

Pisos bioclimáticos para la Cuenca Mediterránea como capas SIG de acceso abierto

Claudio Açaí Bracho-Estévez^{1,*} , Lucía Acevedo-Limón¹ , Beatriz Rumeu¹ , Juan P. González-Varo¹ 

(1) Depto. de Biología, IVAGRO, Universidad de Cádiz, Campus Río San Pedro, Puerto Real, Cádiz, España.

*Autor de correspondencia: Claudio A. Bracho Estévez [claudio.bracho@uca.es]

> Recibido el 31 de mayo de 2023 - Aceptado el 04 de agosto de 2023

Como citar: Bracho-Estévez, C.A., Acevedo-Limón, L., Rumeu, B., González-Varo, J.P. 2023. Pisos bioclimáticos para la Cuenca Mediterránea como capas SIG de acceso abierto. *Ecosistemas* 32(3):2571. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2571>

Pisos bioclimáticos para la Cuenca Mediterránea como capas SIG de acceso abierto

Resumen: Entender cómo se distribuye la biodiversidad terrestre y los tipos de vegetación en relación con el clima es fundamental en ecología. Se han desarrollado diversos sistemas bioclimáticos para clasificar las zonas de vida del planeta. Entre ellos, el sistema de clasificación bioclimática global de Rivas-Martínez permite categorizar el territorio en pisos bioclimáticos a partir de variables climáticas. De este modo, los continuos climáticos se expresan como categorías discretas que resultan útiles para hacer inferencias sobre las comunidades ecológicas y el funcionamiento de los ecosistemas. Sin embargo, la distribución de los pisos bioclimáticos no está disponible ni completamente ni de forma unificada para el conjunto de la Cuenca Mediterránea, un punto caliente de biodiversidad con gran amplitud bioclimática. En el presente trabajo, hemos solventado este vacío de información siguiendo las reglas del sistema de clasificación bioclimática global de Rivas-Martínez para generar un mapa de pisos bioclimáticos de toda la Cuenca Mediterránea, a una resolución de 30 segundos (~ 1 km). Para ello, hemos utilizado las bases de datos de temperatura de *WorldClim* y el software R como Sistema de Información Geográfica (SIG) para operar con las capas ráster de interés (índices de temperatura positiva, de continentalidad, de termicidad, y de termicidad compensada). El código R y las capas bioclimáticas resultantes están disponibles tanto en formato vectorial como ráster en un repositorio de acceso abierto.

Palabras clave: bioclima; bioma; termotipo; zonas de vida

Bioclimatic belts for the Mediterranean Basin as open access GIS layers

Abstract: Understanding how the distribution of terrestrial biodiversity and vegetation types relate to climate is a fundamental goal in ecology. Several bioclimatic systems have been developed to classify the life zones of the world. Among them, the global bioclimatic classification system by Rivas-Martínez allows to categorize the territory into bioclimatic belts according to climatic variables. This way, climatic continua are expressed as discrete categories that prove useful for inference about ecological communities and ecosystem functioning. However, the distribution of bioclimatic belts is not available either fully or in a unified way for the whole Mediterranean Basin, a biodiversity hotspot including a large bioclimatic breadth. To fill this information gap, we followed the rules of the global bioclimatic classification system of Rivas-Martínez and generated a bioclimatic belt map of the whole Mediterranean Basin at a resolution of 30 seconds (~1 km). We used the *WorldClim* temperature database and the R software as a Geographic Information System (GIS) to operate with the raster layers of interest (indices of positive temperature, continentality, thermicity, and compensated thermicity). The R code and resulting bioclimatic layers in vector and raster formats are available in an open access repository.

Key words: bioclimate; biome; life zones; thermotype

Antecedentes y resumen ampliado

El estudio de la relación entre climatología y comunidades biológicas goza de una larga tradición científica. Desde tiempos de [Humboldt y Bonpland \(1807\)](#) hasta la actualidad, se han sucedido esfuerzos para clasificar la vida silvestre a lo largo de gradientes climáticos ([Hunter et al. 2021](#); [Loidi et al. 2022](#)). La composición y estructura de la vegetación es un claro ejemplo de ello al depender, en gran medida, de variables climáticas como la temperatura ambiental del territorio en el que se encuentra ([Rivas-Martínez 1983](#); [Woodward y Williams 1987](#); [Mucina 2019](#)).

Uno de los sistemas más reconocidos para clasificar la tipología vegetal potencial de acuerdo a variables climáticas fue presentado por [Rivas-Martínez y colaboradores \(2011\)](#). Con el título "*Worldwide bioclimatic classification system*", la propuesta de estos autores permite estratificar, de forma jerárquica y

siguiendo un conjunto de reglas, las unidades bioclimáticas terrestres utilizando parámetros climáticos (como la temperatura media anual) e índices bioclimáticos (como el índice de continentalidad). Investigaciones posteriores como la de [Pesaresi \(2014\)](#), [Ighbareyeh \(2014\)](#) o [Andrade y Contente \(2020\)](#) han aplicado convenientemente este sistema de clasificación bioclimática a regiones específicas de la Cuenca Mediterránea, utilizando para ello fuentes de datos climatológicos abiertos como *WorldClim*.

Los pisos bioclimáticos son una fuente de información importante para entender la distribución de especies vegetales o animales particulares ([Outomuro et al. 2010](#); [Guzmán et al. 2017](#)) comunidades ecológicas ([Martín-Vega y Baz 2012](#)), enfermedades ([Garrido-Bailón et al. 2013](#); [Gálvez et al. 2020](#)), hábitos tróficos de la fauna ([García-Ocejo y Gurra 1991](#)), o el periodo de fructificación de plantas con fruto carnoso ([González-Varo et al. 2021](#)). Además, los pisos bioclimáticos son especialmente útiles

para mejorar las predicciones sobre la distribución futura de hábitats (Guisan y Zimmermann 2000), realizar imputaciones de datos (Conord et al. 2012; González-Varo et al. 2021), e inferir respuestas biológicas a escenarios pasados, presentes y futuros (Carrión et al. 2010; Jennings et al. 2011; Costa et al. 2017). A pesar de que es posible encontrar visualizaciones esquemáticas de los pisos bioclimáticos en investigaciones previas (Rivas-Martínez et al. 2011; Cano et al. 2017; Médail 2022), así como capas cartográficas descargables para algunos países concretos, a día de hoy no existe información geográfica abierta y en línea que permita acceder a los pisos bioclimáticos del conjunto de la Cuenca Mediterránea y operar directamente con ellos en un software SIG. En particular, faltan datos geoespaciales para gran parte de los países del norte de África y Oriente medio. Además, la información para Europa no se encuentra propiamente unificada y se debe acceder a ella a través de diferentes repositorios o fuentes de datos. Esta dispersión de la información disponible es especialmente relevante, puesto que la Cuenca Mediterránea constituye un punto caliente de biodiversidad global (Comes 2004; Médail & Myers 2004; Cuttelod et al. 2008) y es una de las regiones más vulnerables al cambio climático antropogénico (Regos 2016; Pausas y Millán 2019; Tuel y Eltahir 2020). El presente trabajo solventa esta falta de información ofreciendo un conjunto de capas geográficas (así como rásteres preparatorios adicionales) con los pisos bioclimáticos para toda la Cuenca Mediterránea, listas para ser descargadas e incorporadas en cualquier sistema de información geográfica sin necesidad de procesamientos previos.

Background and Summary

The study of the relationship between climatology and biological communities has a long scientific tradition. From the times of Humboldt and Bonpland (1807) until present, many efforts have been made to classify biodiversity along climatic gradients (Hunter et al. 2021; Loidi et al. 2022). Accordingly, different classifications have been based on climatic variables, such as the environmental temperature of the territory where a given vegetation type and plant community can be found (Rivas-Martínez 1983; Woodward & Williams 1987; Mucina 2019).

One of the most recognized systems to classify the potential vegetation typology according to climatic variables was the "Worldwide bioclimatic classification system" proposed by Rivas-Martínez et al. (2011). This system allows to stratify, in a hierarchical way and following a set of rules, the terrestrial bioclimatic units using climatic parameters (such as the average annual temperature) and bioclimatic indices (such as the continentality index). Later investigations have properly applied this bioclimatic classification system to specific regions of the Mediterranean Basin, using open climatological data sources such as *WorldClim* (Pesaresi 2014; Ighbareyeh 2014; Andrade & Contente 2020).

Bioclimatic belts are an important source of information to understand the distribution of individual plant and animal species (Outomuro et al. 2010; Guzmán et al. 2017), ecological communities (Martín-Vega y Baz 2012), diseases (Garrido-Bailón et al. 2013; Gálvez et al. 2020), trophic habits of animals (García-Ocejo & Gurra 1991), or the fruiting period of fleshy-fruited plants (González-Varo et al. 2021). Besides, bioclimatic belts are particularly useful to improve predictions on habitat occurrence (Guisan & Zimmermann 2000), make data imputation (Conord et al. 2012; González-Varo et al. 2021), and infer biological responses to past, present, and future scenarios (Carrión et al. 2010; Jennings et al. 2011; Costa et al. 2017). Despite some previous literature offering schematic visualizations (Rivas-Martínez et al. 2011; Cano et al. 2017; Médail 2022) or downloadable layers restricted to particular countries, to date, there are no open, on-line geographical resources to access the bioclimatic belts of the whole Mediterranean Basin and directly operate with them in a GIS software. Specifically, there is a lack of available geospatial data for most countries across North Africa and the Middle East.

In addition, the information for Europe is not unified but available for the different countries at different repositories or sources of information. This scattering of the available information is particularly relevant as the Mediterranean Basin constitutes a global biodiversity hotspot (Comes 2004; Médail & Myers 2004; Cuttelod et al. 2008) as well as one of the most vulnerable regions to anthropogenic climate change (Regos 2016; Pausas y Millán 2019; Tuel & Eltahir 2020). Here, we fill this lack of information by offering a set of geographic layers with the bioclimatic belts of the whole Mediterranean Basin (and additional prepping rasters), ready to be downloaded and incorporated, without pre-processing, in any geographic information system.

Material y Métodos

Área de estudio

El área de estudio incluye los territorios del bioma mediterráneo localizados en la cuenca homónima. Dichos territorios ocupan un área total de 2 041 542 km² repartidos entre el sur de Europa, el norte de África, Oriente Medio y las islas mediterráneas. Los límites del bioma de estudio se establecieron siguiendo a Dinerstein et al. (2017) y fueron descargados en formato vectorial del repositorio online <http://ecoregions.appspot.com>.

Clasificación bioclimática

El "Worldwide bioclimatic classification system" propuesto por Rivas-Martínez et al. (2011) organiza las unidades bioclimáticas terrestres en cuatro categorías o niveles de clasificación. La categoría más amplia corresponde a los macroclimas o biomas (p. ej. bioma mediterráneo), que a su vez se pueden subdividir en bioclimas definidos por condiciones climáticas particulares del bioma (p. ej. bioclima mediterráneo desértico). Por último, estos bioclimas se subdividen en distintos pisos bioclimáticos o termotipos definidos por las condiciones de temperatura (p. ej. inframediterráneo) y en ombrotipos definidos por las condiciones de precipitación (p. ej. subhúmedo). Para definir el piso bioclimático al que corresponde una localidad se deben considerar índices bioclimáticos (ver [Tabla 1](#)) que, a su vez, dependen de las temperaturas máximas, mínimas o medias mensuales o anuales de dicha localidad (ver próxima sección).

Operaciones espaciales en R

Con el fin de clasificar nuestra área de estudio en los distintos pisos bioclimáticos propuestos por Rivas-Martínez et al. (2011), ejecutamos un conjunto de operaciones ráster en el software R v.4.1.1, utilizando los paquetes *terra* (1.7-29) (Hijmans 2022b) y *raster* (3.5-15) (Hijmans 2022a). Los datos iniciales de temperatura fueron extraídos de la base de datos *WorldClim* (versión 2.1, Fick y Hijmans 2017) y se correspondieron con las capas de temperatura media mensual, media de temperaturas máximas mensuales, media de temperaturas mínimas mensuales y temperatura media anual. La información se descargó en formato ráster, a escala global y con una resolución de 30 segundos (máximo detalle disponible para los datos consultados). El sistema de coordenadas geográficas utilizado fue el World Geodetic System 1984 (epsg.io/4326). Las capas ráster descargadas fueron recortadas al área de estudio utilizando una capa ráster base (delimitando el área de estudio), en nuestro caso cubriendo la superficie de bioma mediterráneo en dicha región.

Una vez homogeneizada la resolución de las capas geográficas de interés, utilizamos las capas de temperatura media mensual (T_i) para calcular el índice de temperatura positiva (T_p) ([Fig. 1](#)). Este índice resulta del sumatorio de valores por píxel para el conjunto de capas mensuales (en décimas de grado centígrado), excluyendo de la operación valores de temperatura mensual negativos.

$$T_p = \sum T_{i=1-12} > 0^{\circ}\text{C}$$

Tabla 1. Clasificación de los pisos bioclimáticos del área de estudio —en función de los índices: índice de termicidad (*It*), índice de termicidad compensado (*I_{tc}*) o índice de temperatura positiva (*T_p*)— de acuerdo con la metodología implementada (Rivas-Martínez et al. 2011).

Table 1. Classification of the bioclimatic belts of the study area —depending on the indices: thermicity index (*It*), compensated thermicity index (*I_{tc}*) or positive temperature index (*T_p*)— in agreement with the implemented methodology (Rivas-Martínez et al. 2011).

Pisos bioclimáticos	Condición de clasificación	
	Si $I_c < 21$ o $I_{tc} \geq 120$, uso de índices <i>It</i> o <i>I_{tc}</i>	Si $I_c \geq 21$ o $I_{tc} < 120$, uso del índice <i>T_p</i>
Inframediterráneo	> 450	> 2400
Termomediterráneo	450 - 350	2400 - 2100
Mesomediterráneo	350 - 220	2100 - 1500
Supramediterráneo	< 220	1500 - 900
Oromediterráneo	-	< 900

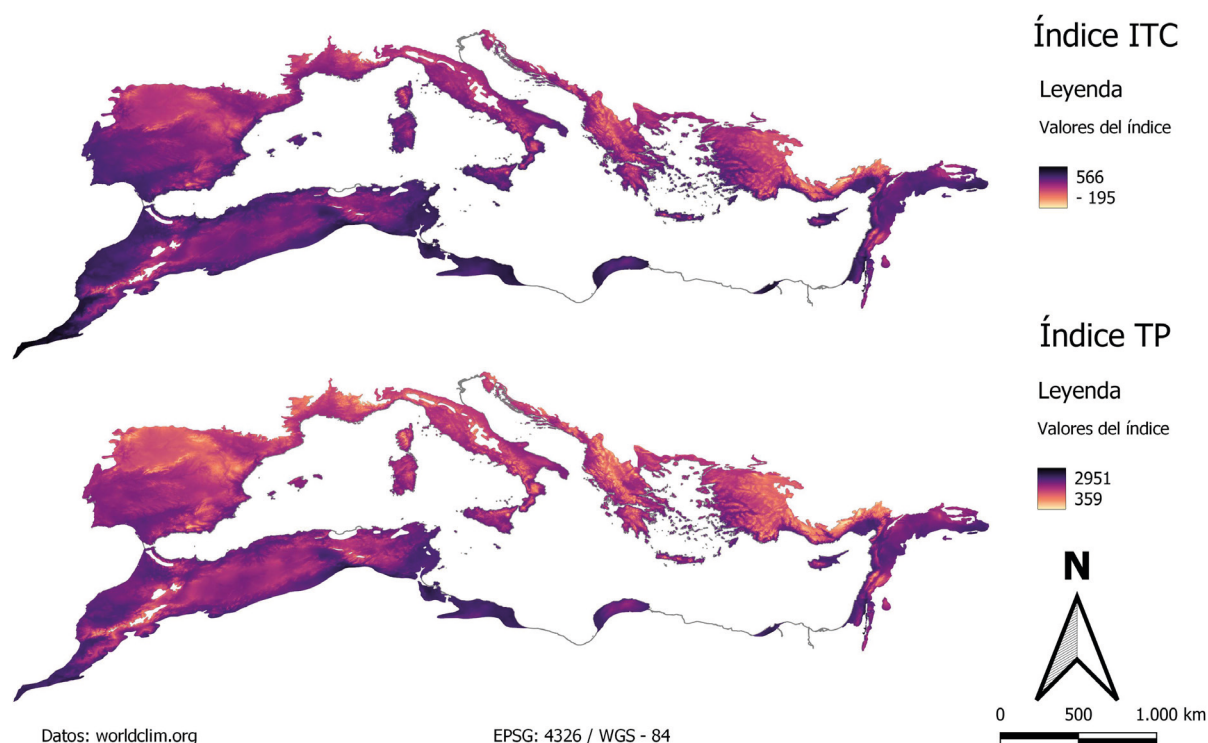


Figura 1. Visualización del índice de termicidad compensado (*I_{tc}*; Rivas-Martínez et al. 2011) y del índice de temperatura positiva (*T_p*; Rivas-Martínez et al. 2011) en la Cuenca Mediterránea.

Figure 1. Visualization of the compensated thermicity index (*I_{tc}*; Rivas-Martínez et al. 2011) and the positive temperature index (*T_p*; Rivas-Martínez et al. 2011) in the Mediterranean Basin.

Posteriormente, obtuvimos el índice de termicidad (*It*) utilizando la capa de temperatura media anual (*T*), y calculando previamente la media de temperatura mínima (*m*) y máxima (*M*) del mes más frío por píxel. Para ello, operamos con los rásteres de temperaturas medias mínimas y máximas mensuales. Para cada conjunto de rásteres se extrajo el valor mínimo por píxel, seleccionando así el mes más frío de los disponibles para ambas operaciones. Finalmente, se calculó el *It* como:

$$It = (T + M + m)10$$

Por último, se calculó el índice de termicidad compensado (*I_{tc}*) (Fig. 1). Este índice requiere a su vez la obtención previa del índice de continentalidad (*I_c*). El *I_c* se calculó como la diferencia entre la temperatura media del mes más cálido (*T_{max}*) y la temperatura media del mes más frío (*T_{min}*), obteniendo éstas al extraer el valor máximo y mínimo del conjunto de rásteres de temperaturas medias mensuales. Una vez obtenido el *I_c*, el *I_{tc}* se calculó modificando los valores de *It* en función del valor de compensación (o índice *C*). Este índice *C* puede tomar tres valores en función de los valores de *I_c*: ante valores de $I_c \leq 18$, $C = 0$;

ante valores de $18 < I_c \leq 21$, $C = 5(I_c - 18)$; y ante valores de $21 < I_c \leq 28$; $C = 15 + (15(I_c - 21))$.

$$I_c = T_{max} - T_{min}$$

$$I_{tc} = It + C_{Ic}$$

Para obtener el mapa definitivo de pisos bioclimáticos (Fig. 2) consideramos conjuntamente los valores de *I_{tc}*, *T_p* e *I_c*. Si los valores de *I_c* son mayores o iguales a 21 o los valores de *I_{tc}* son menores a 120, el piso bioclimático es determinado por el valor de *T_p*. En cambio, si no se cumple alguno de los supuestos anteriores, el piso bioclimático es determinado por el valor de *I_{tc}*. Nuestra clasificación consideró los 5 pisos bioclimáticos más extendidos en la región (infra-, termo-, meso-, supra- y oro-, Tabla 2), excluyendo así los pisos criomediterráneo y gélido, cuya presencia es negligible dentro de nuestra área de estudio (ver Pesaresi et al. 2014). La asignación del piso bioclimático correspondiente a cada píxel se llevó a cabo mediante una re-clasificación ráster paralela, afectando únicamente a las celdas de cada supuesto (piso bioclimático determinado por *T_p* o *I_{tc}*, Tabla 1) y uniendo posteriormente los rásteres resultantes.

Pisos bioclimáticos para la Cuenca Mediterránea

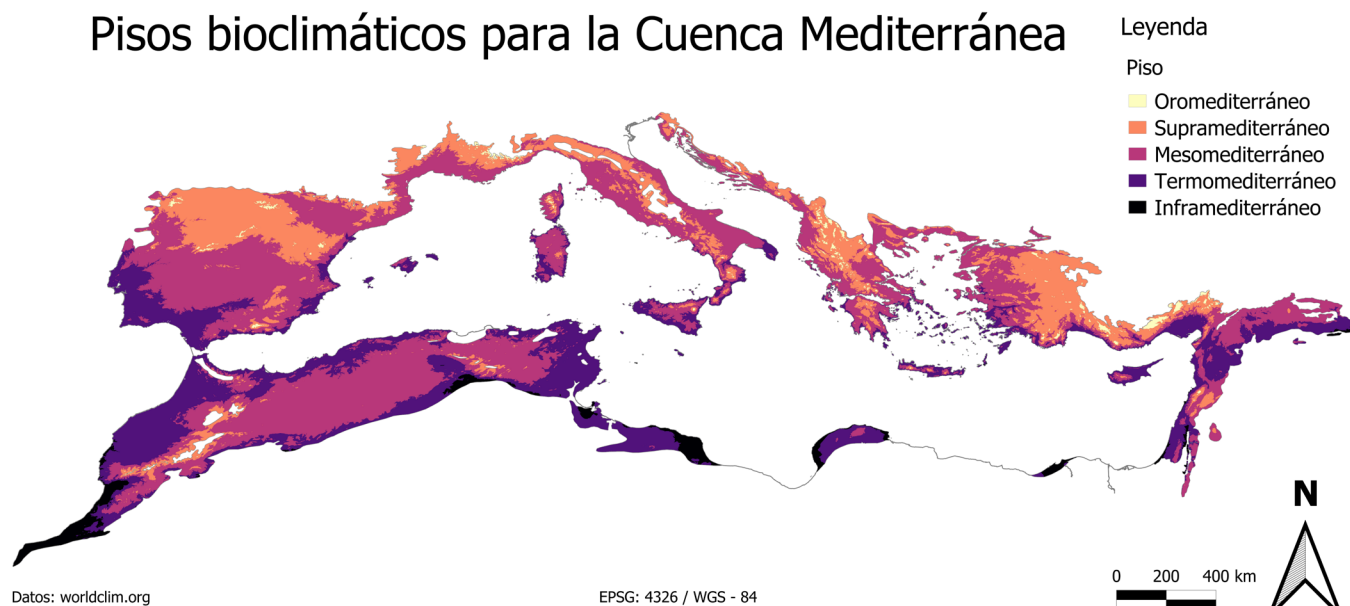


Figura 2. Visualización de los pisos bioclimáticos (termotipos; Rivas-Martínez et al. 2011) en el espacio geográfico definido por el bioma mediterráneo de la cuenca homónima.

Figure 2. Visualization of the bioclimatic belts (thermotypes; Rivas-Martínez et al. 2011) in the geographical extent defined by the Mediterranean biome of the homonymous basin.

Tabla 2. Estadísticos espaciales para los pisos bioclimáticos representados en nuestro estudio. Los datos ofrecidos han sido calculados y son reproducibles utilizando el código R asociado a este artículo. N parches indica el número de polígonos por piso bioclimático, sin tener en cuenta su tamaño, en la totalidad del área de estudio.

Table 2. Spatial statistics for the bioclimatic belts represented in our study. Provided data has been calculated and is reproducible using the R code offered with this article. N parches indicates the number of polygons per bioclimatic belt, without considering its extent, for the whole study area.

Pisos bioclimáticos	N parches	N píxeles	Proporción de la región ocupada
Inframediterráneo	253	87 808	2.89
Termomediterráneo	2095	791 572	26.13
Mesomediterráneo	3047	1 472 421	48.60
Supramediterráneo	2411	647 950	21.39
Oromediterráneo	903	29 370	0.96

Registro y disponibilidad de datos

Datos del proyecto

- **Título:** Aproximación a los pisos bioclimáticos (termotipos) de la Cuenca Mediterránea
- **Nombre:** Claudio Açaí Bracho Estévez
- **Fuentes de financiación:** Proyecto MigrantSeeds (MCIN/AEI: PID2019-104922GA-I00/AEI/10.13039/501100011033), contratos predoctorales del Plan Propio de la Universidad de Cádiz (UCA/REC13VPCT/2020) y ayudas postdoctorales del programa Ramón y Cajal (RYC-2017-22095) y de la Universidad de Cádiz (UCA/ REC17VPCT/2021).
- **Descripción del área de estudio:** El área de estudio incluye la extensión de bioma mediterráneo que se encuentra en la Cuenca Mediterránea, entre los continentes africano, asiático y europeo. Dicha superficie incluye más de 2 millones de kilómetros cuadrados, divididos principalmente entre Egipto, Argelia, Túnez, Marruecos, Portugal, España, Francia, Italia, Malta, Eslovenia, Croacia, Bosnia y Herzegovina, Montene-

gro, Albania, Grecia, Macedonia del Norte, Turquía, Chipre, Siria, Palestina, Israel y Jordania.

- **Descripción del proyecto:** El proyecto proporciona, tanto en formato ráster (.tiff) como vectorial (.gpkg), sendas capas de información geográfica sobre los pisos bioclimáticos (termotipos) de la región de estudio. De este modo permite un acceso fácil y abierto a cualquier proyecto que requiera dicha información bioclimática para la totalidad o parte de la región, a una resolución aproximada de 1 km. Asimismo, las capas de información sobre los índices de temperatura positiva, continentalidad, termicidad, y termicidad compensado también se ofrecen para su libre descarga y uso. Los datos generados y el código pueden ser descargados a través de <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.23266643.v1>, en Figshare, bajo la licencia Creative Commons Attribution 4.0.

Cobertura geográfica

- Rango de coordenadas longitudinales: -13.45, 42.69 O
- Rango de coordenadas latitudinales: 27.01, 45.98 N

Cobertura temporal

- Fechas para las variables climáticas extraídas de *WorldClim*: años 1970-2000.

Validación técnica

Los valores obtenidos para los índices y parámetros estimados a partir de las bases de datos *WorldClim* se ajustan al rango de valores esperado según las referencias consultadas. De igual modo, la distribución de los pisos bioclimáticos (termotipos) concuerda con otras aproximaciones, observándose una gradación altitudinal y latitudinal de los pisos más cálidos (infra- y termo-) hasta los pisos más fríos (supra- y oro-) mapeados. Sugerimos utilizar datos climáticos a una resolución más detallada para estudios que requieran la consideración del piso crioromediterráneo y/o gélido, así como para los que estimen oportuno un grado de detalle superior al kilómetro cuadrado.

Agradecimientos

Nuestro agradecimiento a I. Bartomeus y a un/a revisor/a anónimo/a, que contribuyeron con revisiones y comentarios a mejorar una primera versión de este artículo.

Contribución de los autores

Claudio Açaí Bracho-Estévez: Redacción – borrador original, Software – implementación del código informático, Visualización. Lucía Acevedo-Limón: Redacción – revisión y edición, Software – revisión del código informático. Beatriz Rumeu: Redacción – revisión y edición, Software – revisión del código informático. Juan P. González-Varo: Conceptualización original, Redacción – revisión y edición, Software – revisión del código informático.

Referencias

- Andrade, C., Contente, J. 2020. Climate change projections for the Worldwide Bioclimatic Classification System in the Iberian Peninsula until 2070. *International Journal of Climatology* 40(14):5863-5886. <https://doi.org/10.1002/joc.6553>
- Cano, E., Musarella, C.M., Cano-Ortiz, A., Piñar Fuentes, J.C., Spampinato, G., Pinto Gomes, C.J. 2017. Morphometric analysis and bioclimatic distribution of *Glebionis coronaria* s.l. (Asteraceae) in the Mediterranean area. *PhytoKeys* 81:103-126. <https://doi.org/10.3897/phytokeys.81.11995>
- Carrion, Y., Ntinou, M., Badal, E. 2010. *Olea europaea* L. in the north Mediterranean Basin during the Pleniglacial and the Early-Middle Holocene. *Quaternary Science Reviews* 29(7-8):952-968.
- Comes, H.P. 2004. The Mediterranean region – a hotspot for plant biogeographic research. *New Phytologist*, 164(1): 11-14. <https://doi.org/10.1111/j.1469-8137.2004.01194.x>
- Conord, C., Gurevitch, J., Fady, B. 2012. Large-scale longitudinal gradients of genetic diversity: a meta-analysis across six phyla in the Mediterranean basin. *Ecology and evolution* 2(10):2600-2614.
- Costa, R., Fraga, H., Fernandes, P.M., Santos, J. A. 2017. Implications of future bioclimatic shifts on Portuguese forests. *Regional Environmental Change*, 17:117-127.
- Cuttelod, A., García, N., Malak, D. A., Temple, H., Katariya, V. 2008. The Mediterranean: a biodiversity hotspot under threat. En: Vié, J.-C., Hilton-Taylor, C., Stuart, S.N. (Eds.), *The 2008 Review of The IUCN Red List of Threatened Species*, pp. 1-13. IUCN Gland, Switzerland.
- Dinerstein, E., Olson, D., Joshi, A., Vynne, C., Burgess, N.D., Wikramanayake, E., Hahn, N., et al. 2017. An Ecoregion-Based Approach to Protecting Half the Terrestrial Realm. *BioScience* 67(6): 534-545. <https://doi.org/10.1093/biosci/bix014>
- Fick, S.E., Hijmans, R.J. 2017. WorldClim 2: new 1km spatial resolution climate surfaces for global land areas. *International Journal of Climatology* 37(12): 4302-4315.
- Gálvez, R., Montoya, A., Cruz, I., Fernández, C., Martín, O., Checa, R., Chicharro, C., et al. 2020. Latest trends in *Leishmania infantum* infection in dogs in Spain, Part I: Mapped seroprevalence and sand fly distributions. *Parasites & Vectors* 13(1):204. <https://doi.org/10.1186/s13071-020-04081-7>
- García-Ocejo, A., Gurrea, P. 1991. Entre los hábitos tróficos y la distribución por pisos bioclimáticos de la Sierra de Gredos de Chrysomelidae (Coleoptera) asociados a genisteas. *Miscellanea Zoologica* 15:137-145.
- Garrido-Bailón, E., Higes, M., Martínez-Salvador, A., Antúnez, K., Botías, C., Meana, A., Prieto, L., et al. 2013. The prevalence of the honeybee brood pathogens *Ascosphaera apis*, *Paenibacillus larvae* and *Melissococcus plutonius* in Spanish apiaries determined with a new multiplex PCR assay. *Microbial Biotechnology* 6(6):731-739. <https://doi.org/10.1111/1751-7915.12070>
- González-Varo, J.P., Rumeu, B., Albrecht, J., Arroyo, J.M., Bueno, R.S., Burgos, T., da Silva, L.P., et al. 2021. Limited potential for bird migration to disperse plants to cooler latitudes. *Nature* 595(7865):75-79. doi:10.1038/s41586-021-03665-2
- Guisan, A., Zimmermann, N.E. 2000. Predictive habitat distribution models in ecology. *Ecological modelling* 135(2-3):147-186.
- Guzmán, B., Fedriani, J. M., Delibes, M., Vargas, P. 2017. The colonization history of the Mediterranean dwarf palm (*Chamaerops humilis* L., Palmae). *Tree Genetics & Genomes* 13, 24. <https://doi.org/10.1007/s11295-017-1108-1>
- Hijmans, R.J. 2022a. *raster: Geographic Data Analysis and Modeling*. R package version 3.5-15. <https://CRAN.R-project.org/package=raster>
- Hijmans, R.J. 2022b. *terra: Spatial Data Analysis*. R package version 1.5-21. <https://CRAN.R-project.org/package=terra>
- Humboldt, A von., Bonpland, A. 1807. *Essai sur la géographie des plantes*. Levrault, Schoell et Compagnie, Paris, Francia.
- Hunter, J., Franklin, S., Luxton, S., Loidi, J. 2021. Terrestrial biomes: A conceptual review. *Vegetation Classification and Survey* 2:73-85. <https://doi.org/10.3897/VCS/2021/61463>
- Ighbareyeh, J.M.H., Cano-Ortiz, A., Cano, E. 2014. Case Study: Analysis of the Physical Factors of Palestinian Bioclimate. *American Journal of Climate Change* 03(02):223-231. <https://doi.org/10.4236/ajcc.2014.32021>
- Jennings, R., Finlayson, C., Fa, D., Finlayson, G. 2011. Southern Iberia as a refuge for the last Neanderthal populations. *Journal of Biogeography* 38(10):1873-1885.
- Loidi, J., Navarro-Sánchez, G., Vynokurov, D. 2022. Climatic definitions of the world's terrestrial biomes. *Vegetation Classification and Survey* 3:231-271. <https://doi.org/10.3897/VCS.86102>
- Martín-Vega, D., Baz, A. 2012. Spatiotemporal distribution of necrophagous beetles (Coleoptera: Dermestidae, Silphidae) assemblages in natural habitats of central Spain. *Annals of the Entomological Society of America* 105(1):44-53.
- Médail, F. 2022. Plant biogeography and vegetation patterns of the Mediterranean islands. *The Botanical Review* 88(1):63-129.
- Médail, F., Myers, N. 2004. Mediterranean Basin. En: Mittermeier, R. A., Robles Gil, P., Hoffmann, M., Pilgrim, J., Brooks, T., Mittermeier, C. G., Lamoreux, J., da Fonseca, G. A. (Eds.), *Hotspots revisited: Earth's biologically richest and most endangered terrestrial ecoregions*, pp. 144-147. CEMEX, Mexico City.
- Mucina, L. 2019. Biome: Evolution of a crucial ecological and biogeographical concept. *New Phytologist* 222(1):97-114. <https://doi.org/10.1111/nph.15609>
- Outomuro, D., Torralba-Burrial, A., Ocharan, F.J. 2010. Distribution of the Iberian *Calopteryx* Damselflies and Its Relation with Bioclimatic Belts: Evolutionary and Biogeographic Implications. *Journal of Insect Science* 10(61):1-16. <https://doi.org/10.1673/031.010.6101>
- Pausas, J.G., Millán, M.M. 2019. Greening and Browning in a Climate Change Hotspot: The Mediterranean Basin. *BioScience* 69(2):143-151. <https://doi.org/10.1093/biosci/biy157>
- Pesaresi, S., Galdenzi, D., Biondi, E., Casavecchia, S. 2014. Bioclimate of Italy: Application of the worldwide bioclimatic classification system. *Journal of Maps* 10(4):538-553. <https://doi.org/10.1080/17445647.2014.891472>
- Regos, A. 2016. El cambio global y el futuro incierto de la biodiversidad en ecosistemas de tipo mediterráneo: Perspectivas de un enfoque de predicción estratégico. *Ecosistemas* 25(1):108-111. <https://doi.org/10.7818/ECOS.2016.25-1.17>
- Rivas-Martínez, S. 1983. Pisos bioclimáticos de España. *Lazaroa* 5:33-43.
- Rivas-Martínez, S., Sáenz, S. R., Penas, A. 2011. Worldwide bioclimatic classification system. *Global Geobotany* 1:1-634+4.
- Tuel, A., Eltahir, E.A.B. 2020. Why Is the Mediterranean a Climate Change Hot Spot? *Journal of Climate* 33(14):5829-5843. <https://doi.org/10.1175/JCLI-D-19-0910.1>
- Woodward, F.I., Williams, B.G. 1987. Climate and plant distribution at global and local scales. *Vegetatio* 69:189-197.