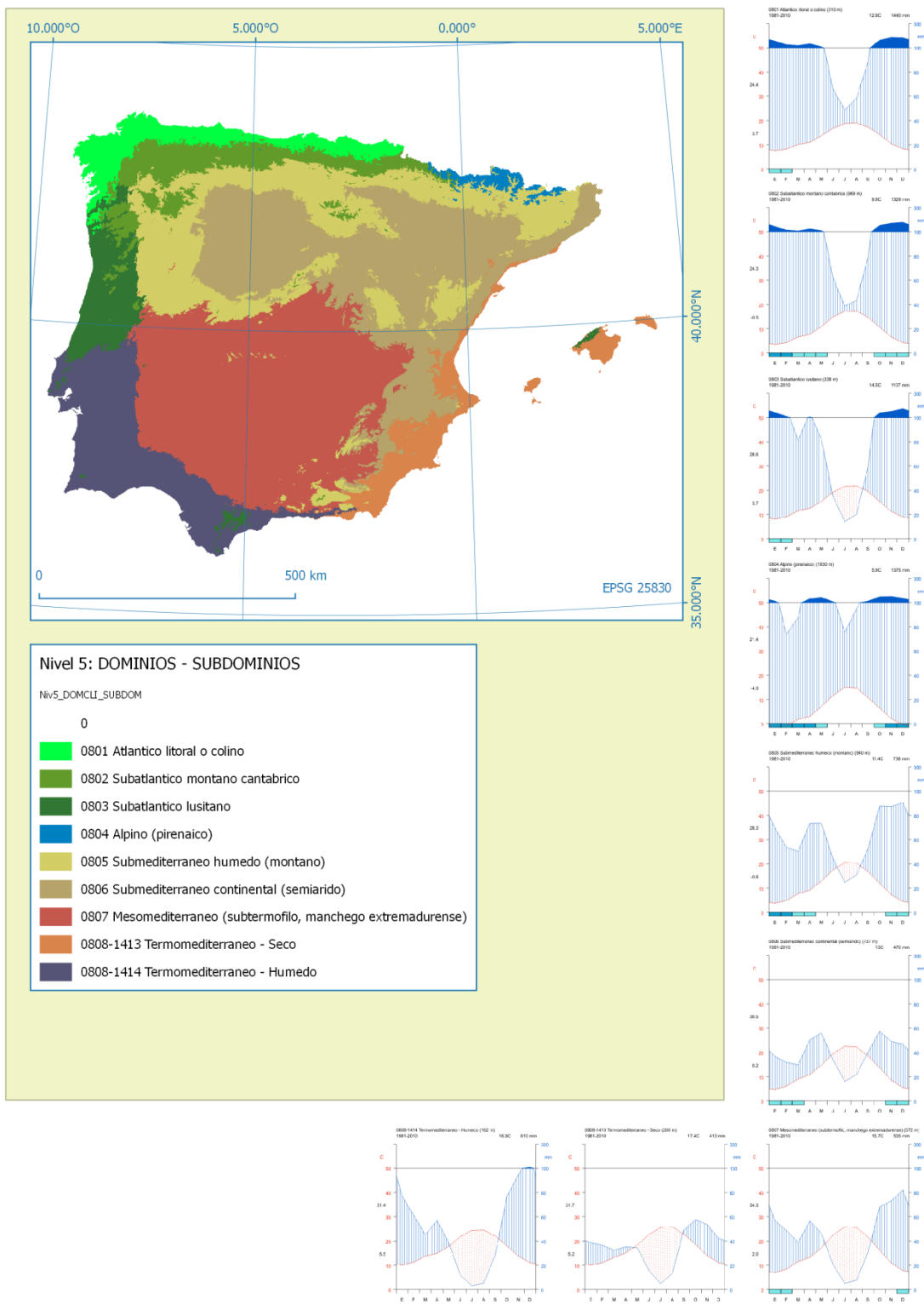


Figura II.5 Mapa de regionalización climática. Nivel 5 de la clasificación (dominios - subdominios). Fuente: elaboración propia.

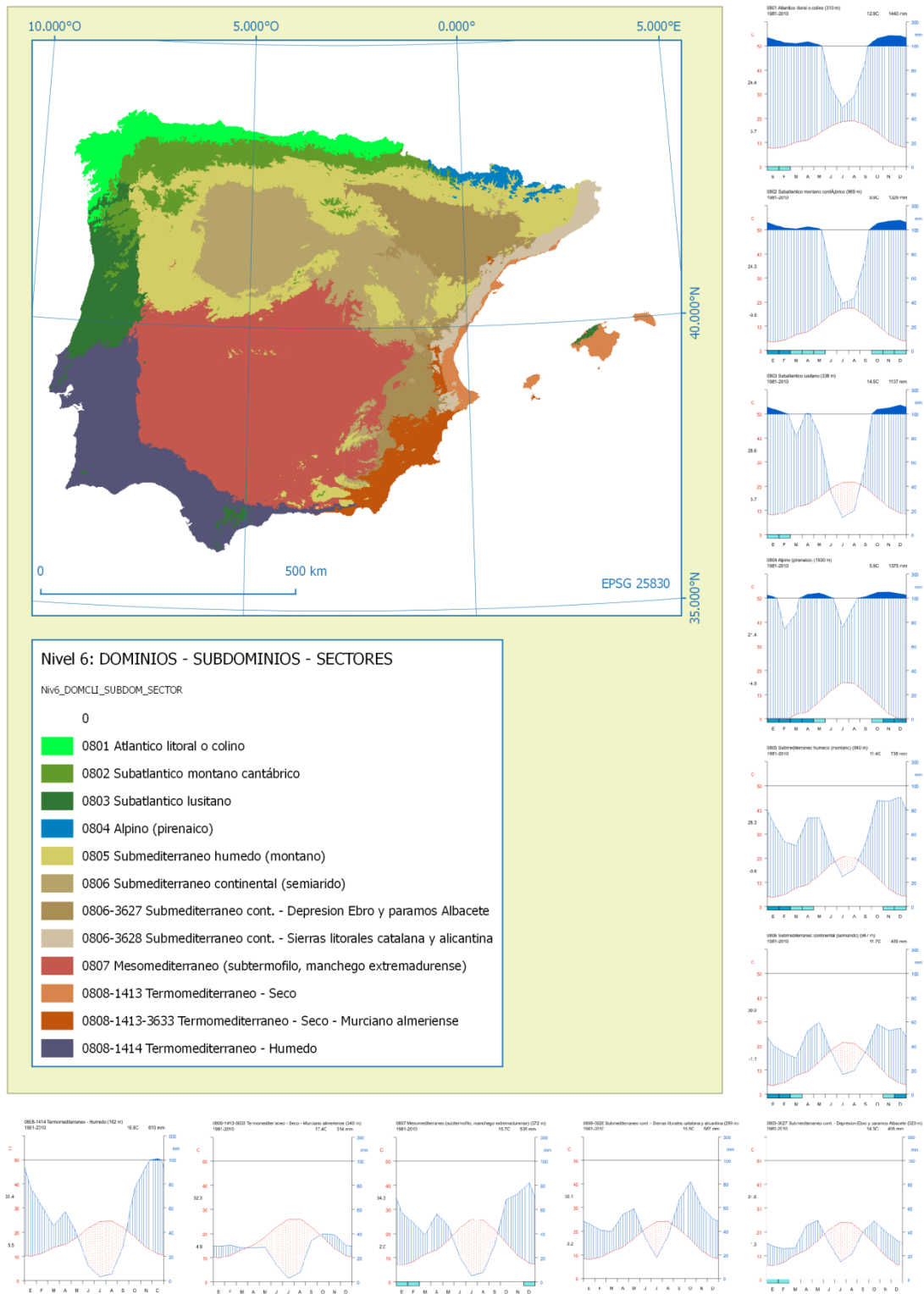


Figura II.6 Mapa de regionalización climática. Nivel 6 de la clasificación (dominios – subdominios – sectores). Fuente: elaboración propia.