



Informe sobre el análisis climático multitemporal del área POCTEFA para la identificación de zonas de muestreo



Resumen / Résumé

El proyecto CLIMAROMA tiene como objetivo identificar cuáles son las variables climáticas más significativas en la generación de defectos aromáticos en el vino. Para abordar este objetivo, la actividad 3.1 versa sobre el análisis climático multitemporal del área POCTEFA para la identificación de zonas de muestreo. Este análisis consistió en la clasificación de nuevas zonas climáticas armonizadas a partir de un análisis climático integral de la región. Con este propósito, se calcularon dieciséis índices basados en temperatura y seis basados en precipitación en una cuadrícula de 1 km² cubriendo toda el área de estudio. Se aplicó un Análisis de Componentes Principales para reducir la dimensionalidad de los datos, dejando las dos primeras componentes, que explicaban el 92,6% de la varianza. Estas dos componentes se utilizaron para realizar un análisis de agrupamiento que definiera áreas climáticamente homogéneas. El análisis mostró que cuatro grupos eran la clasificación más óptima. Paralelamente, se calcularon dos índices bioclimáticos utilizando los métodos de Köppen y TBR. Ambos mostraron una distribución espacial similar a la de los grupos estimados en el cálculo previo, por lo que se seleccionó la cartografía con cuatro grupos como la más adecuada para el análisis.

Introducción / Introduction

El cambio climático ejerce una fuerte presión sobre las áreas rurales de las estribaciones pirenaicas a ambos lados de los Pirineos (área POCTEFA). Por un lado, pone en peligro la viticultura en zonas de secano y de baja altitud y, por otro, está haciendo viable el cultivo en altitudes elevadas (vertiente sur) o en áreas que anteriormente eran demasiado frías y húmedas (vertiente norte). En cualquier caso, el cambio climático introduce una alta variabilidad en la maduración de la uva, causando incertidumbre, gastos excesivos en pesticidas y, finalmente, resultados no deseados en términos de calidad de la cosecha, con la aparición cada vez más frecuente de problemas aromáticos asociados con sobre-maduración, pasificación y sabores herbáceos, que a veces solo se manifiestan en los vinos embotellados.

Para analizar la influencia de las variables climáticas en el desarrollo de las uvas, es necesario categorizar el territorio en áreas homogéneas. Para ello, utilizando la información climática observada de las últimas décadas, se analizó la variabilidad climática en el área POCTEFA para evaluar los cambios más significativos en la temperatura y precipitación en las zonas de viñedo. Se desarrollaron índices agroclimáticos específicos para el correcto desarrollo de la vid y otros relacionados con eventos extremos que limitan su desarrollo. Los valores individuales de los indicadores climáticos para cada punto del territorio se combinaron mediante técnicas de agrupamiento y de clasificación climática para obtener zonas climáticamente homogéneas sobre las que seleccionar zonas de muestreo representativas.

Metodología / Méthodologie

Área de estudio y datos

La zona de estudio comprende las 12 regiones identificadas como Denominación de Origen (DO, España) o Appellation d'Origine Contrôlée (AOC, Francia) en el área POCTEFA (Figura 1), cubriendo una superficie total de 2.951.276 ha (Tabla 1).

Tabla 1. Extensión (en hectáreas) de la superficie cubierta por las DO/AOC (total, incluyendo zonas no ocupadas por viñedo)

DO/AOC	País	Área (ha)
Rioja	España	368.508,8
Campo de Borja	España	65.364,0
Calatayud	España	199.413,9
Cariñena	España	77.740,9
Somontano	España	206.275,3
Navarra	España	444.554,1
Ampurdán-Costa Brava	España	107.152,0
Cataluña	España	1.008.392,8
Pla de Bages	España	103.779,8
Alella	España	18.018,9
Penedés, Comunidad de Cataluña	España	153.319,6
Coillure & Côtes du Roussillon	Francia	194.313,2

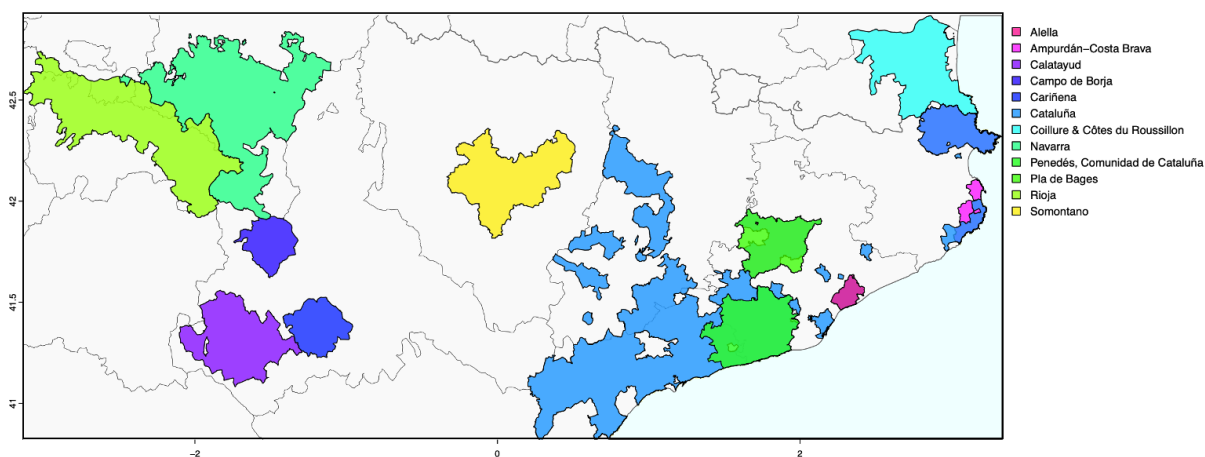


Figura 1. Localización de las DO/AOC en el área POCTEFA.

Se utilizaron datos climáticos, en formato geoespacial ráster, de precipitación y temperatura a escala diaria del periodo 1981-2010. Los datos en las regiones cubiertas por las DO españolas se obtuvieron de las bases de datos SPREAD (Serrano-Notivoli et al., 2017) y STEAD (Serrano-Notivoli et al., 2019). Ambas cubren el periodo de estudio a una resolución espacial de 5x5 km y están construidas a partir de toda la información climática disponible en todo el país. En el caso de Francia, los datos se obtuvieron del dataset E-OBS (Cornes et al., 2018), también con información diaria y construido a una resolución de 0,1 x 0,1 °. Todos los ráster, uno por cada día del periodo de estudio, se recortaron con una máscara cubriendo las DO y AOC analizadas.

Con el fin de tener en cuenta todos los matices climáticos regionales y, especialmente, en aquellas zonas de orografía más compleja, se incrementó la resolución espacial de ambas bases de datos mediante un remuestreo, utilizando un modelo digital de elevaciones (MDE) de 1x1 km de paso de celda. El MDE se obtuvo a través del paquete de funciones *elevatr* en R (Hollister et al., 2023), que actualmente proporciona acceso a datos de elevación de *AWS Open Data Terrain Tiles* y la *Open Topography Global datasets API* para modelos de elevación digitales ráster. Los datasets climáticos se remuestrearon a la estructura espacial del MDE mediante una interpolación bilineal.



Indicadores climáticos

Aunque los promedios anuales y estacionales de temperatura y precipitación son habituales a la hora de hacer clasificaciones climáticas, enmascaran comportamientos a escalas temporales distintas que solo pueden observarse con datos diarios o de mayor resolución temporal.

En este caso, el objetivo era el de crear una clasificación de áreas homogéneas climáticamente, pero con variables climáticas de importancia para el desarrollo de la vid. Aunque las temperaturas suaves y las precipitaciones moderadas son uno de los requisitos para el crecimiento normal del cultivo, son variables poco definitorias de las necesidades fisiológicas de la planta. La vid, igual que otros cultivos, tiene un desarrollo anual con algunos momentos críticos correspondientes a las distintas etapas de evolución, cuando determinadas condiciones meteorológicas condicionan, no solo el correcto crecimiento y evolución, sino su supervivencia. Para identificar patrones repetidos de estas condiciones a lo largo del tiempo, los indicadores climáticos funcionan como herramientas de monitorización a través de un valor (anual, estacional), que permite caracterizar el comportamiento medio de cada región en lo que se refiere a su aptitud para albergar el cultivo.

Algunas de las etapas críticas en el desarrollo de la vid, para las que es útil identificar variables climáticas que las caractericen, son las siguientes:

- Temperaturas medias y mínimas en invierno relativamente bajas, aunque no de manera excesiva, ya que es necesario que la planta acumule frío en invierno para el buen desarrollo de la planta.
- Ausencia de heladas durante la brotación y la floración, momentos en los que la planta es más débil
- El cuajado depende completamente del clima de los 20 días previos (desde la floración), aunque es difícil identificar las variables climáticas a caracterizar.
- Periodo desde el envero a la madurez, siendo muy importantes la diferencia de temperaturas entre la noche y el día (salto térmico), así como las temperaturas máximas y mínimas durante este periodo. En este caso, las temperaturas elevadas al final del envero pueden influir de dos formas: i) acelerando el proceso o ii) bloqueando a la planta en si se producen olas de calor (varios días seguidos de temperaturas muy elevadas).
- En general es importante la pluviometría, no sólo por la cantidad anual sino también por la distribución de las lluvias a lo largo del año, con especial incidencia en las últimas semanas antes de la cosecha.
- La humedad relativa y la radiación solar también son parámetros importantes.

Como el estudio abarca un territorio de climas variados, donde los momentos de cosecha son muy distintos y, más importante todavía, no existen registros a largo plazo de las fechas relacionadas con la fenología de los cultivos en cada zona, es complicado establecer indicadores que reflejen exactamente las necesidades climáticas individuales. No obstante, el objetivo de esta actividad es la de crear áreas homogéneas a partir de las cuales extraer después muestras en campo de distintos momentos de la vendimia. Para ello, y con el conocimiento previo adquirido a través del estudio de la fenología de la vid y las experiencias en distintas zonas del área POCTEFA, se seleccionaron una serie de indicadores climáticos (Tabla 2). Estos índices se establecen en función del ciclo vegetativo medio de la vid y son pertinentes tanto para caracterizar como tal los potenciales climáticos de una región, como para estar fuertemente

ligados al potencial cualitativo y a las características de las uvas o productos vitícolas (exigencias de las variedades, calidad de la añada – azúcar, acidez, color, aroma y tipología de los vinos).

Tabla 2. Indicadores climáticos utilizados en el análisis.

Nombre	Descripción	Forma de cálculo	Importancia para la vid
tnann	Temperatura mínima anual	Media de las temperaturas mínimas mensuales	Caracterizan las condiciones de temperatura necesarias (suaves) para el desarrollo vegetativo de la planta.
tman	Temperatura media anual	Media de las temperaturas medias mensuales	
txann	Temperatura máxima anual	Media de las temperaturas máximas mensuales	
tm_abrmay	Temperatura media abril-mayo	Media de las temperaturas medias de abril y mayo	
cni	Cool Night Index	Temperatura media mínima de septiembre	Mejora la evaluación de los potenciales cualitativos de las regiones vitivinícolas, en particular en relación con los metabolitos secundarios (polifenoles, aromas) en las uvas.
lgs	Length of Growing Season	Número días con temperatura mínima >10 °C	Una región se considera comúnmente apropiada para el cultivo de vid para lgs > 182.
gdd	Growing Degree Days	$\sum_{Apr1}^{Sep30} \max[(T_{max} + T_{min})/2 - 10, 0]$	Ayuda a predecir las etapas de crecimiento de la vid, como la floración, el envero y la madurez.
bedd	Biologically effective degree-days	$\sum_{Apr1}^{Sep30} \min[(\max[(T_{max} + T_{min})/2 - 10, 0], 9] \cdot DTR_{adj} \cdot K$	Un valor positivo indica una eficacia biológica mayor que el período de referencia, mientras que un valor negativo indica una eficacia biológica menor que el período de referencia.
gst	Growing Season temperature	$\frac{\sum_{Apr1}^{Sep30} (T_{max} + T_{min}) / 2}{n}$	Ayuda a definir el equilibrio entre condiciones frescas y cálidas, lo que da como resultado vinos equilibrados.
hi	Huglin Heliothermal Index	$\sum_{01.04}^{30.09} \frac{[(T - 10) + (T_s - 10)]}{2} d$	Proporciona una mejor idea del potencial de azúcar según las variedades que las sumas clásicas de temperaturas y, por lo tanto, proporciona información cualitativa.
pcpann	Precipitación media anual	Media anual de las precipitaciones totales	Caracterizan las condiciones de precipitación necesarias (moderadas) para el desarrollo vegetativo de la planta.
pcp_marabr	Precipitación media marzo-abril	Media anual de las precipitaciones totales de marzo y abril	
pcp_mayjun	Precipitación media mayo-junio	Media anual de las precipitaciones totales de mayo y junio	
pcp_julago	Precipitación media julio-agosto	Media anual de las precipitaciones totales de julio y agosto	
hyi	Hydrothermic Index of Branas, Bernon and Levandoux	$\sum_{Apr}^{Aug} (T \times P)$	Considera tanto los regímenes de precipitación como de temperatura para estimar el riesgo de enfermedad por mildiú velloso.
gsp	Growing Season Precipitation	$\sum_{Apr}^{Sep} (P)$	Se ha demostrado que es una de las variables climáticas más

			discriminantes para las condiciones actuales.
--	--	--	--

Los indicadores fueron calculados, individualmente, para las series de datos diarias de todos los píxeles de 1km² en el área de estudio. Esta primera fase del análisis, en la que se obtienen una serie de cartografías derivadas de los valores de temperatura (Figura 2) y de precipitación (Figura 3), ya suponen un valor añadido para el análisis climático del área de estudio.

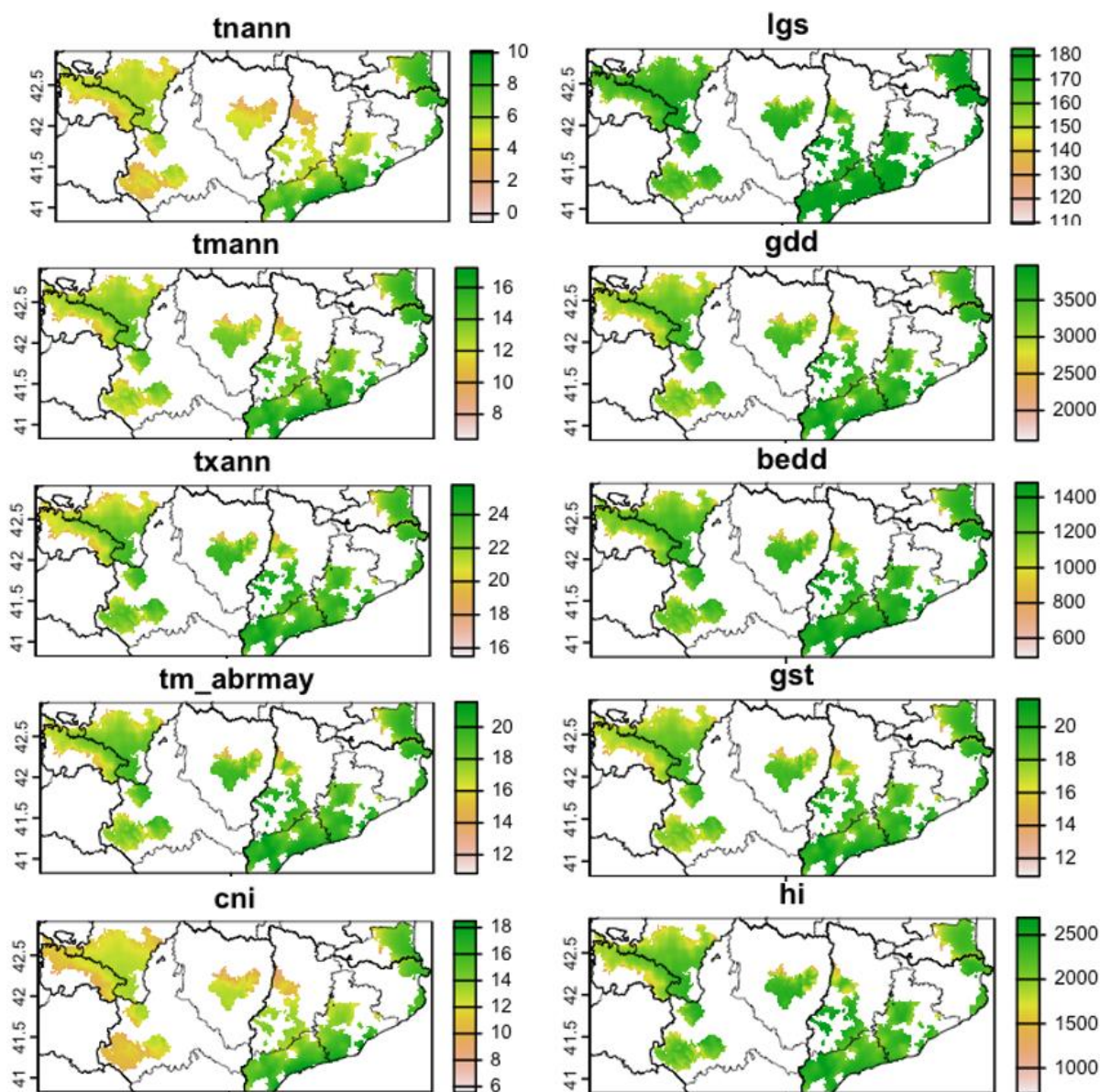


Figura 2. Distribución espacial de los indicadores climáticos basados en temperatura.

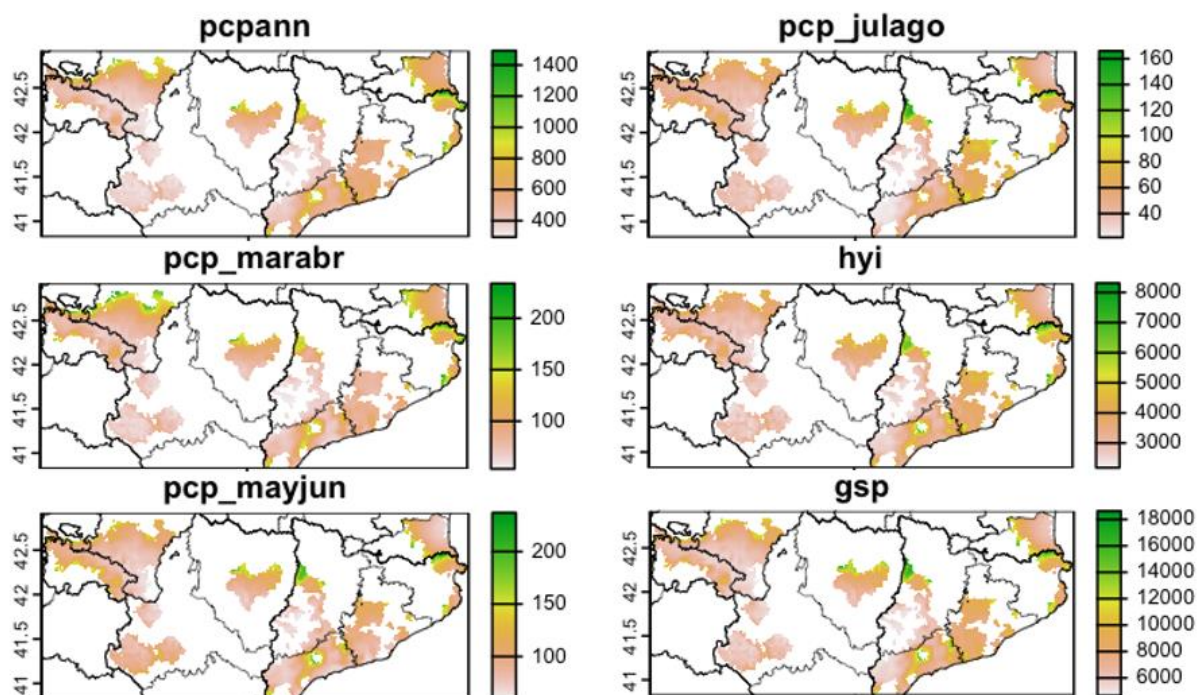


Figura 3. Distribución espacial de los indicadores climáticos basados en precipitación.

Agrupamiento estadístico

La utilización de los 16 indicadores de temperatura y precipitación como factores modelizadores de la zonificación climática podría dar lugar a un sobreajuste, creando redundancias o confusiones en algunas áreas, debido a la inclusión de gran cantidad de información de distinta índole.

Para solventarlo, se recurrió a un Análisis de Componentes Principales (ACP), cuyo objetivo principal es el de reducir la dimensión (el número de variables), perdiendo la menor cantidad de información posible. Los nuevos componentes son una combinación lineal de las variables originales, y además serán independientes entre sí. Se aplicó un ACP a las variables previamente normalizadas. Una vez determinados los componentes que explicaban la mayor parte de la varianza, y la contribución de las distintas variables a cada uno de ellos, se realizó un análisis de agrupamiento mediante la técnica de *k-means*. Con este método, se agruparon las zonas de características climáticas similares en distintos grupos o clústers.

En primer lugar, se utilizó un agrupamiento aglomerativo (*Agglomerative Hierarchical Clustering*), que es el tipo más común de agrupamiento jerárquico utilizado para agrupar objetos en grupos según su similitud. El algoritmo comienza tratando cada objeto como un grupo único. A continuación, se fusionan pares de grupos sucesivamente hasta que todos los grupos se fusionan en un gran grupo que contiene todos los objetos. El resultado es una representación de los objetos basada en árboles, denominada dendrograma. El dendrograma muestra una potencial agrupación basada en similitudes estadísticas que finalmente puede determinarse en distinto número de grupos.

Con el fin de establecer el número de grupos más adecuado, se utilizó el estadístico *Gap* (Tibshirani et al., 2001) para estimar el número de clústeres (grupos) en un conjunto de datos. Esta técnica utiliza el resultado de cualquier algoritmo de agrupamiento (p. ej., *k-mean*), comparando el cambio en la dispersión dentro del grupo con el esperado bajo una distribución

nula de referencia apropiada. Este método se aplicó mediante el paquete cluster en R (Maechler et al., 2024), que calcula una medida de bondad de agrupamiento. Para cada número de grupos k , compara $\log(W(k))$ con $E * [\log(W(k))]$, donde este último se define mediante *bootstrapping*, es decir, simulando a partir de una distribución de referencia (H_0), una distribución uniforme en el hipercubo determinado por los rangos de las variables, después de centrarlos primero y luego rotarlos mediante descomposición en valores singulares (igual que en el análisis ACP).

Agrupamiento climático

Para contrastar el resultado del agrupamiento puramente estadístico de los indicadores climáticos, con una categorización climática basada en métodos de clasificación previamente establecidos, se usaron las variables climáticas esenciales (precipitación y temperatura), para obtener unas cartografías climáticas comparables.

Se utilizaron dos métodos de clasificación, bien conocidos y ampliamente utilizados en la literatura científica sobre aptitud climática para la distribución de especies vegetales:

- **Köppen:** Bajo este sistema, cada clima está definido de acuerdo con unos valores asignados de temperatura y precipitación calculados en términos de valores anuales o mensuales, registrados en base a un periodo de tiempo suficientemente largo como para que resulten significativos. La clasificación climática de Köppen representa, mediante un código de letras, los mayores grupos climáticos, subgrupos y subdivisiones adicionales para distinguir las características estacionales de temperatura y precipitación. Se consideran cinco grupos climáticos principales, designados mediante letras mayúsculas (A: tropical lluvioso/megatérmico, B: seco (árido/semiárido), C: templado-cálido / mesotérmico, D: templado-frío / continental / microtérmico, E: polar). La segunda letra hace referencia al régimen de precipitaciones (f: húmedo, m: monzónico, w: invierno seco, s: verano seco). La tercera letra explica el comportamiento de las temperaturas (a: veranos calurosos, b: verano cálido y largo, c: verano fresco y corto).
- **TBR (Type of Bioclimatic Regimes):** Desarrollado por Cámara et al. (2020) es un método analítico y cartográfico de distribución de biomasa y formaciones de plantas a nivel multiescalar basado en variables bioclimáticas extraídas del Balance hídrico de Thornthwaite y las balanzas bioclimáticas de Montero de Burgos y González Rebollar. Como resultado, se obtiene un mapa de distribución global que da lugar a los Tipos de Regímenes Bioclimáticos (TBR) y que conduce a la identificación de una clasificación multiescalar en diferentes niveles: zonal (macroescala) con 5 tipos, regional (mesoescala) con 27 tipos, y local (microescala) con 162 subtipos de formaciones vegetales condicionadas por suelos litológicos, la exposición al viento o insolación, y obtenida mediante la combinación de TBR y ombroclimas.

Resultados / Résultats

Agrupamiento estadístico

Como algunos de los indicadores climáticos calculados respondían a caracterizaciones similares, la correlación espacial entre ellos era superior que las del resto (Figura 4). Por ejemplo, el número de grados día (gdd), la temperatura de la temporada de crecimiento (gst) y la temperatura media de abril y mayo (tm_abrmay) obtuvieron correlaciones muy altas debido a que la distribución espacial era prácticamente idéntica. Con todo, tiene sentido mantenerlas porque,

conceptualmente y en una abstracción de la dimensión espacial, representan indicadores diferentes, importantes para distintos momentos fenológicos de la planta.

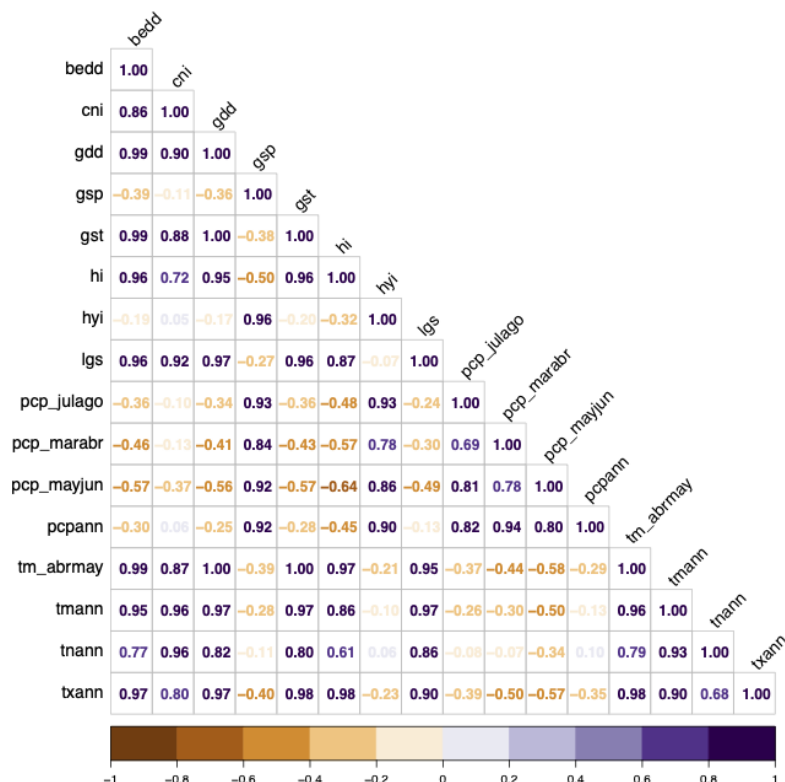


Figura 4. Matriz de correlación entre los indicadores climáticos utilizados.

Teniendo en cuenta que la correlación espacial podía ser alta entre algunas variables, se prefirió reducir la dimensionalidad de los datos mediante un análisis ACP, del que los dos primeros componentes ya explicaban más del 92% de la varianza acumulada (63,9 y 28,6% respectivamente) (Tabla 3) y, por tanto, son los que se usaron en el análisis.

Tabla 3. Importancia de los componentes derivados del análisis PCA.

Componente	Desviación estándar	Proporción de varianza	Proporción acumulada
1	3.1985072	0.6394030	0.6394030
2	2.1419651	0.2867509	0.9261539
3	0.7922749	0.0392312	0.9653852
4	0.5397283	0.0182067	0.9835918
5	0.3403730	0.0072409	0.9908327
6	0.2623922	0.0043031	0.9951358
7	0.1921508	0.0023076	0.9974434
8	0.1256491	0.0009867	0.9984301
9	0.1013377	0.0006418	0.9990720
10	0.0903409	0.0005101	0.9995821
11	0.0644581	0.0002597	0.9998417
12	0.0430485	0.0001158	0.9999576
13	0.0228296	0.0000326	0.9999901
14	0.0102369	0.0000065	0.9999967
15	0.0068661	0.0000029	0.9999996
16	0.0023979	0.0000004	1.0000000

La componente 1 (Comp.1) incluyó una combinación de variables de contribución negativa de la precipitación y contribución positiva de la temperatura (Figura 5a). En esencia, reflejaba las condiciones de aridez los territorios, dando mayor importancia a las precipitaciones primaverales (de marzo a mayo) por un lado, y a las temperaturas del mismo periodo por otro (abril-mayo e indicadores de acumulación de calor en esos meses). La componente 2 (Comp.2) reflejó una prevalencia de los indicadores de precipitación (Figura 5b), siendo los de mayor importancia aquellos que acumulan precipitación en los meses de crecimiento, los previos a la vendimia y también los totales anuales (que en este ambiente sus máximos coinciden casi plenamente con ambos periodos). Las variables derivadas de la temperatura apenas fueron representativas, excepto la temperatura mínima anual y la de septiembre, coincidiendo con momentos donde la precipitación también es importante.

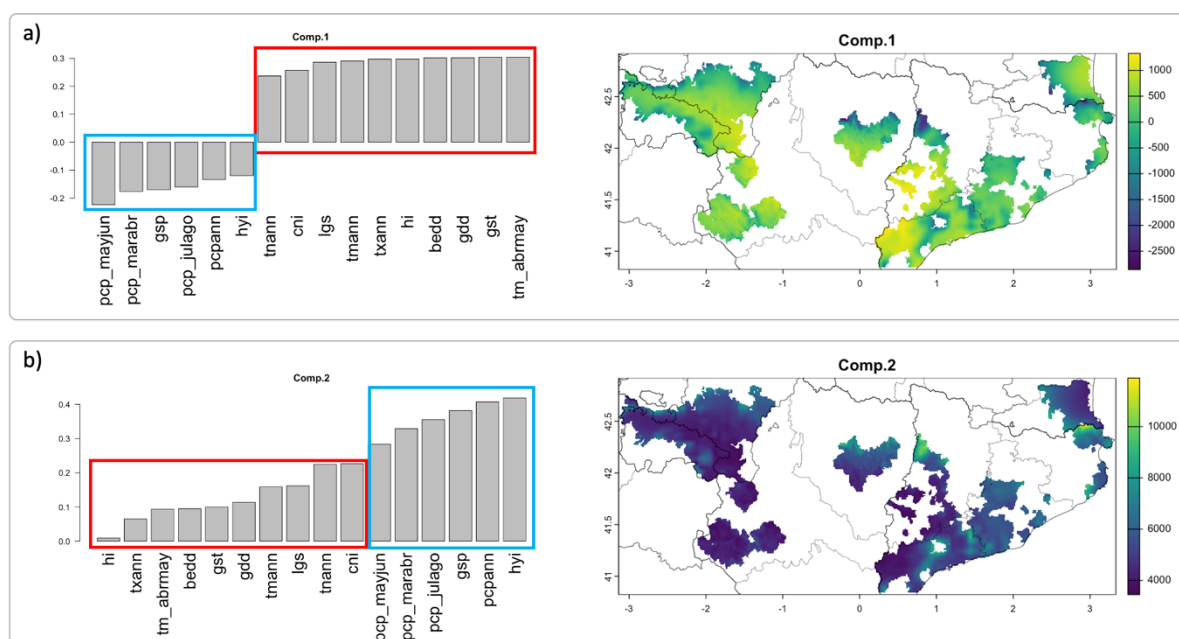


Figura 5. Contribución relativa de las distintas variables a los componentes 1 (a) y 2 (b) del ACP. Enmarcadas en azul las variables derivadas de la precipitación y en rojo las derivadas de la temperatura.

Esta contribución de las variables se hizo patente en el agrupamiento derivado del ACP. La comparativa entre Comp.1 y Comp.2 (Figura 6) mostró una evidente confrontada agrupación de las variables de precipitación y de temperatura, indicando la relación entre los lugares cálidos/secos y los fríos/húmedos. La relación de las observaciones (los píxeles de las cartografías) en ambos componentes, mostró una agrupación lógica por regiones, con un ambiente dominante en Cataluña (ambiente mediterráneo), en contraste con el de Aragón (más continental, árido y frío) y una serie de matices regionales entre ambos con una sucesión lógica: Francia más cercano al ambiente mediterráneo de Cataluña por su posición marítima, La Rioja cubriendo buena parte del espectro que cubre Aragón, denotando una similitud climática (que en realidad se diferencia por la cantidad de precipitación), y Navarra en una transición entre Aragón y Cataluña, cubriendo un espacio muy definido, probablemente debido a que abarca un dominio climático más homogéneo. En este sentido, hay que matizar que la interpretación de estos resultados hay que hacerla teniendo en cuenta la enorme diversidad de las regiones, que muchas veces abarcan desde zonas bajas de escasa precipitación y altas temperaturas, hasta

ambientes de media montaña en los somontanos pirenaicos, de comportamiento climático inverso.

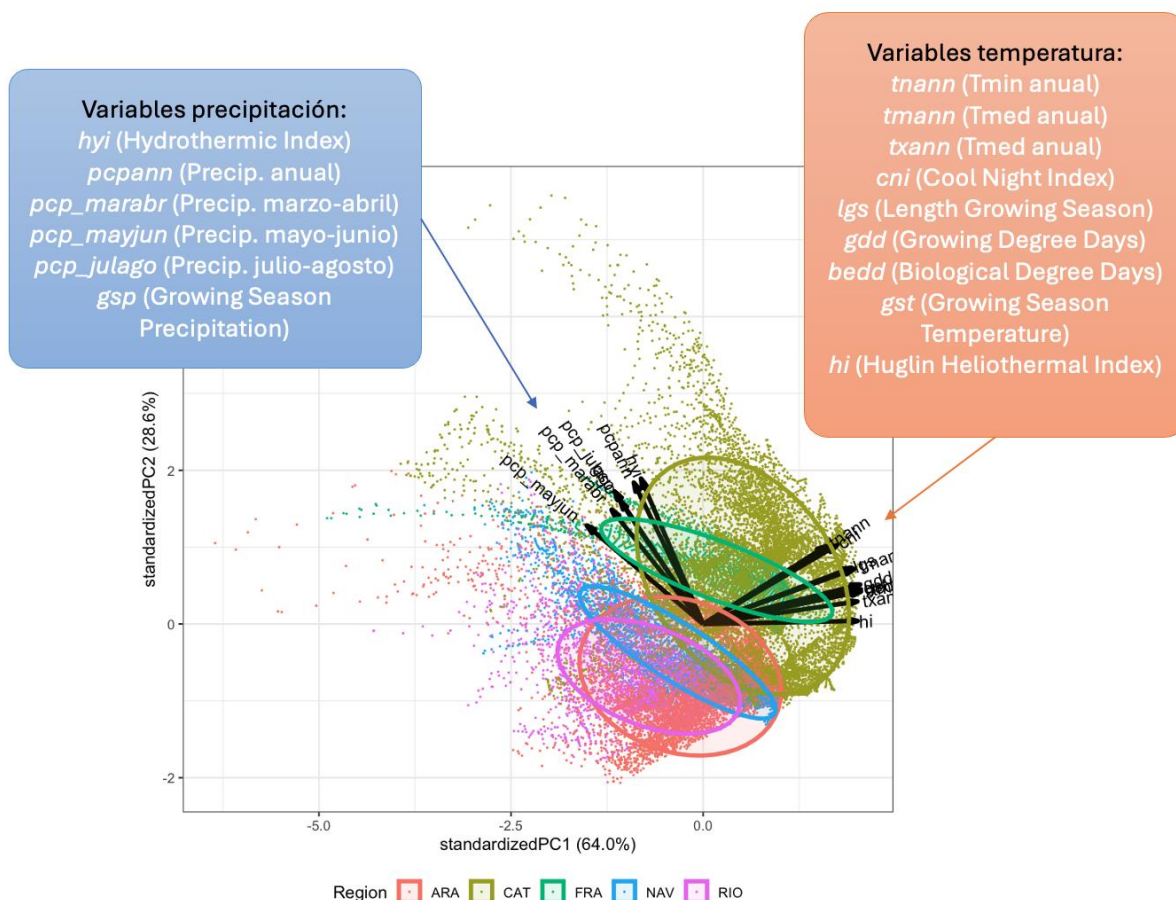


Figura 6. Biplot de los dos primeros componentes del ACP. Cada punto (observaciones) es un píxel de 1km² en el área de estudio. Los colores indican la región en la que están localizados (ARA: Aragón, CAT: Cataluña, FRA: Francia, NAV: Navarra, RIO: La Rioja).

El análisis de agrupamiento mostró que el número de clústeres adecuado era 4 (Figura 7). Aunque el método determina estadísticamente cuál es el más óptimo, las diferencias con 3 grupos no eran demasiado grandes, por lo que podrían haber sido válidos también.

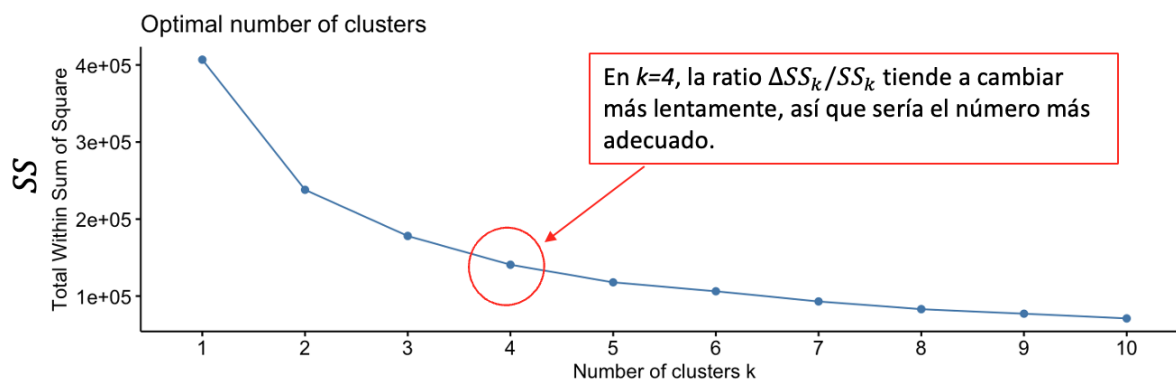


Figura 7. Número óptimo de clústeres derivado del estadístico *Gap*.

Añadido al análisis del estadístico *Gap*, se aplicó un agrupamiento jerárquico de las observaciones para obtener un dendrograma con el que visualizar las agrupaciones por similitud

en los valores (Figura 8). En ambos casos (3 y 4 grupos) el agrupamiento era lógico, pero finalmente se decidió utilizar 4 grupos porque matizaba mejor las diferencias entre dos grandes grupos de datos, que quedaban ocultas si se usaba la clasificación de 3 grupos.

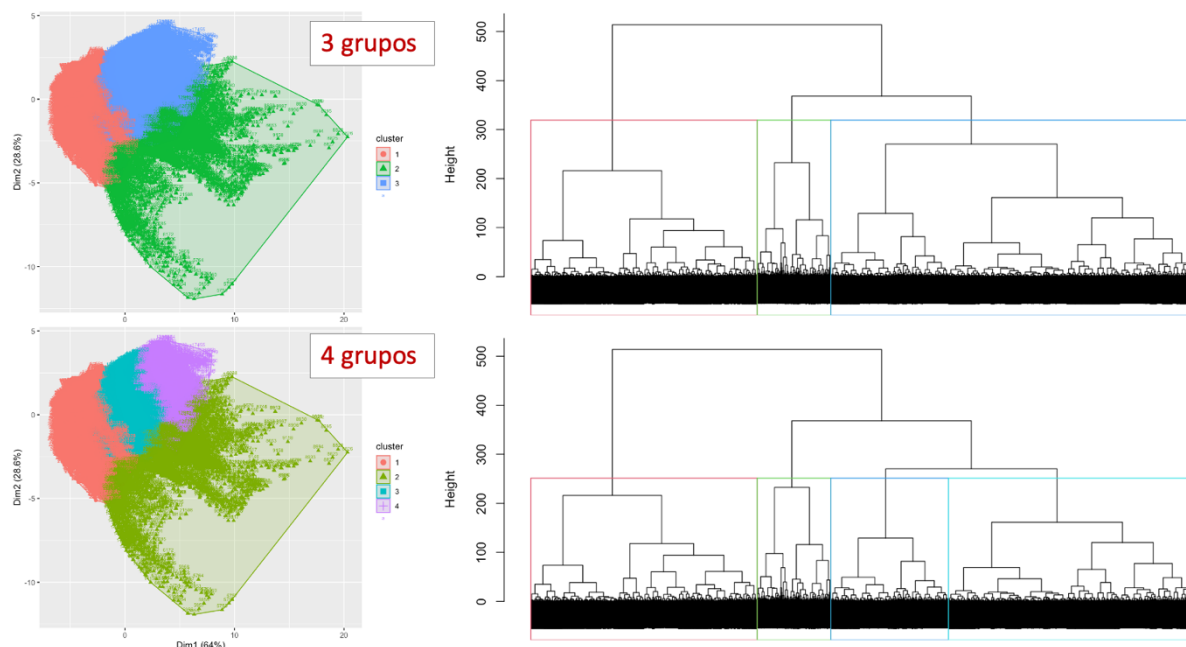


Figura 8. Biplot de las dos primeras componentes coloreados por el número de grupo al que corresponde cada observación (izquierda) y agrupamiento jerárquico (derecha) para clasificaciones de 3 (arriba) y 4 (abajo) grupos.

La distribución espacial de los 4 grupos (Figura 9) muestra algunas características climáticas regionales características:

- El clúster 1 son ambientes mediterráneos en la zona de Cataluña y Francia, y de transición en Aragón Navarra y La Rioja.
- El clúster 2 es el de menor extensión y muestra zonas elevadas, con mayor precipitación total y temperaturas más bajas.
- El clúster 3 es el más amplio, representando el clima continental de zonas bajas, con precipitaciones menores que en el resto de áreas y temperaturas más elevadas.
- El clúster 4 es una transición entre el 1 y el 3, característicos de las zonas más elevadas del somontano pirenaico y del ámbito mediterráneo. Sin ser un clima de montaña, recibe más precipitaciones que los demás.

En general, se trata de matizaciones del dominante clima mediterráneo en todas sus características (marítimo, de transición y continental) caracterizando, desde las zonas más húmedas y con temperaturas suaves de la costa, hasta las más continentales con precipitaciones más escasas y ambientes térmicos más extremos.

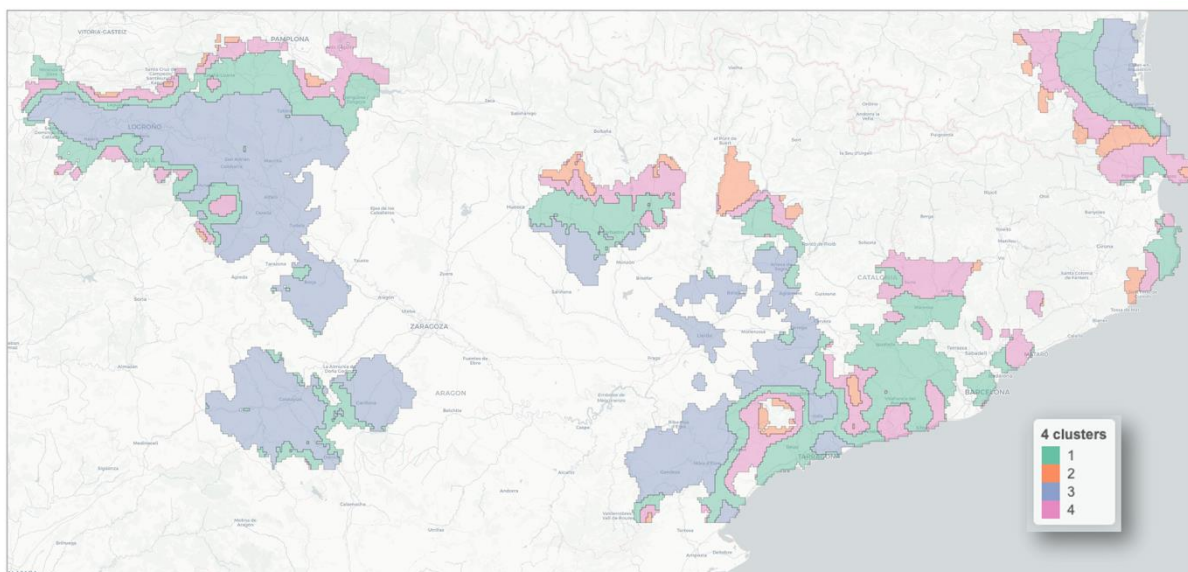


Figura 9. Distribución espacial de los 4 grupos (clústeres) derivados del agrupamiento estadístico.

La extensión espacial de los 4 grupos, por Denominación de Origen (Tabla 4), muestra que en la DO Rioja los grupos 2 y 1 ocuparon casi todo el espacio. En Aragón, en las DO Campo de Borja, Calatayud y Cariñena, los grupos 3 y 4 estuvieron ausentes, mientras que Somontano mantuvo un equilibrio entre los grupos 1, 2 y 4. En Navarra, con una situación muy similar a Rioja, también los grupos 2 y 1 fueron los mayoritarios, con muy poca representación de los demás. Ampurdán-Costa Brava apenas tuvo representación en el grupo 2 y Cataluña tuvo similar proporción entre los grupos excepto el 3, que fue prácticamente anecdótico. En Pla de Bagés, Alella y Penedés, los grupos 2 y 3 apenas estuvieron representados. Finalmente, en Collioure la proporción entre los grupos 1, 2 y 4 fue similar y el grupo 3 estuvo claramente infrarrepresentado.

Tabla 4. Extensión espacial de los 4 grupos por Denominación de Origen.

Región	Denominación de Origen (DO)	4 CLÚSTERES [km ² (%)]			
		1	2	3	4
La Rioja	Rioja	1053 (28.8)	2174 (59.4)	23 (0.6)	411 (11.2)
Aragón	Campo de Borja	46 (7.1)	601 (92.9)	0	0
	Calatayud	239 (13.3)	1564 (86.7)	0	0
	Cariñena	89 (11.7)	672 (88.3)	0	0
	Somontano	906 (44.3)	452 (22.1)	164 (8)	521 (25.5)
Navarra	Navarra	1213 (27.5)	2521 (57.1)	56 (1.3)	626 (14.2)
Cataluña	Ampurdán-Costa Brava	265 (25.4)	4 (0.4)	223 (21.3)	553 (52.9)
	Cataluña	3532 (35.9)	3145 (32)	747 (7.6)	2401 (24.4)
	Pla de Bages	444 (43.5)	0	10 (1)	567 (55.5)
	Alella	49 (27.7)	0	0	128 (72.3)
	Penedés, Com. Cataluña	994 (66.5)	3 (0.2)	31 (2.1)	467 (31.2)
Francia	Collioure	762 (39.8)	599 (31.3)	93 (4.9)	460 (24)

Agrupamiento climático

La clasificación climática de Köppen (Figura 10) muestra 5 tipos climáticos distintos que, con leves diferencias, coinciden con el agrupamiento estadístico hecho previamente. Estos tipos climáticos representan los siguientes ambientes:

Los climas de **tipo C** son climas templados. Son húmedos con temperaturas medias del mes más frío entre -3°C y 18°C , y temperatura media del mes más cálido superior a 10°C . Su variante **Cfb** implica una precipitación todos los meses del año superior a 30 mm y veranos con la temperatura media del mes más cálido por debajo de 22°C , pero cuenta por lo menos con cuatro meses que registran temperaturas superiores a los 10°C . Se distribuye ampliamente en La Rioja, Navarra y el sector occidental de Aragón. También aparece en pequeñas zonas de la costa de Cataluña, las zonas bajas del somontano pirenaico y las interiores del sector francés. La variante **Cfa** tiene características similares pero los inviernos son ligeramente más fríos. Se distribuye mayoritariamente en el interior, excepto en las estribaciones orientales de los Pirineos. El tipo climático **Csa** es el característico clima mediterráneo, con inviernos templados y veranos secos y cálidos. Tiene una marcada estación seca en verano, cuando las precipitaciones del mes más seco son inferiores a la tercera parte del mes más húmedo. En el área de estudio domina en el sur de Cataluña y en el interior del somontano pirenaico. Por su parte, la variante Csb es un clima mediterráneo de veranos frescos, la mayor parte de las lluvias también caen en invierno o en las estaciones intermedias, pero los veranos no son tan cálidos como en el caso anterior. Se distribuye en el ámbito mediterráneo francés, al norte de los Pirineos, y en las zonas más alejadas del mar Mediterráneo, al oeste y norte de La Rioja y Navarra.

Los climas de tipo B se denominan secos, donde siempre hay déficit hídrico. En la variante Bsk, la precipitación total anual es superior a la mitad de la evapotranspiración anual y la temperatura media anual está por debajo de los 18°C . Los inviernos son fríos o muy fríos y los veranos cálidos. Es el típico clima que caracteriza la vegetación de estepa. En el área de estudio aparece en el sector Norte de las DO de Rioja y Navarra y en pequeñas zonas aisladas de la Depresión del Ebro.

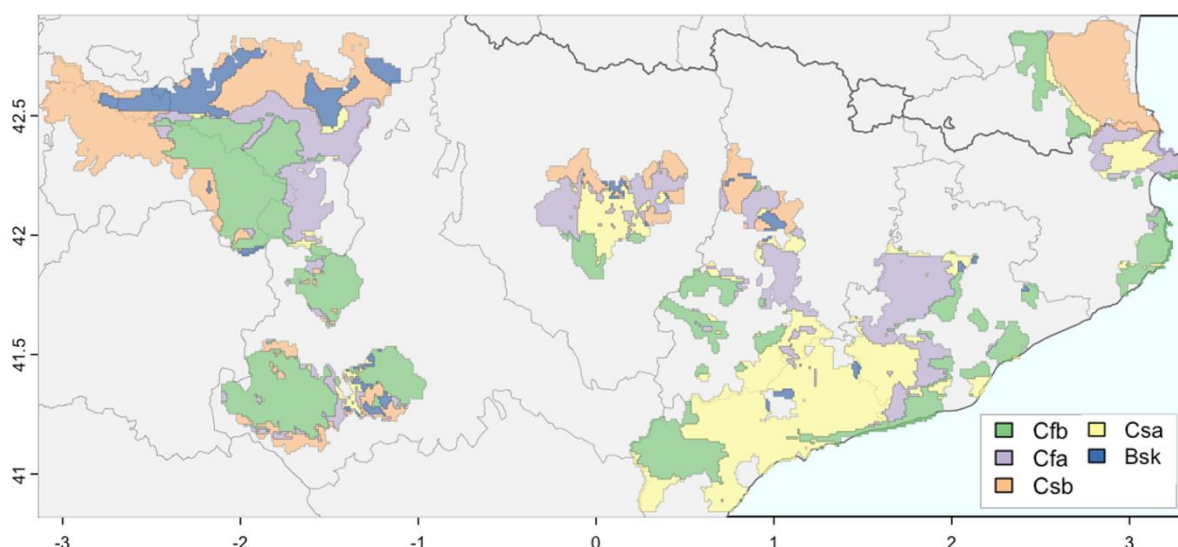


Figura 10. Clasificación climática de Köppen.

La clasificación de Tipos de Regímenes Bioclimáticos (TBR) muestra 3 grandes tipos divididos en 7 subtipos. Los climas **Euritermo Mesophyllo y Tropophyllo** se distribuyen en la franja costera mediterránea y se caracterizan por tener inviernos suaves, con la diferencia entre ambos en que el primero tiene una disponibilidad de agua moderada con algún mes muy seco y en el segundo la disponibilidad de agua es mínima durante una tercera parte del año.

Los climas **Cryo Mesophyllo y Tropophyllo** tienen las mismas características en cuanto a la disponibilidad hídrica, pero en ambos las temperaturas de invierno son frías o muy frías. En el área de estudio se encuentran ampliamente distribuidos por todo el interior peninsular, dominando prácticamente todas las zonas a excepción de las mencionadas anteriormente.

Finalmente, los subtipos **Mesocryo Ombrophyllo, Mesophyllo y Tropophyllo** son puramente anecdóticos en el área de estudio e incluso podrían unirse en una sola categoría por su escasísima extensión. Se caracterizan por un ambiente frío en general y se asocian a las zonas más elevadas y cercanas a la cordillera montañosa.

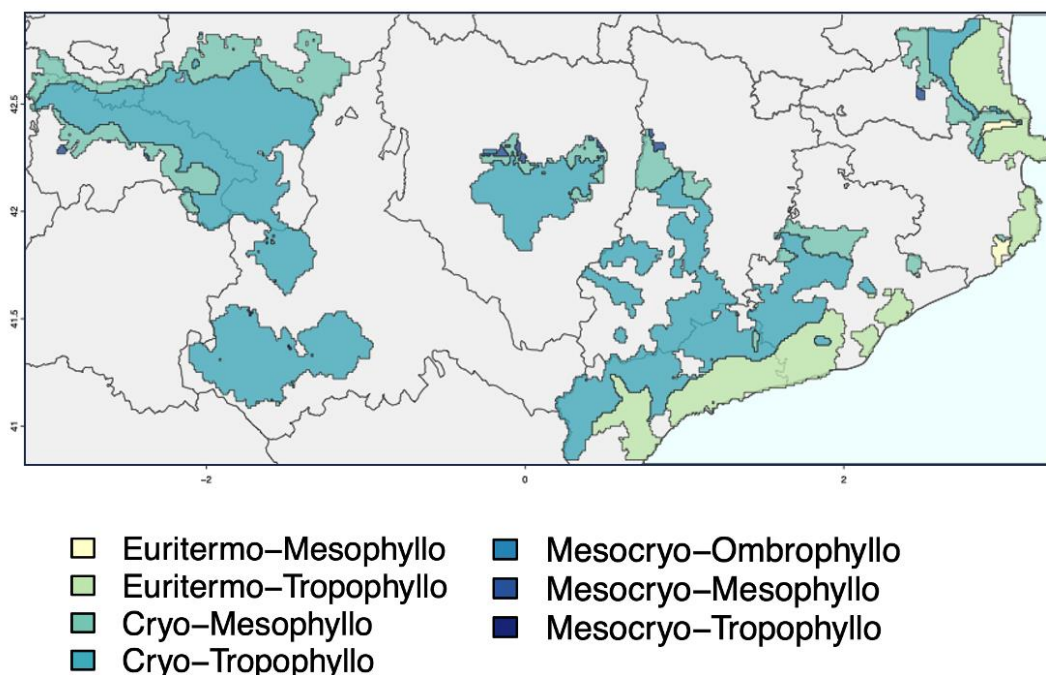


Figura 11. Clasificación climática de TBR.

Conclusiones

La actividad 3.1 del proyecto CLIMAROMA tiene como objetivo el análisis climático multitemporal del área POCTEFA para la identificación de zonas de muestreo. Para ello, se clasificó el territorio delimitado por la extensión de las Denominaciones de Origen en zonas climáticas homogéneas con métodos basados en criterios estadísticos y con métodos basados en criterios climáticos. Para la primera clasificación se calculó una batería de 16 indicadores climáticos, de los que se redujo su dimensionalidad mediante un Análisis de Componentes Principales y, posteriormente, se aplicó un análisis de agrupamiento mediante *k-means*. Los umbrales de clasificación estadística generaron una cartografía final de 4 grupos. La clasificación con métodos climáticos generó dos mapas, uno desarrollado mediante el método de Köppen, resultando en 5 categorías, y otro mediante el método de TBR, resultando en 7 subtipos climáticos.

A la vista de los resultados, la clasificación estadística en 4 grupos proporcionó una categorización del territorio más adecuada para el objetivo principal de la tarea, el de disponer de distintas zonas de muestreo en vendimia para comparar las cosechas en función de climas significativamente distintos. No obstante, es necesario matizar que los resultados de dicha comparación pueden no presentar las mismas diferencias significativas, puesto que: 1) la extensión del área de estudio es relativamente pequeña (para una diferenciación basada en



criterios climáticos, por eso las categorías resultantes con esas metodologías son relativamente similares), 2) las zonas de D.O. son relativamente similares en cuanto al contexto climático, ya que siempre se buscan las mejores condiciones para la producción vitivinícola, y 3) las zonas de producción (de garnacha en este caso concreto de interés) no se distribuyen por todo el dominio espacial, sino que quedan restringidas a algunas partes de las D.O. Con todo, el análisis basado en indicadores climáticos importantes para el desarrollo de la vid, generan el resultado más adecuado para los objetivos propuestos.

Referencias / Références

- Cámara, R., Díaz del Olmo, F., Martínez Batlle, J. R. (2020). TBRs, a methodology for the multi-scalar cartographic analysis of the distribution of plant formations. *Boletín De La Asociación De Geógrafos Españoles*, (85). <https://doi.org/10.21138/bage.2915>.
- Cornes, R., G. van der Schrier, E.J.M. van den Besselaar, and P.D. Jones. (2018) An Ensemble Version of the E-OBS Temperature and Precipitation Datasets, *Journal of Geophysical Research Atmosphere*, 123. <https://doi.org/10.1029/2017JD028200>.
- Hollister, J., Robitaille, A., Beck, M.B., Johnson, M., Shah, T., Nowosad, J. (2023). jhollist/elevatr: CRAN Release v0.99.0 (v0.99.0). Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.8335450>.
- Maechler M, Rousseeuw P, Struyf A, Hubert M, Hornik K (2024). *cluster: Cluster Analysis Basics and Extensions*. R package version 2.1.8, <https://CRAN.R-project.org/package=cluster>
- Serrano-Notivol, R., Beguería, S., Saz, M. Á., Longares, L. A., and de Luis, M. (2017) SPREAD: a high-resolution daily gridded precipitation dataset for Spain – an extreme events frequency and intensity overview. *Earth System Science Data*, 9, 721–738, <https://doi.org/10.5194/essd-9-721-2017>.
- Serrano-Notivol, R., Beguería, S., and de Luis, M. (2019) STEAD: a high-resolution daily gridded temperature dataset for Spain. *Earth System Science Data*, 11, 1171–1188, <https://doi.org/10.5194/essd-11-1171-2019>.
- Tibshirani, R., Walther, G., Hastie, T. (2001) Estimating the Number of Clusters in a Data Set Via the Gap Statistic, *Journal of the Royal Statistical Society Series B: Statistical Methodology*, 63(2), 411–423, <https://doi.org/10.1111/1467-9868.00293>.

El proyecto EFA102/01 CLIMAROMA ha sido cofinanciado al 65% por la Unión Europea a través del Programa Interreg VI-A España-Francia-Andorra (POCTEFA 2021-2027). El objetivo del POCTEFA es reforzar la integración económica y social de la zona fronteriza España-Francia-Andorra.

Le projet EFA102/01 CLIMAROMA a été cofinancé à 65% par l'Union européenne à travers le Programme Interreg VI-A Espagne-France-Andorre (POCTEFA 2021-2027). L'objectif de POCTEFA est de renforcer l'intégration économique et sociale de la zone frontalière Espagne-France-Andorre.