

# TRABAJO FIN DE GRADO

---

Análisis de índices bioclimáticos y su puesta  
en relación con la vegetación en el Parque  
Natural del Moncayo

Analysis of bioclimatic indexes and its  
relations with the vegetation in the Moncayo  
Natural Park

**Autor: Jorge Pineda Marín**

**Director: Miguel Ángel Saz Sánchez**

## **ÍNDICE:**

### **1. INTRODUCCIÓN**

- a. JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO
- b. ANTECEDENTES
- c. OBJETIVOS

### **2. ZONA DE ESTUDIO**

### **3. DATOS Y METODOLOGÍA**

- a. Obtención de datos climáticos, cálculo de las variables bioclimáticas y realización de la cartografía
- b. Relación entre la distribución espacial de la vegetación y las variables bioclimáticas

### **4. RESULTADOS**

- a. Distribución actual de la vegetación y relación con el clima
- b. Escenarios climáticos; variables bioclimáticas en el macizo del Moncayo. Situación actual y futura. Situación actual y proyectada al 2050 (Promedio 2041-2060)
- c. Rangos de distribución. Diferencias entre la situación climática actual y una proyectada pesimista (rcp8.5)

### **5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN**

### **6. BIBLIOGRAFÍA**

**AGRADECIMIENTOS:**

Al Dr. Serrano Notivoli por prestarme herramientas cartográficas del Moncayo y su tesis “Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: Ensayo metodológico y aplicaciones”

Al profesor Aitor Valdeón, por ayudarme con el programa estadístico “r”

A Marina Gómez Fábrega, por hacerme compañía tantas veces en la biblioteca

## ÍNDICE DE FIGURAS:

Figura 1; Localización del área de estudio del Parque natural del Moncayo

Figura 2; Climograma que responde a un clima de montaña continentalizado de un punto del área de estudio (sector zaragozano)

Figura 3; Climograma representativo del sector soriano del Moncayo

Figura 4; Script en programa "r", paquete Dismo

Figura 5; Localización especies vegetales forestales

Figura 6; rango de distribución actual de la vegetación para BIO1

Figura 7; rango de distribución actual de la vegetación para BIO2

Figura 8; rango de distribución actual de la vegetación para BIO3

Figura 9; rango de distribución actual de la vegetación para BIO4

Figura 10; rango de distribución actual de la vegetación para BIO5

Figura 11; rango de distribución actual de la vegetación para BIO6

Figura 12; rango de distribución actual de la vegetación para BIO7

Figura 13; rango de distribución actual de la vegetación para BIO8

Figura 14; rango de distribución actual de la vegetación para BIO9

Figura 15; rango de distribución actual de la vegetación para BIO10

Figura 16; rango de distribución actual de la vegetación para BIO11

Figura 17; rango de distribución actual de la vegetación para BIO12

Figura 18; rango de distribución actual de la vegetación para BIO13

Figura 19; rango de distribución actual de la vegetación para BIO14

Figura 20; rango de distribución actual de la vegetación para BIO15

Figura 21; rango de distribución actual de la vegetación para BIO16

Figura 22; rango de distribución actual de la vegetación para BIO17

Figura 23; rango de distribución actual de la vegetación para BIO18

Figura 24; rango de distribución actual de la vegetación para BIO19

Figura 25; BIO1: Temperatura media anual (°C)

Figura 26; BIO2: Rango de temperaturas diurnas (°C)

Figura 27; BIO3: Isotermalidad (°C)

Figura 28; BIO4: Estacionalidad de las temperaturas (%)

Figura 29; BIO5: Temperatura máxima del mes más cálido (°C)

Figura 30; BIO6: Temperatura mínima del mes más frío

Figura 31; BIO7: Rango anual de temperaturas (°C)

Figura 32; BIO8: Temperatura media del trimestre más lluvioso (°C)

Figura 33; BIO9: Temperatura media del trimestre más seco (°C)

Figura 34; BIO10: Temperatura media del trimestre más cálido (°C)

Figura 35; BIO11: Temperatura media del trimestre más frío

Figura 36; BIO12: Precipitación anual (mm)

Figura 37; BIO13: Precipitación del mes más lluvioso (mm)

Figura 38; BIO14: Precipitación del mes más seco

Figura 39; BIO15: Estacionalidad en la precipitación (%)

Figura 40; BIO16: Precipitación del trimestre más lluvioso (mm)

Figura 41; BIO17: Precipitación del trimestre más seco (mm)

Figura 42; BIO18: Precipitación del trimestre más cálido (mm)

Figura 43; BIO19: Precipitación del trimestre más frío (mm)

Figura 44; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO1)

Figura 45; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO2)

Figura 46; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO3)

Figura 47; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO4)

Figura 48; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO5)

Figura 49; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO6)

Figura 50; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO7)

Figura 51; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO8)

Figura 52; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO9)

Figura 53; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO10)

Figura 54; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO11)

Figura 55; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO12)

Figura 56; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO13)

Figura 57; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO14)

Figura 58; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO15)

Figura 59; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO16)

Figura 60; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO17)

Figura 61; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO18)

Figura 62; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO19)

#### **ÍNDICE DE TABLAS:**

Tabla 1; variables bioclimáticas utilizadas (Busby, 1991)

Tabla2; especies forestales en la zona de estudio

Tabla 3; Ejemplo de serie estadística para la realización de Box Plots

## RESUMEN:

En el presente trabajo fin de grado (TFG) se analiza la relación existente entre el clima y la vegetación y su impacto en la distribución de las especies forestales del parque nacional del Moncayo (PNM) mediante la evolución de índices bioclimáticos, comparando el escenario climático actual con dos proyectados a futuro (2050), uno de ellos en unas condiciones más optimistas (rcp2.6), y otro más pesimistas, con unas concentraciones de gases de efecto invernadero altas (rcp8.5). Los objetivos generales del trabajo han sido, en primer lugar, mediante la caracterización de índices bioclimáticos, analizar la relación actual entre las condiciones climáticas y las especies forestales, en segundo lugar, identificar y caracterizar las transformaciones que sufren las variables bioclimáticas en los escenarios futuros, y por último, inferir posibles cambios en la distribución de las especies.

Los resultados han mostrado que las especies se verán expuestas a soportar notables aumentos de las temperaturas y descensos de las precipitaciones, influyendo en que sus rangos de distribución sufran importantes transformaciones. De hecho, algunas especies desaparecerán para 2050 como la *Betula verrucosa*.

**Palabras clave:** Escenarios futuros, especies forestales, gases de efecto invernadero, rango de distribución, variables bioclimáticas.

## ABSTRACT:

In this Final Project is analysed the relationship between Climate and vegetation and its impact on the distribution of the forest species of the national park of Moncayo through the evolution of bioclimatic indexes, comparing the current climate scenario with two projected for the future (2050), one of them under more optimistic conditions (rcp2.6), and the other more pessimistic, with high concentrations of greenhouse gases (rcp8.5). The general objectives of the work have been, firstly, by characterising bioclimatic indexes, to analyse the current relationship between climatic conditions and forest species, second, identify and characterize the transformations of bioclimatic variables in future scenarios, and finally infer possible changes in species distribution.

The results have shown that species will be exposed to significant increases of temperatures and decreased rainfalls, influencing significant transformations in their range of distribution. In fact, some species will disappear by 2050, as *Betula verrucosa*.

**Key words:** future scenarios, forest species, greenhouse gases, range of distribution, bioclimatic variables.

## **1. INTRODUCCIÓN:**

El cambio global se define como el conjunto de alteraciones que soporta el medio ambiente como consecuencia de la acción antrópica (Welch, 2005), afectando a la vida terrestre y siendo una de sus principales consecuencias el cambio climático (Houghton *et al.*, 2001).

Este cambio climático se entiende como “una variación del clima habitual de una región” (NASA, 2014). Sus efectos son variados y con una elevada variabilidad en el planeta, si bien, haciendo una grosera generalización, es esperable un incremento de las temperaturas (entre 1,5 y 2 °C para los próximos 50 años) y alteraciones en el régimen habitual de las precipitaciones, con un aumento de estas en latitudes altas y un descenso en bajas latitudes. Para climas mediterráneos se esperan además sequías más largas e intensa (IPCC, 2013).

En esas zonas mediterráneas, las áreas de ecotono, que no son sino zonas de transición entre ecosistemas diferentes, son numerosos siendo áreas especialmente sensibles a las variaciones en las condiciones climáticas. (Dryer *et al.*, 1988; Hansen *et al.*, 1992; Noble, 1993; MacDonald *et al.*, 1998; IPCC, 2007). Esto convierte al Moncayo, nuestra zona de estudio, en especialmente interesante para analizar el posible efecto de estas variaciones sobre la vegetación. En este sentido “Los ecotonos han sido sugeridos como áreas sensibles al cambio que podrían modelarse y monitorizarse de manera efectiva para observar futuros cambios. Además tienen una elevada influencia en patrones de biodiversidad a escala local” (Neilson, 1993).

La distribución de las especies forestales está directamente relacionada con las características climáticas de la región en la que se asientan (Quintero y Wiens, 2013). Así, es de suponer que, como señalan Santa *et al.* (2014) “puesto que los cambios climáticos globales tienen efectos importantes sobre la biodiversidad y los procesos de los ecosistemas”. En nuestro caso, el propósito principal del presente trabajo sería el de relacionar el clima actual en el macizo del Moncayo a partir de la modelización espacial de un conjunto de variables bioclimáticas con la distribución observada de las especies forestales tratando de, con los datos climáticos modelizados a futuro, inferir cuáles pueden ser las consecuencias de las alteraciones en el clima sobre estas especies.

### **1.1 JUSTIFICACIÓN DEL TRABAJO:**

El Moncayo está considerado como uno de los enclaves biogeográficos más importantes de Aragón. Debido a sus características climáticas singulares, presenta unas condiciones óptimas para el desarrollo de distintos cultivos y para qué gran diversidad de especies vegetales, tanto forestales como arbustivas, prosperen (Cuadrat, Saz y Vicente, 2007). De hecho, esta singularidad climática permite que al macizo del Moncayo se le pueda denominar como un clásico espacio de ecotono, situado entre ambientes plenamente mediterráneos y otros que, condicionados por la altitud, nos acercarán al mundo eurosiberiano, aunque siempre con una elevada influencia mediterránea.



El hecho de que el área de estudio sea un ecotono aumenta el interés para su estudio, por la ya en el apartado anterior señalada mayor sensibilidad respecto a los cambios externos, en especial climáticos, que tienen las distintas comunidades vegetales. A ello hay que sumar el nivel administrativo que tiene el Moncayo, al cual se le catalogó como “Parque Natural del Moncayo” a finales de la década de los 90, concretamente en 1998, a partir del decreto 73/1998, de 31 de Marzo, por la cual se aprobaba el plan de ordenación de recursos naturales (PORN) de la comarca del Moncayo y se declaraba parque natural. Además, debido a su notable extensión (9.848 ha) agrupa dentro de sí mismo a figuras de protección de niveles inferiores como ZEPA (Zona especial de protección para las aves) o LICs (Lugares de interés comunitario) y ZECs (Zonas de Especial Conservación). A ellas habría que incluir el plan rector de uso y gestión (PRUG) de 2002.

Esta condición de “Parque Natural” le ofrece, junto al enclave paisajístico que representa y el patrimonio cultural que acoge, una potencialidad turística elevada, con todo lo que ello supone para el desarrollo del territorio, desarrollo socioeconómico y su sostenibilidad ambiental, que podría verse mermada si para décadas posteriores los cambios en variables como temperatura y precipitación tuvieran un impacto negativo en la riqueza vegetal.

## **1.2 ANTECEDENTES:**

La tierra es dinámica, está en continuo cambio. Cambios que durante los últimos doscientos años, desde la revolución industrial, se han acrecentado a consecuencia de la actividad antrópica. (M. Jarraud, 2008).

Por lo tanto, bajo el marco climático actual en el que además la concienciación ambiental ha crecido en las últimas décadas, y ejemplo de ello son las conferencias de la ONU en Estocolmo (1972) y Río (1992), la cumbre de Johannesburgo (2002), o la celebrada este mismo año (2019) en Chile. Y a su vez, son muchos y cada vez más, los estudios climáticos realizados, y muchos los que tratan las consecuencias que los efectos del cambio climático tienen sobre elementos naturales entre los que destaca la vegetación, normalmente cultivos, debido a las pérdidas económicas y logísticas que puede producir un contexto climático exigente. (Olcina et al. 2017)

Así pues, debido a la búsqueda de la relación clima-vegetación, los estudios que mejor contextualizan al presente trabajo son los que han seguido una metodología basada en modelos correlativos ambientales como el modelo Bioclim, capaces de asociar la presencia de una especie con las variables bioclimáticas definidas por Busby. Entre otros (Läderach et al. 2010), (Pearson, 2007), (Phillips Steven et al. 2005) o (Watanabe et al. 2011). Además, me gustaría señalar por su especial interés los siguientes:

- (Xie He et al. 2019); “Distributional responses to climate changes for alpine species of *Cyananthus*” and *Primula*” endemic to the Hymalaya-Hengduan mountains”. En el, se destacan cambios en la distribución de la vegetación estudiada con resultados que muestran, bajo un escenario de cambio climático cálido, un descenso de hábitat ocupado por las especies.

- (Rodrigues, PMS et al, 2013); "Climate change effects on the geographic distribution of specialist tree species of the brazilian tropical dry forests". Este estudio trabajó con modelos de nicho ecológico (ENM), en ámbitos tropicales secos, y tomando como escenario futuro un contexto pesimista para 2080. El resultado fue que el territorio ocupado por las especies trabajadas, que era prácticamente la totalidad de Brasil, se vió reducido notablemente.
  
- (Armando Isaac Martínez Valle, 2012); "Determinación de las zonas de distribución de cacao en las condiciones climáticas presentes y futuras en Nicaragua mediante maxent". En este trabajo de fin de máster, se prueba la capacidad de los modelos de distribución de especies para estudiar los cambios en la distribución espacial de las especies, en este caso concreto con el cacao y el café para 2050. Las conclusiones fueron que se podría llevar a cabo un incremento de la aptitud climática en el cacao, y lo contrario en el caso del café.
  
- (José Manuel Macías Barredo, 2016); "Distribución actual y potencial de especies leñosas alimenticias en África para la formulación de estrategias de conservación". Lo interesante de este trabajo es que se ha construido un modelo de distribución para escenarios futuros pero, trabajando en un contexto climático extremo. Curiosamente, el trabajo concluye indicando que la supervivencia y su superficie estarían aseguradas para 2050.

### **1.3 OBJETIVOS:**

1. Analizar la relación existente en el marco climático actual entre la distribución de las especies forestales en el Macizo del Moncayo y la climatología de esa zona, caracterizada a partir de los índices bioclimáticos
  
2. Identificar y caracterizar las variaciones en los índices bioclimáticos y por lo tanto en el clima para el periodo 2041-2060 en los escenarios rcp2.6 y rcp8.5
  
3. Inferir posibles cambios futuros en la distribución de la vegetación en los escenarios propuestos

## 2. ZONA DE ESTUDIO:

El parque natural del Moncayo se localiza en el sector central de la Cordillera Ibérica. Su extensión mayoritaria queda al este de la provincia de Zaragoza, entre las comarcas aragonesas del Aranda, Tarazona y del Moncayo. Aunque su cara oeste pertenezca al sector más oriental de Soria.

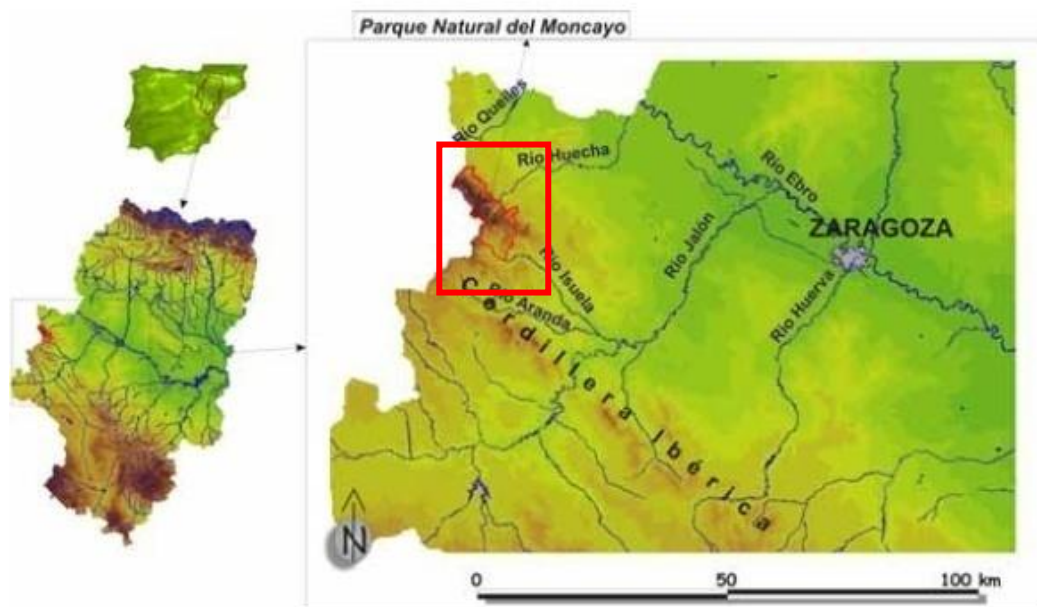


Figura 1; Localización del área de estudio del Parque natural del Moncayo

El macizo es un gran domo anticlinal de 2.316 metros de altitud que “llama poderosamente la atención por su aislamiento y el poderoso resalte de este macizo sobre las topografías circundantes” (Pellicer, 1980). Formado en la era Paleozoica y cubierto por una cobertera sedimentaria de materiales triásicos, esta capa, sin ser muy potente, tampoco es ni mucho menos homogénea en toda la dimensión del Moncayo, sino que en el sector soriano es mucho más robusta que en la zona Norte-Zaragozana, la cual ha sufrido más actividad erosiva por la mayor energía del relieve.

Se diferencian así dos vertientes con características diferentes, y no solo en lo geológico, sino también en lo climatológico, forestal y paisajístico: la vertiente soriana “de topografía tendida y orientada al suroeste, y la zaragozana, claramente escarpada y expuesta al nordeste” (Longares, 2004). Es precisamente a consecuencia de este perfil y por la fuerte energía del relieve, con un desnivel de más de 2.000 metros desde el entorno de la depresión del Ebro hasta la cumbre por lo que existe una alternancia marcada, y podemos decir que especialmente didáctica, de pisos bioclimáticos.

En cuanto a las características climáticas del macizo, obedecen, según la clasificación de Cuadrat, a un clima de montaña mediterránea continentalizada, el cuál es el tipo de clima montañoso más cálido y seco de Aragón, con valores de precipitación que generalmente no acumulan los 1.000 mm anuales. A continuación se muestra un climograma de la zona de

estudio para confirmar que el clima dominante es el de montaña mediterránea continentalizada.

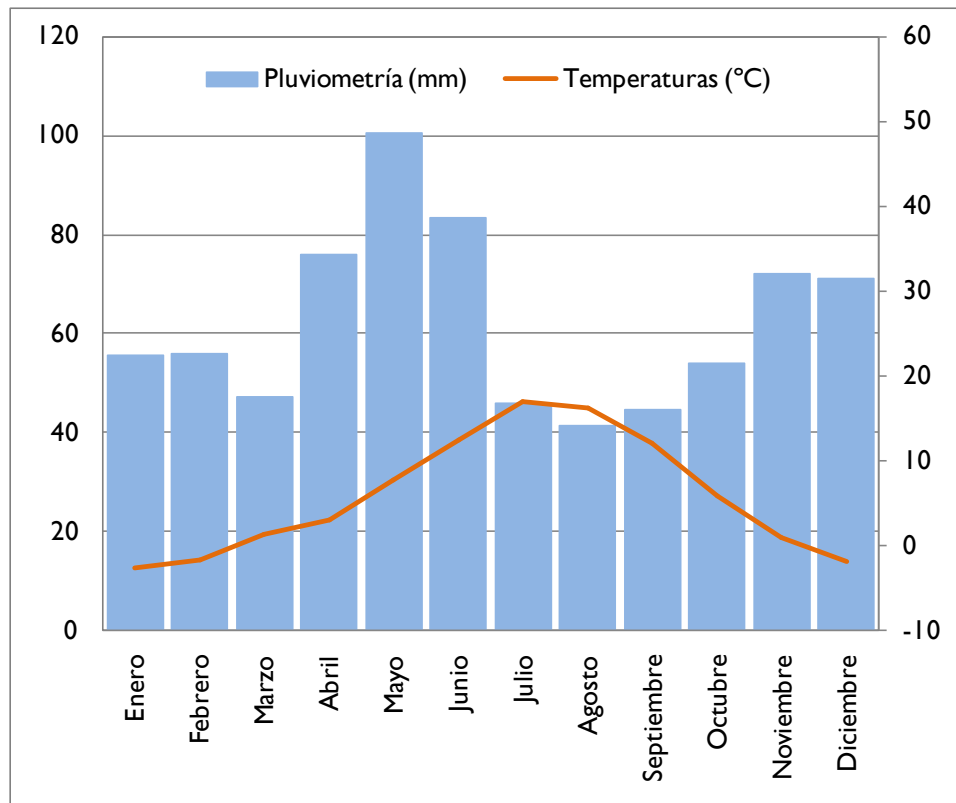


Figura 2; Climograma que responde a un clima de montaña continentalizado de un punto del área de estudio

Fuente de datos: Atlas climático de Aragón, coordenadas del punto ( 598002, 4625550, en el sector norte del parque, a una altitud de 800 metros de altitud, y en la vertiente zaragozana),

La característica “continentalizado”, que de manera generalizada queda asociada a amplias diferencias entre las temperaturas mínimas y máximas, o a la irregularidad en las precipitaciones con presencia, en ocasiones, de tormentas convectivas, se potencia para el caso del Moncayo debido a su orografía, al anteriormente citado “desnivel topográfico”.

Ibarra et al, (2003) estudiaron la vertiente zaragozana del macizo. En ese trabajo observaron que el gradiente término altitudinal era de 6°C/1000 metros para las temperaturas máximas, y 2,85°C/1000 metros para las temperaturas mínimas, además de un aumento de más de 70mm cada 100 metros.

No obstante, no podemos obviar que un único climograma puede ser escaso para describir las características generales del clima de una zona. Además, el Moncayo al encontrarse en un sector de transición, y sumado a ello la confluencia de vientos. Por lo tanto, a continuación se expone otro climograma, esta vez del sector sur, y además perteneciente a la región soriana, y no a la zaragozana como es el caso anterior.

Como se puede observar, en el climograma perteneciente a la vertiente soriana, la pluviometría sufre un cierto descenso, sobre todo en meses como Mayo o en Junio (+20 mm de diferencia en ambos casos). Mientras que el comportamiento de las temperaturas es justo el contrario, son más frescas en el territorio zaragozano. Hecho que se acentúa en los meses de invierno, en los que las temperaturas bajo cero son algo común al sur del Moncayo.

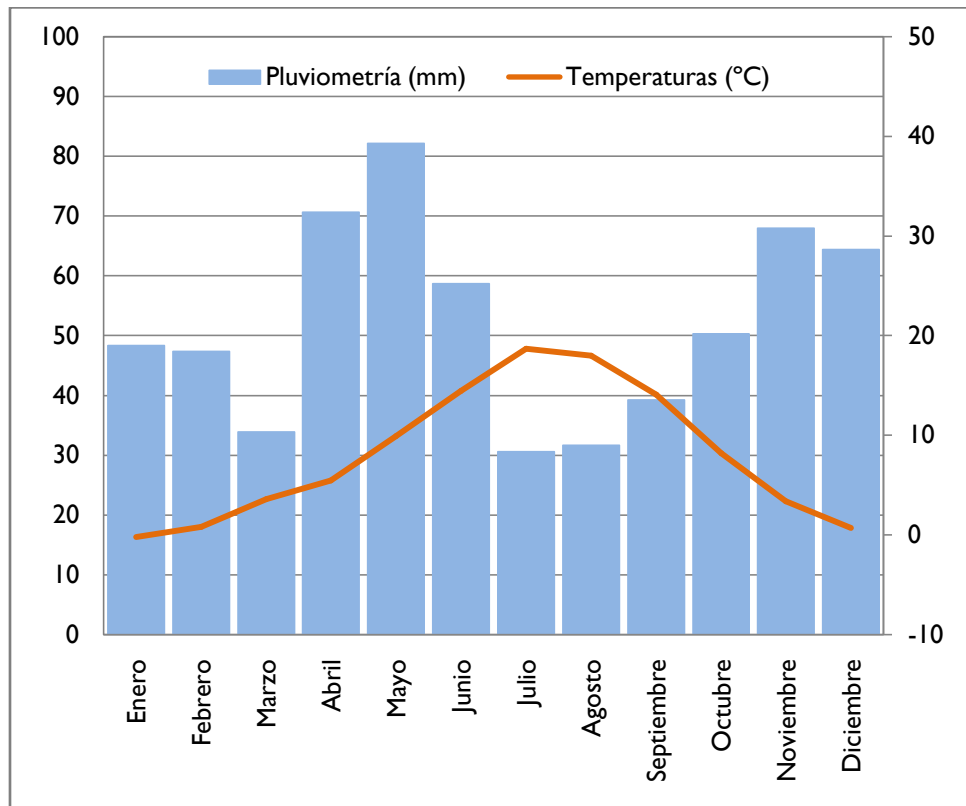


Figura 3; Climograma correspondiente al sector sur del Moncayo. La altitud del punto vuelve a ser de 800 metros, y las coordenadas del mismo son (600577, 4620686)

Los gradientes térmicos y pluviométricos son los desencadenantes de la secuencia altitudinal de la vegetación, conformando los pisos bioclimáticos, los cuales, en la vertiente aragonesa del Moncayo, son los siguientes (Longares, 2004):

- Piso mesomediterráneo: También llamado piso basal, se desarrollada en los primeros 1.000 metros. En la vertiente zaragozana responde a la zona de transición entre la depresión del Ebro y las formaciones vegetales atlánticos de pisos superiores. En él dominan las comunidades vegetales de ámbito mediterráneo. Algunas de las especies dominantes son la encina (*Quercus ilex*) o matorrales como la Aliaga (*Genista scorpius*) o como el tomillo (*Thymus vulgaris*).
- A partir de los 1.000 metros de altitud comienza el piso supramediterráneo. El aumento de las precipitaciones conlleva que las comunidades vegetales dominantes pasen a ser los rebollares (*Quercus pyrenaica*) y los robles albares (*Quercus petraea*).

A su vez, se ven acompañados por brezales y matorrales de sustitución. Alrededor de los 1300-1600 metros aparecen las masas de hayedos (*Fagus sylvatica*), y manchas de pinar (*Pinus halepensis*), y pinares silvestres repoblados (*Pinus sylvestris*).

- Por encima de los 1.800 metros queda definido el piso oromediterráneo, en el que como consecuencia de la pérdida de suelo, el bosque pierde poco a poco su presencia. Las comunidades vegetales dominantes son los enebros (*Juniperus communis*), acompañados de sabinas (*Juniperus sabina*).
- Por último, superando los 2.000 metros de altura, como indica Navarro, (1980A y 1989) el denominado como piso criomediterráneo “no cumple con los requisitos establecidos para ser un piso bioclimático”. No obstante lo tratamos como tal, y en él únicamente se desarrollan pastos alpinos.

### 3. DATOS Y METODOLOGÍA:

Vamos a dividir el apartado metodológico en dos fases. En primer lugar la obtención de datos climáticos, cálculo de las variables bioclimáticas y realización de la cartografía; y en segundo lugar la interrelación entre los resultados de las variables bioclimáticas con la distribución de la vegetación para la situación actual y los escenarios futuros.

#### 3.1. Obtención de datos climáticos, cálculo de las variables bioclimáticas y realización de la cartografía

Los datos climáticos han sido recopilados de la base de datos *Worldclim* (Hijmans *et al.* 2005), la cual utiliza modelos de circulación global, modelos físicos sobre dinámica climática y capas provenientes de interpolaciones para obtener capas en formato ráster tanto del futuro como del clima actual (Varela *et al.*, 2015). Las capas resultantes que ofrece *Worldclim* llegan a tener una resolución espacial de 30 segundos, es decir, cerca de un km<sup>2</sup> en el ecuador para cada píxel.

En relación con las capas modelizadas a futuro, *Worldclim* ofrece 4 escenarios distintos dependiendo de la concentración de gases de efecto invernadero medido en W/m<sup>2</sup>; 2.6, 4.5, 6.0 y 8.5rcp (*Representative Concentration Pathways*). En el presente trabajo han sido valorados para su uso el escenario más optimista y por tanto de menor concentración en la atmósfera de gases con efecto invernadero GEI (2.6rcp), y el escenario más pesimista y por tanto de mayor concentración de GEI y previsiblemente mayor aumento de las temperaturas (rcp8.5) (Taylor *et al.*, 2012), en base al GCM (*Global Climate Model*) CCSM4, el cual contiene datos para ambos escenarios futuros y ha sido utilizado en trabajos como (Abdallah y Jaafar., 2019).

Una vez definido el modelo climático y los escenarios futuros a utilizar se descargará la información directamente desde la base de datos, en concreto las 19 variables bioclimáticas definidas por (Busby, 1991), once de las cuales hacen referencia a características de las temperaturas y 8 a características de las precipitaciones. “La finalidad de estas variables bioclimáticas es principalmente representar tendencias, estacionalidades y factores ambientales extremos o limitantes” (Martínez Valle, 2012) (*ver tabla1*)

Cabe destacar que el procedimiento anteriormente explicado solo se tuvo que realizar para ambos escenarios futuros, puesto que ya se contaba con datos para el escenario actual a partir del trabajo de (Serrano Notivoli, 2017), de donde se obtuvieron los datos actuales de temperaturas medias mensuales, mínimas y máximas, así como de las precipitaciones totales, con la diferencia de que estas capas gozan de una precisión mucho mayor y los píxeles son de 200 metros cuadrados, característica que se hará notar de forma importante a la hora de representar los datos cartográficamente.

Además, en base a los datos anteriormente citados, se calcularon las variables bioclimáticas. Para ello se utilizó el software “*R-studio*” y su paquete “*PackageDismo*”. A continuación se muestra el Script completo utilizado para calcular las variables a partir de los datos de temperaturas y de precipitaciones actuales.

## Script

#Carga de librería dismo

library(dismo)

#Carga de carpeta de trabajo

setwd("F:/clips")

#Creamos rasterbrick con las capas de precipitación, temperatura máxima y mínima

pcp<-

brick(raster("pcp1"),raster("pcp2"),raster("pcp3"),raster("pcp4"),raster("pcp5"),raster("pcp6"),  
raster("pcp7"),raster("pcp8"),raster("pcp9"),raster("pcp10"),raster("pcp11"),raster("pcp12"))

tmax<-

brick(raster("tmax1"),raster("tmax2"),raster("tmax3"),raster("tmax4"),raster("tmax5"),raster("tmax6"),  
raster("tmax7"),raster("tmax8"),raster("tmax9"),raster("tmax10"),raster("tmax11"),raster("tmax12"))

tmin<-

brick(raster("tmin1"),raster("tmin2"),raster("tmin3"),raster("tmin4"),raster("tmin5"),raster("tmin6"),  
raster("tmin7"),raster("tmin8"),raster("tmin9"),raster("tmin10"),raster("tmin11"),raster("tmin12"))

#Creamos las variables bioclimáticas

bio<-biovars(pcp,tmin,tmax)

#Carga de carpeta de trabajo para guardar capas

setwd("F:/BIO")

#Guardamos las variables bioclimáticas en formato ascii

for(i in 1:19){writeRaster(bio[[i]],paste("Bio\_",i,".asc",sep=""),format='ascii')}

*Figura 4; Script en programa "r", paquete Dismo*



BIO No.	Descripción de la variable
BIO1	Temperatura media anual (°C)
BIO2	Rango de temperaturas diurnas (°C)
BIO3	Isotermalidad (BIO2/BIO7)*100 (%)
BIO4	Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar *100) (%)
BIO5	Temperatura máxima del mes más cálido (°C)
BIO6	Temperatura mínima del mes más frío (°C)
BIO7	Rango anual de temperatura (BIO5-BIO6) (°C)
BIO8	Temperatura media del trimestre más lluvioso (°C)
BIO9	Temperatura media del trimestre más seco (°C)
BIO10	Temperatura media del trimestre más cálido (°C)
BIO11	Temperatura media del trimestre más frío (°C)
BIO12	Precipitación anual (mm)
BIO13	Precipitación del mes más lluvioso (mm)
BIO14	Precipitación del mes más seco (mm)
BIO15	Estacionalidad en la precipitación (coeficiente de variación) (%)
BIO16	Precipitación del trimestre más lluvioso (mm)
BIO17	Precipitación del trimestre más seco (mm)
BIO18	Precipitación del trimestre más cálido (mm)
BIO19	Precipitación del trimestre más frío (mm)

*Tabla 2; Índices bioclimáticas utilizados (Busby, 1991)*

Por último, las capas resultantes de las variables para los escenarios rcp2.6 y rcp8.5 a partir de su cálculo en R con el package citado tuvieron que ser cortadas para la zona de estudio ya que el resultado obtenido fue a escala global. Por lo tanto se utilizó la herramienta de *ArcGis* “clip” para delimitar los datos únicamente a la capa del Moncayo. Esto no fue necesario hacerlo con las capas del escenario actual puesto que ya estaban delimitadas al área del macizo.

Finalmente, para cada cartografía, con el fin de que el resultado no quedara plano y se pudieran observar con claridad las diferencias y la evolución de los resultados para los distintos escenarios, se adecuaron intervalos personalizados para cada una de las variables, pero siempre utilizando el mismo intervalo para los tres escenarios que componen cada una de las mismas.

### **3.2. Interrelacionar los resultados de las variables bioclimáticas con la distribución de la vegetación**

El objetivo principal de relacionar las variables bioclimáticas y la distribución de la vegetación, es tratar de profundizar en las relaciones espaciales entre ambos aspectos. Para ello ha sido necesario trabajar con una capa de vegetación del macizo del Moncayo y mediante *ArcGis* hacer una malla de puntos con la herramienta “fishnet”, la cual nos ayudará a la hora de localizar las distintas especies.

No obstante previo a ello, los tipos de vegetación presentes en el área de estudio han sufrido una criba. En relación con su mayor representatividad espacial, se ha decidido trabajar con las siguientes especies, todas ellas forestales y características del macizo del Moncayo.

NOMBRE COMÚN	NOMBRE CIENTÍFICO
Abedular	<i>Betula verrucosa</i>
Acebeda	<i>Ilex aquifolium</i>
Encinar	<i>Quercus ilex</i>
Enebral	<i>Juniperus communis</i>
Sabina rastrera	<i>Juniperus sabina</i>
Hayedo	<i>Fagus sylvatica</i>
Pinar	<i>Pinus halepensis</i>
Pino negro	<i>Pinus uncinata</i>
Pino silvestre	<i>Pinus sylvestris</i>
Rebollar	<i>Quercus pyrenaica</i>
Roble Albar	<i>Quercus petraea</i>

Tabla2; especies forestales en la zona de estudio

Ya con la capa de vegetación cargada en ArcGis y con el “fishnet” o malla de puntos realizada, los siguientes pasos para poder obtener los datos necesarios para llevar a cabo ese análisis de la relación “vegetación-variables bioclimáticas” son los siguientes:

- En primer lugar, mediante una selección por localización e indicando la opción “*intersect the source layer feature*”, se crearán capas individualizadas de los puntos que sean intersectados para cada tipo de vegetación.
- A continuación, tras haber hecho el paso anterior para las once especies forestales, a partir de la herramienta “*extract multi values to point*”, se extraerán los datos de localización de la vegetación. Este procedimiento se ha seguido con todas las especies forestales y para los tres escenarios trabajados.
- Posteriormente se trasladarán los datos a Excel, que nos permitirán representar los datos obtenidos a partir de unos gráficos de caja, también denominados “*box plot*”.

Para la realización de los “*box plot*”, al utilizar una versión de las tablas de cálculo Excel antigua (2007), fue necesario calcular estadísticos básicos para cada una de las series de datos. Dichos estadísticos fueron el mínimo, cuartil 1, media, cuartil 3, y el máximo.

No obstante, para poder llevar a cabo la representación de las “cajas” de los gráficos de manera correcta, se tuvieron que poner en relación entre sí los estadísticos anteriormente citados, de la siguiente manera:

- Min= Min
- Cuartil 1= (Cuartil 1 – Min)
- Media= (Promedio – Cuartil 1)
- Cuartil 3= (Cuartil 3 – Promedio)
- Max= (Max – Cuartil 3)

Por último, habiéndolo consensuado con el Dr. Miguel Ángel Saz, se incluyeron barras de error que nos ayudan a indicar el error estimado.

Estadísticos originales											
Min	2,10	0,05	1,27	-0,18	-0,33	-0,40	0,69	-2,20	-1,33	1,11	1,25
Q1	2,18954	1,408905	2,0976075	0,58358775	0,35739175	0,8833825	1,502335	-1,0833	0,28341175	1,99409	2,040305
Media	2,29	1,87	2,46	0,91	0,75	1,27	1,92	-0,45	1,08	2,35	2,30
Q3	2,3991525	2,364245	2,8686325	1,171195	1,02435	1,711445	2,3464525	-0,200777	1,83249	2,69602	2,70283
Max	2,48	3,43	3,65	2,16	2,43	2,69	3,33	2,51	3,46	3,45	3,09

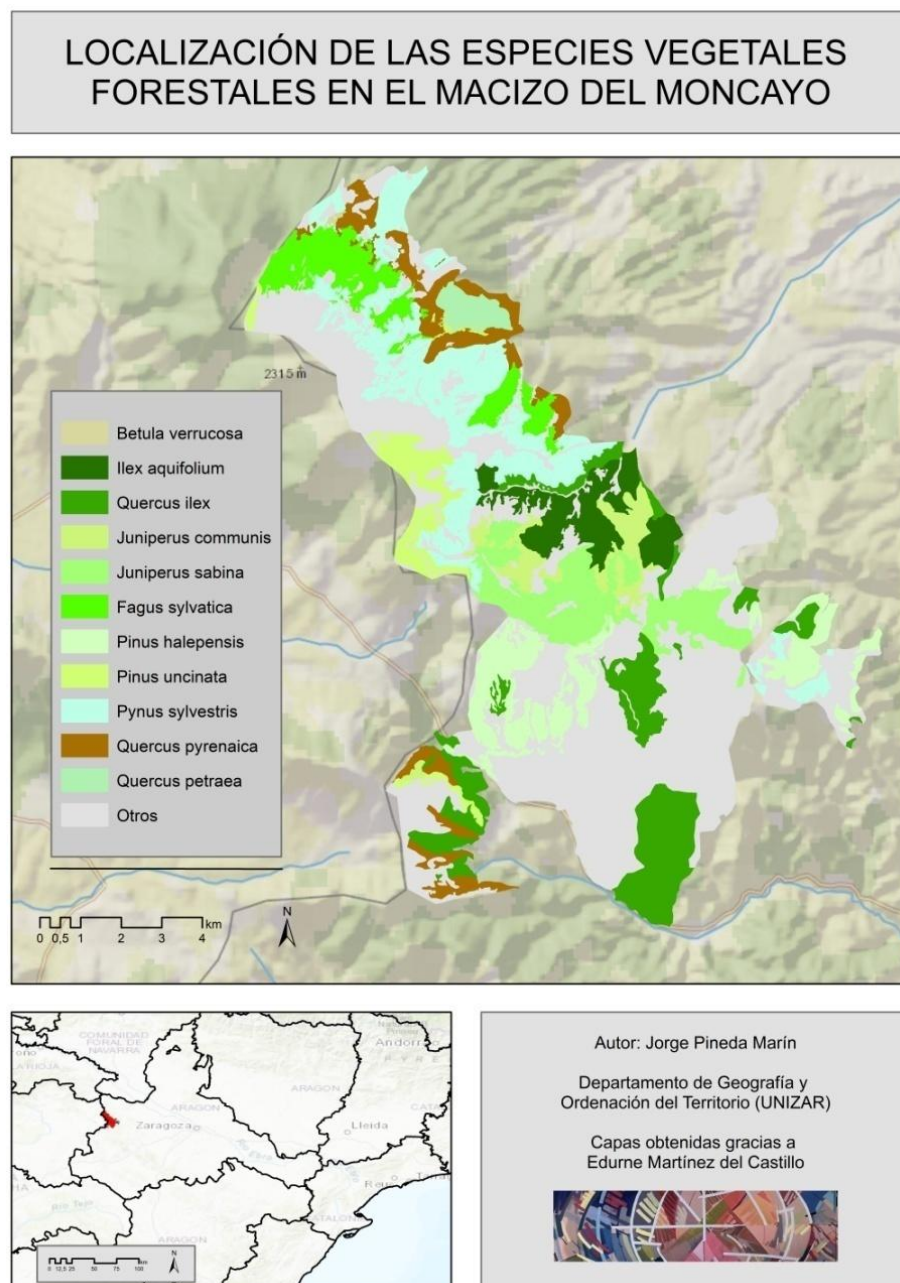
Estadísticos relacionados											
Min	2,10	0,05	1,27	-0,18	-0,33	-0,40	0,69	-2,20	-1,33	1,11	1,25
Q1	0,09	1,36	0,83	0,76	0,69	1,29	0,82	1,12	1,61	0,88	0,79
Media	0,10	0,46	0,36	0,33	0,39	0,39	0,42	0,63	0,79	0,35	0,26
Q3	0,11	0,49	0,41	0,26	0,28	0,44	0,42	0,25	0,76	0,35	0,41
Max	0,08	1,06	0,78	0,99	1,40	0,98	0,99	2,71	1,63	0,75	0,39

*Tabla 3; Ejemplo de serie estadística para la realización de Box Plots*

#### 4. RESULTADOS

##### a. Distribución actual de la vegetación y relación con el clima

La localización actual de las especies forestales se puede observar a continuación en la *figura 5*. Destacar, que en la leyenda, se ha incluido un apartado denominado “*otros*”, en el que han quedado agrupadas otras formaciones arbustivas y pastizales, estas últimas concentradas en el sector noroeste, donde se sitúa la cima del Moncayo, en el denominado piso crioromediterráneo. Pero además se han incluido también los cultivos que dominan el sector sur, y también los espacios con suelo desnudo.



*Figura 5; Localización especies vegetales forestales*

Una vez realizada la cartografía de localización, y mediante la interrelación de los resultados de las variables bioclimáticas, se han obtenido los rangos de distribución de cada una de las especies en base a cada una de las variables bioclimáticas, como se verá a continuación.

Con la ayuda de dos fuentes de datos que trabajan a escala europea, (Euforgen.org) y nacional (especiesforestales.com), se van a definir los principales factores que influyen en la distribución de cada una de las especies analizadas: altitud, régimen pluviométrico y régimen térmico. Identificados los rangos de distribución a escala continental y nacional de cada una de las especies analizaremos sus patrones de distribución en altitud en el PNM y su rango térmico y pluviométrico en esta zona a partir de los índices bioclimáticos propuestos.

***Betula verrucosa***, es una de las especies con mayor presencia en el continente europeo, subsistiendo incluso en latitudes cercanas a los 70º N. En España principalmente se concentra en Galicia y en la cordillera ibérica, mientras que en la mitad sur de la península su presencia es nula. Mientras tanto, en el PNM se localiza en altitudes que oscilan entre los 800 y los 1800 metros, en el denominado piso supramediterráneo.

Presenta un régimen pluviométrico muy amplio, ya que puede, en el contexto nacional, soportar concentraciones de precipitación anual de 1800 mm, o de únicamente 350 mm, por lo que dependiendo de la cantidad de precipitación acumulada pueda responder a características de especies mesófilas o freatófilas. A escala europeo (únicos datos posibles), el rango de distribución para la precipitación en el mes más seco abarca entre los 20 y los 70 mm. Para el caso específico de la zona de estudio, se observa un comportamiento mesófilo ya que su rango de distribución en cuanto a precipitaciones anuales se encuadra entre los 600 y 630, que no son datos tan altos como para describirla como especie higrófila. Para acabar con las características del régimen pluviométrico, comentar, que la distribución en base a la precipitación en el mes más seco se encuadra entre los 18 y 29 mm.

En cuanto al régimen térmico, su rango de distribución a escala nacional se sitúa entre los 6 y los 18ºC, y a escala europea entre los 0 y 13ºC. Para la temperatura máxima del mes más cálido, para lo cual únicamente hay datos a escala nacional, se distribuye entre los 10 y los 18ºC, y en cuanto al rango de distribución para la temperatura media del mes más frío va desde los -25 a 10ºC a escala nacional, y entre -15 y 5ºC a escala europea.

No obstante, para el área de estudio, el régimen de temperaturas es mucho más concentrado, alrededor de los 9,6 y 10,2ºC. Los datos resultantes para el trimestre más cálido se adecúan bastante a los nacionales pese a que estos trabajen trimestralmente. Si bien es cierto que debido a la mayor escala, hay mayor detalle en los datos, y por lo tanto el rango será más reducido, entre los 17,2 a 17,3ºC aproximadamente. Por último, en cuanto a la temperatura media del mes más frío, el rango obtenido tiene una amplitud mínima, entre 2,2 y 2,5 ºC.

La siguiente especie forestal es el ***Ilex aquifolium***. Única especie con la que exclusivamente se puede comparar datos de la zona de estudio y datos europeos, no nacionales, puesto que no se han encontrado más bases de datos fiables. No obstante, en base a (Guerrero et al., 2016), podemos definir los rangos aproximados para la temperatura media

anual, la temperatura media del mes más frío, y en este caso, las precipitaciones del mes más seco a escala europea.

Se localiza principalmente al norte de la península ibérica, Alemania, Francia y las islas británicas, pudiendo soportar altitudes superiores a los 2500 metros. Concretamente en el Moncayo se distribuye en el piso supramediterráneo, sobre todo a partir de los 1200 metros de altura sobre el nivel del mar.

En cuanto a la comparación pluviométrica, el rango para la precipitación media anual europea se distribuye entre los 500 y los 1300 mm, mientras que para el sector analizado lo hace entre los 600 y 900 mm.

En relación con el régimen térmico, el rango de distribución para la temperatura media anual a escala europeo va desde los 5 a 13°C, mientras que para la temperatura media del mes más frío se establece entre -1 y 8°C. Respectivamente en la **zona de estudio**, estos rangos se moverán de 9 a 10°C, y de 1,5 a 2,3°C, teniendo en cuenta que estos últimos datos para el Moncayo son obtenidos a partir de la temperatura media del trimestre más frío y no del mes específico.

La tercera especie analizada ha sido el *Quercus ilex*. Su localización es algo más singular que las dos especies anteriores, ya que en este caso, cuenta con una presencia más marginal. La comúnmente denominada “encina”, domina toda la península ibérica y los alrededores del mediterráneo al ser nativa. No obstante, hay que subrayar que en España, ciertos sectores especiales no cuenta con el *Quercus ilex*, como la depresión del Ebro o el macizo galaico. En la zona de estudio, se localiza entre los 0 y los 1300 metros de altitud, correspondiéndose al piso mesomediterráneo.

En cuanto al régimen pluviométrico, a escala europea el *Quercus ilex* presenta una acumulación de precipitación anual entre los 500 y 900 mm, mientras que para la misma variable, pero a escala nacional, el rango desciende su máximo notablemente, no sobrepasando acumulaciones de 500 mm. Para la precipitación en el mes más seco, variable con datos únicamente a escala europea y comparada con *BIO17*, el rango de distribución se encuadra entre los 20 y los 60 mm. Mientras tanto en el área de estudio, la precipitación anual es de entre 450 y 580 mm, mientras que la precipitación acumulada en el mes más seco es de 70 a 90 mm.

En relación con las características térmicas, los territorios en los que se encuentra la presente especie, la temperatura media anual está entre los 10 y los 18°C a nivel europeo, mientras que a escala nacional los datos son idénticos. En cuanto a la temperatura media del mes más cálido, se observa que en España la encina presenta un carácter termófilo, es decir, se instaura en espacios con temperaturas altas, superiores incluso a los 25°C. Por último, para la temperatura media del mes más frío a escala europea ha mostrado un rango amplio, de 0 a 10°C, el cual es bastante más frío que en el caso nacional, que se instaura alrededor de los 10°C.

En el PNN, los rangos han sido los siguientes. En base a la temperatura media anual, alrededor de los 10°C, bastante por debajo de los 25°C que se alcanzan a escala europea. Por

otro lado, la temperatura en el mes más cálido, de unos 18°C. Por último, el rango de distribución en el mes más frío, será de entre 2 y 3°C, muy inferior si lo comparamos con la escala nacional y continental. No obstante, este último dato achacable a que se han utilizado variables trimestrales para el estudio local.

A continuación, el *Juniperus communis*; especie para la cual únicamente hay datos a escala europea, cuenta con la extensión más amplia en cuanto a distribución geográfica de todas las coníferas, estando presente en toda Europa, aunque con mayor frecuencia en España, Francia y Finlandia. En el área de estudio se localiza alrededor de los 1000-1300 metros, en la frontera entre el piso mesomediterráneo y el supramediterráneo.

En primer lugar, el régimen pluviométrico; los rangos de distribución para la precipitación anual son los siguientes, entre 500-1200 mm a escala europea, y de entre 40 a 80 mm de precipitación acumulada en el mes más seco. Mientras que, en el PNN, la precipitación anual está alrededor de 1000 mm, adecuándose al dato europeo y entre 150-160 mm de acumulación en el mes más seco, doblando así el dato continental

Pasamos a los datos sobre temperaturas. La temperatura media anual, cuyo rango de distribución para Europa será de 0 a 13°C, muy amplio, y entre -12 y 10°C en el caso de la temperatura media del mes más frío. Si bien es cierto que al ser un rango tan amplio, es difícil realizar una comparación con rigurosidad. Por otro lado, a escala local, la temperatura media anual queda entre 10 y 11°C, mientras el rango relacionado con la temperatura del mes más frío da como resultado una distribución alrededor de 1°C. Así pues, es destacable el amplio rango de distribución europea, pero es lógico puesto que la cantidad de individuos recopilados que conforman los datos es mucho mayor.

La quinta especie a analizar es la comúnmente conocida como Sabina rastrera (*Juniperus sabina*), para la que no hay datos a escala europea.

Abundante en Soria, Burgos, Teruel, Cuenca o Guadalajara, es una especie con gran capacidad de adaptación en relación con la altitud, de hecho, según ([especiesforestales.com](http://especiesforestales.com)), hay individuos a más de 3000 metros en la cordillera del Atlas. Pero en cuanto a su presencia en el Moncayo, esta especie se localizará entre los 800 y los 1600 metros, en el piso supramediterráneo.

En cuanto al régimen pluviométrico, en este caso únicamente se compara la precipitación media anual, que a la escala nacional presentará un rango de distribución en el cual la Sabina rastrera no se localizará en sectores con menos de 400 mm anuales, y esto se cumple en el Moncayo, ya que el rango se establece entre los 900 y los 1100 mm.

Para el régimen térmico si contamos con más variables a comparar. Comenzamos por la temperatura media anual, que presenta un rango a escala nacional entre los 7,5 y 14°C En cuanto a la temperatura media del mes más cálido y del mes más frío, los rangos nacionales son los siguientes, de 24 a 34°C, como se puede ver temperaturas muy altas debido a la continentalidad que soportan algunas de las provincias anteriormente citadas, y entre los -4,5 y 0,5°C, respectivamente. En cambio, para en el PNM, el rango de distribución para la temperatura media anual se sitúa entre los 7-8°C, dentro del rango nacional pero con un

descenso notable de la amplitud como consecuencia de la mayor cantidad de individuos cuantificados a escala nacional. En relación con la temperatura media del mes más cálido y del mes más frío, los rangos de manera respectiva son, alrededor de 16°C.

En cuanto al *Fagus Sylvatica*, se localiza en la mitad suroeste del continente europeo, desde Sicilia en un extremo hasta el sur de Noruega en el otro. No alcanza los países del este ni el norte de los países escandinavos. A escala nacional, únicamente al norte de la península, principalmente en la cordillera cantábrica, con pequeños reductos en espacios del sistema ibérico. Y en cuanto a su localización en el macizo del Moncayo, se encuentra entre los 900 y los 1600 metros, por lo tanto se desarrolla en el tránsito entre el piso mesomediterráneo y supramediterráneo, y este último piso.

Presenta las siguientes características pluviométricas, en primer lugar, a escala europea se ha observado que se adecuan a un rango entre los 500 y los 1500 mm, mientras que por otro lado, en España ese rango se reduce, pasando a ser de entre 600 y 900 mm. Si analizamos la precipitación en el mes más seco, el rango de distribución a escala europea es de entre los 30-80 mm. No obstante, en la zona de estudio el *Fagus Sylvatica* se adecua a un rango que comienza alrededor de los 900 mm y llega a un máximo de 1150 mm. Y el rango relativo a la precipitación en el mes más seco para el Moncayo es de entre 145 y 180 mm. Por lo tanto, la comúnmente conocido como haya, precisará de cantidades notables de precipitación.

Hasta aquí la pluviometría. En cuanto al régimen término, las temperaturas medias anuales indican, para Europa, una distribución entre los 5 y los 14°C, y para España entre 7,3 y 10°C. Para la temperatura media del mes más cálido, a escala europea el rango de distribución está alrededor de los 18°C y por último, en relación con la temperatura del trimestre más frío, Europa, lógicamente, cuenta con el rango más amplio, entre los -5 a 6°C, mientras que en el caso de España, se rondan los 0°C. Para el Moncayo, los rangos serán los siguientes, entre 8-9°C para la temperatura media anual, (bastante similar a la escala nacional), de alrededor de 17°C para la temperatura media del mes más cálido (sólo un grado por debajo del dato nacional) y entre 1,3-2,1°C en el caso del mes más frío.

El *Pinus halepensis* “comúnmente encontrado en las zonas costeras y debido a su fuerte tolerancia, están bien adaptados a condiciones de sequía” (Mauri et al, 2016), por ello son dominadores en el Mediterráneo. Regla que se cumple también en el territorio nacional, ya que se concentran sobre todo en la comunidad valenciana y Cataluña. Mientras que en el área de estudio, se localiza en el piso mesomediterráneo, entre los 300 y los 1000 metros, siendo en algunos espacios, la primera especie forestal una vez los cultivos ceden. Sus características climáticas son las siguientes:

Para empezar, la precipitación anual. Los rangos de distribución de la misma responden al componente xerófilo de esta especie, y es que a escala europea se puede encontrar entre los 500 y 800 mm, y a escala nacional necesita aún menos acumulación, entre los 300-700 mm. En cuanto a la precipitación acumulada en el mes más seco, no hay datos a escala nacional, pero a escala europea la distribución queda encuadrada entre 10-40 mm.

A escala local, en el PNM, el *Pinus halepensis* se localiza en territorios con precipitación anual acumulada mínima de 550 mm y máxima de 750 mm. Y en base a la precipitación



acumulada del mes más seco, los datos van desde los 75 hasta los 120 mm, chocando con los datos europeos. Bien es cierto que para el Moncayo estamos trabajando con los trimestres y ello genera un posible impacto a tener en cuenta al realizar las comparaciones

Por otro lado, en relación a características sobre la temperatura, los rangos de temperatura media anual observados para el *Pinus halepensis* son, a escala europea alrededor de 10°C, y para España 12-16°C. Los datos obtenidos para la temperatura media del mes más cálido y del mes más frío, son, para la primera, en España, entre 21-26°C y para la segunda variable, a escala nacional, entre 3 y 8°C. En este caso también se ha encontrado el grado de distribución a nivel europeo, que sería de 5 a 12°C. Ahora bien, los datos relativos al Moncayo son los siguientes. Entre los 9-9,8°C, para la temperatura media, en la cual es observable el descenso del rango a escala local en relación con la escala nacional, que podría ser consecuencia de que se localizan bastantes individuos a altitudes relativamente altas, cercanas al límite del piso mesomediterráneo. Y por otro lado, el relación a la temperatura media del mes más cálido y el mes más frío, respectivamente los rangos resultantes han sido alrededor de los 17,5°C, y entre 1,5 y 2,3°C.

A continuación, otra especie del género "*pinus*", el ***Pinus uncinata***, autóctono del Pirineo y cuya comunidad se encuentran casi principalmente en Cataluña, comunidad en la que se concentra el 77% de los individuos ([especiesforestales.com](http://especiesforestales.com)) En el área de estudio, se encontrará en altitudes superiores que el *Pinus halepensis*, compartiendo territorio con otra especie del género "*pinus*", como el *Pinus uncinata*. Concretamente, desde 1400 metros hasta 2300, así pues, se localiza predominantemente en el piso supramediterráneo, pero se pueden encontrar individuos en el piso oromediterráneo. Destacar que no hay datos de rangos de distribución a escala europea.

En relación con el régimen pluviométrico, únicamente se compara la precipitación anual acumulada. El rango a escala nacional indica que el comúnmente llamado pino negro, en ningún caso soportará acumulaciones inferiores a los 800 mm, y esto se cumple en el macizo del Moncayo, cuyo rango va desde los 1250 a 1450 mm.

Por otro lado, el rango de distribución que presenta esta especie forestal en base a la temperatura media anual es muy justo, ya que a escala nacional no se altera en exceso de los 4°C. Además, se localizarán en sectores cuya temperatura media del mes más cálido sea menor a 15°C. Y de hecho, también presentarán temperaturas muy bajas los rangos de distribución derivados de la temperatura media del mes más frío, menor a 0°C para el conjunto español. Así pues, la situación térmica a la que se adecuarán en el Moncayo es la siguientes, temperaturas medias entre 6-7°C, siendo relativamente bajas si las comparamos con otras especies forestales, de unos 15°C de media en el mes más cálido y entre 1,2-2°C para la temperatura media del mes más frío.

La última especie del género "*pinus*" en el área de estudio es el ***Pinus sylvestris***. Es la especie del género "*Pinus*" más extendida por toda Europa, de hecho, se pueden encontrar individuos desde España hasta el sector ruso más occidental. Si bien es cierto que el extremo sur de Europa, como por ejemplo Italia o Grecia, cuenta con una presencia marginal o nula de esta especie forestal. En cuanto a su localización en el territorio español, sus mayores acumulaciones están en Aragón, Castilla y León, y Cataluña. En el PNM se encuentra

principalmente en el piso supramediterráneo, ya que mayoritariamente se concentra entre los 1600-1700 metros de altitud. Bien es cierto que se puede encontrar tanto a 800 metros como a 2000 metros de altitud ([especiesforestales.com](http://especiesforestales.com)).

En cuanto a sus características pluviométricas, el rango de distribución del *Pinus sylvestris* en relación a la acumulación anual de precipitación a escala nacional, va desde los 600 hasta los 1200 mm. Rango que está dentro del europeo, que como ya se sabe, es el más amplio siempre por el mayor número de individuos tratados, por lo que el rango de distribución comienza en 500 mm, con un máximo en 2000 mm. Además, para la acumulación en el mes más seco, el rango sería de 30 a 80 mm. En el Moncayo, para la acumulación anual de precipitación el rango comienza en 750 mm y tiene el máximo en 1250 mm, mientras que en el caso de la precipitación en el mes más seco, se alcanzan acumulaciones de entre 130 y 200 mm, relativamente altas.

En el ámbito térmico, el rango de distribución para la temperatura media anual a escala europea para esta especie comienza en -3°C hasta los 12°C, más concentrado es el rango nacional entre 6 y 12°C. Mientras que para la temperatura media del mes más cálido nos encontramos con temperaturas templadas, cercanas a los 20°C. De hecho, los datos a escala nacional nos muestran un rango entre 15-20°C. Además, en relación con la temperatura media del mes más frío, a escala española, el *Pinus sylvestris* se distribuye entre -1 y 3°C, mientras que a escala continental, el rango es extremadamente amplio, y no nos aporta gran información, así pues, comienza en -15°C y tiene como máximo térmico 5°C.

En el Moncayo, el rango de temperatura media será más concentrado, entre 8°C y 9,2°C, adecuándose bastante a los rangos nacionales y continentales pese a ser un dato mensual y no trimestral. Para las temperaturas media en el mes más cálido nos moveremos alrededor de 16-17 °C, bastante por encima que en Europa, y en el mes más frío entre 1,8°C y 3°C, muy similar al dato del conjunto español.

Las dos siguientes y últimas especies forestales pertenecen al género "*Quercus*", el *Quercus pyrenaica* comúnmente denominada "rebollo" y el *Quercus petraea* (roble albar).

El *Quercus pyrenaica*, para la cual no se han podido extraer datos europeos, se localiza mayormente en el oeste de Galicia, sur de la cordillera cantábrica, y sistema central. Aunque hay comunidades marginales en la bética y sur de Aragón. Por parte del Moncayo, se distribuye entre los 400-1600 metros de altitud, por lo tanto, se puede establecer tanto en el piso mesomediterráneo y supramediterráneo. No necesitará un gran aporte de precipitación. De hecho, a escala nacional, su rango de distribución realmente se concentra en 600 mm, y para el Moncayo, entre 560-610 mm.

En cuanto a las temperaturas, no precisa especialmente ni de altas ni de bajas temperaturas, es más bien mesoterma, y así lo demuestra el rango de distribución en relación con la temperatura media anual, que para España va entre 11 y 16°C. Si bien es cierto que las temperaturas ascienden notablemente cuando se trata la temperatura media del mes más cálido, en la cual, el rango se establece entre 12 y 22°C. Por último, para la temperatura media del mes más frío, se observa un rango muy amplio de -5 a 7°C

Si nos centramos en los valores relativos al PNM, el umbral para la temperatura media queda entre 9,5 y 10°C, por debajo del valor mínimo nacional. Alrededor de los 17°C se establecerá el rango para la temperatura media del mes más cálido, y de 2 a 2,7°C para el más frío, reduciéndose ostensiblemente en relación con el rango presente para toda España. La última especie a analizar es el *Quercus petraea*. En relación a su presencia en Europa, domina el sector oriental, pero se debilita en los países escandinavos. De todas formas ocupan una gran extensión debido a que pueden soportar altitudes altas, de hecho se han datado individuos al sur de Turquía a 2000 metros (Eaton et al. 2016). Y en cuanto a su presencia en el ámbito nacional, si se compara con otras especies forestales anteriores, es relativamente escasa, y se concentra en la cordillera cantábrica y el pirineo catalán. Así pues, los individuos presentes en el área de estudio, están todos a una altitud inferior a 1000 metros, en el piso mesomediterráneo.

Presenta una precipitación anual, a escala europea, entre 500 y 1000 mm, a escala nacional alrededor de 600 mm. Para la precipitación en el mes más seco, en Europa no se superarán acumulaciones de 80 mm (entre 30 y 80 mm). Y en el área de estudio, la acumulación anual sería de entre 570 y 650 mm, por lo tanto es observable como esta especie del género "*Quercus*" no precisa de notables cantidades de precipitación, de hecho, en relación con la precipitación en el mes más seco. Si bien es cierto que las acumulaciones en el mes más seco aumentan en el área de estudio, cuyo rango de distribución es de 90-120 mm.

Las características térmicas son las siguientes. En cuanto a la temperatura media anual, el *Quercus petraea* no se localiza en espacios o sectores en los que la temperatura sea alta, de hecho a ninguna escala de las tres estudiadas supera los 15°C, aunque esta especie puede ser algo más termófila que otras compañeras de género como el *Quercus Robur*. Los rangos para esta primera variable térmica a escala continental y nacional respectivamente, son los siguientes, entre los 5 y 12°C, y entre 5 y 15°C. En cuanto a la temperatura media del mes más cálido, el rango de distribución a escala nacional va desde 15 a 25°C, y por último, en cuanto a la temperatura media del mes más frío, los rangos de distribución son los siguientes. A escala europea, de -5 a 7°C, y a escala nacional de -3 a 7°C, muy parecidos los rangos entre sí.

Las características del comúnmente llamado roble albar en el Moncayo son, alrededor de los 10°C (9,5 a 10°C) de temperatura media anual. Valores bastante más elevadas se observan en el mes más cálido, llegando a valores de 17°C. Y por último, en relación con la media de temperatura del mes más gélido, el *Quercus petraea* no se distribuye en espacios con temperaturas bajo cero, como si ocurre a escala nacional y continental. Estos valores se moverán entre 2,1 y 2,7°C. A continuación se muestran las figuras resultantes de la interrelación entre la distribución de la vegetación y las variables bioclimáticas para definir los rangos de distribución. Cada gráfico constituye una variable, de manera que se puedan comparar entre sí, de forma individualizada las especies.

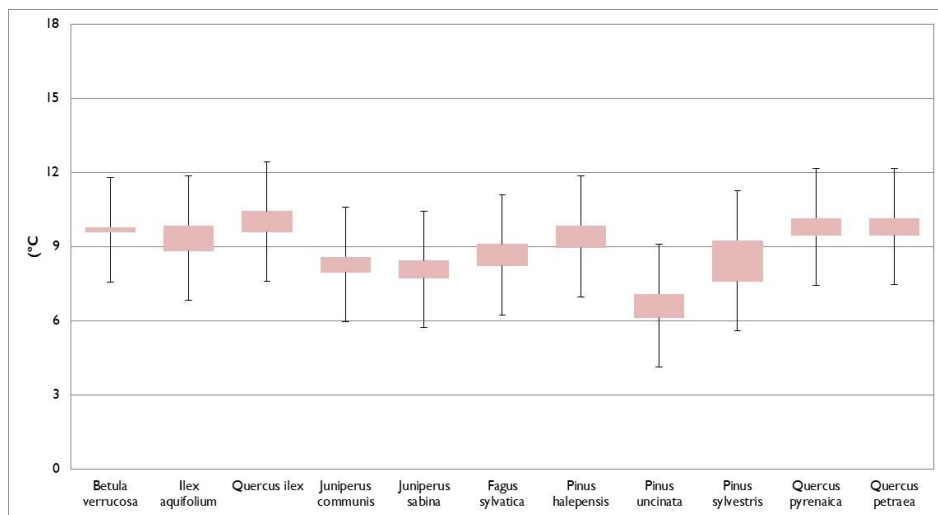


Figura 6; rango de distribución actual de la vegetación para BIO1

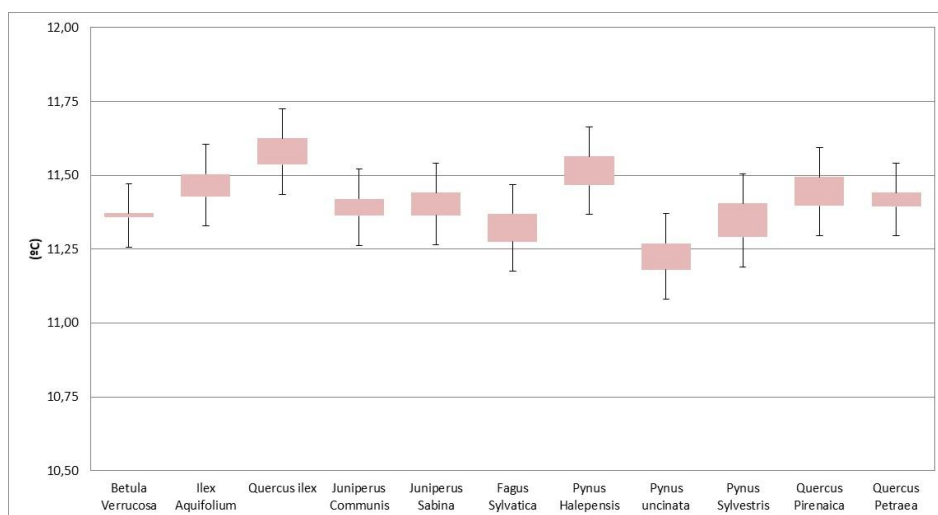


Figura 7; rango de distribución actual de la vegetación para BIO2

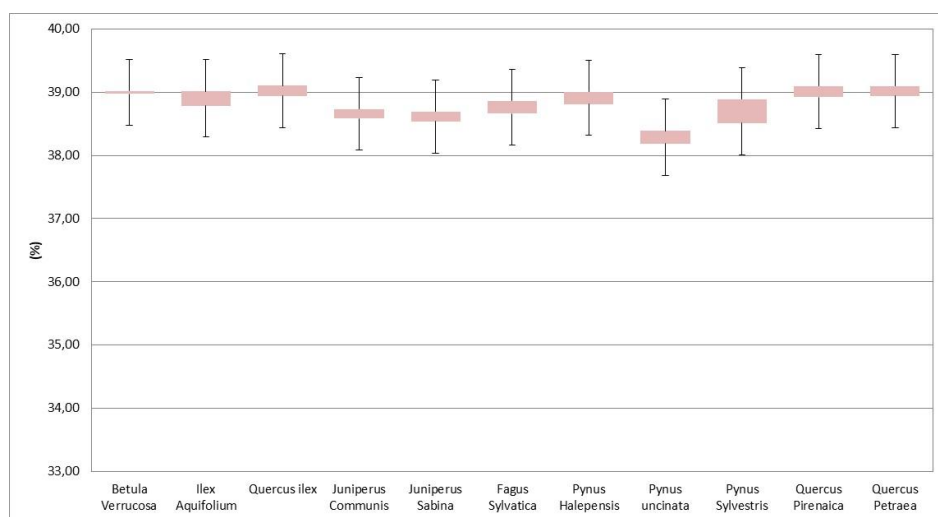


Figura 8; rango de distribución actual de la vegetación para BIO3

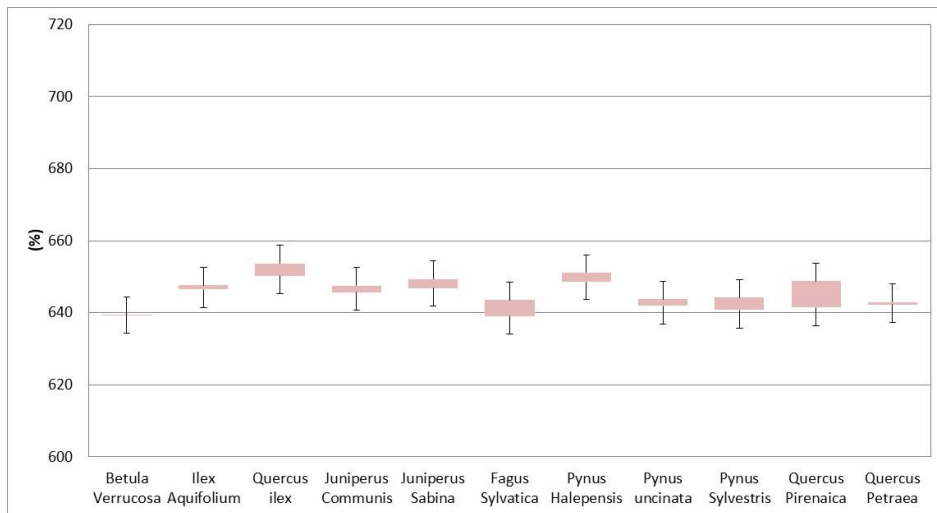


Figura 9; rango de distribución actual de la vegetación para BIO4

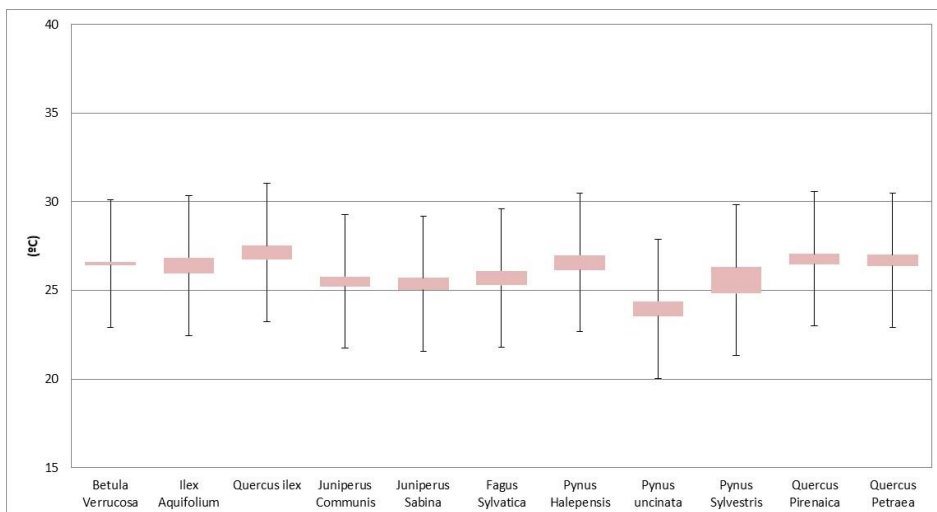


Figura 10; rango de distribución actual de la vegetación para BIO5

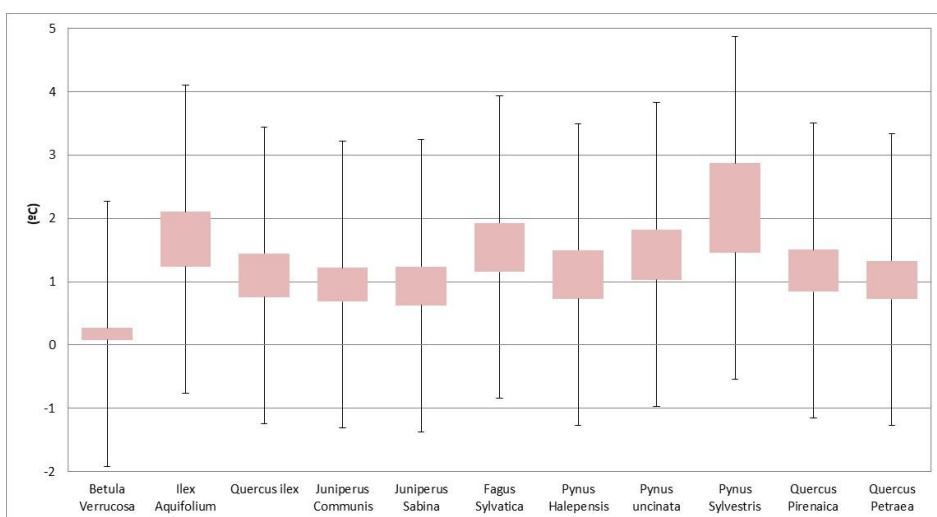


Figura 11; rango de distribución actual de la vegetación para BIO6

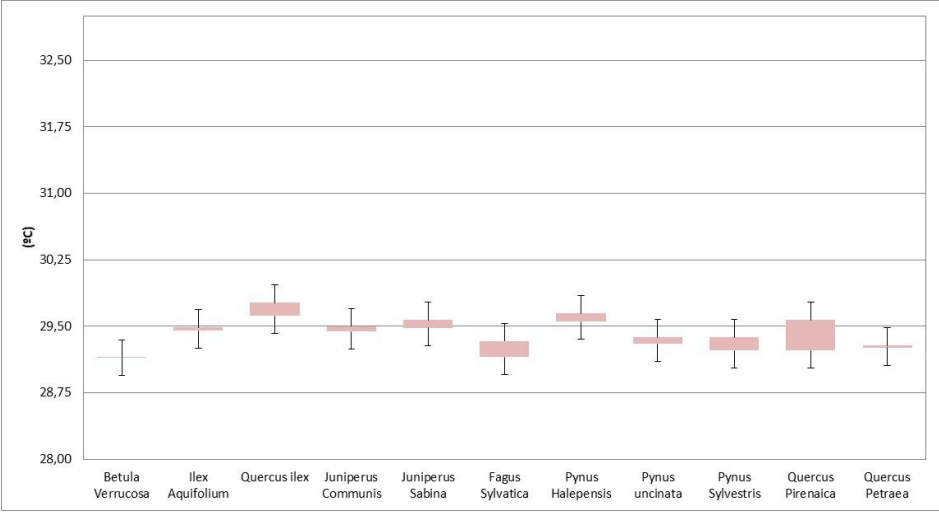


Figura 12 rango de distribución actual de la vegetación para BIO7

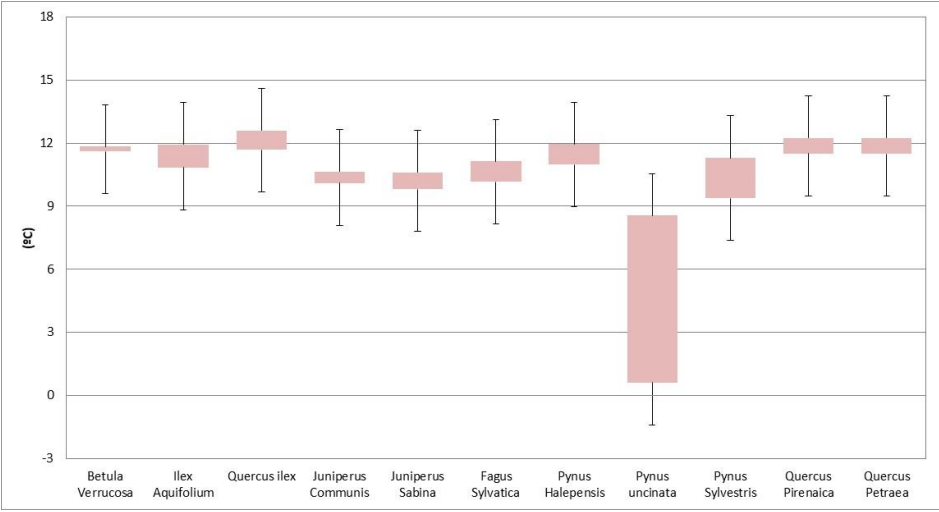


Figura 13; rango de distribución actual de la vegetación para BIO8

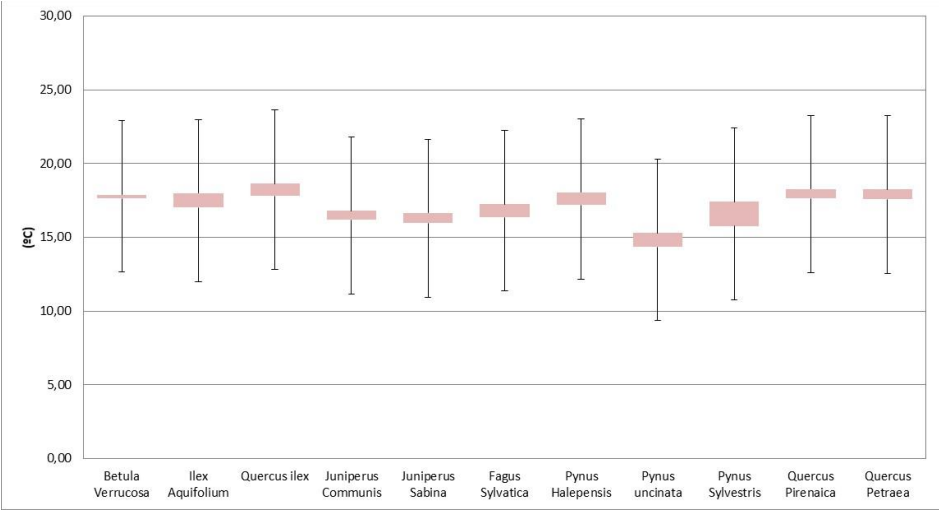


Figura 14; rango de distribución actual de la vegetación para BIO9

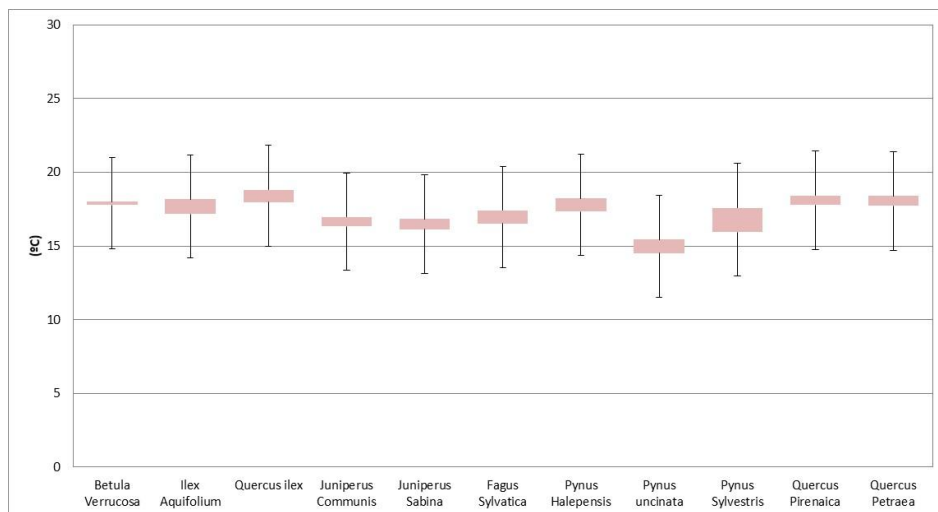


Figura 15; rango de distribución actual de la vegetación para BIO10

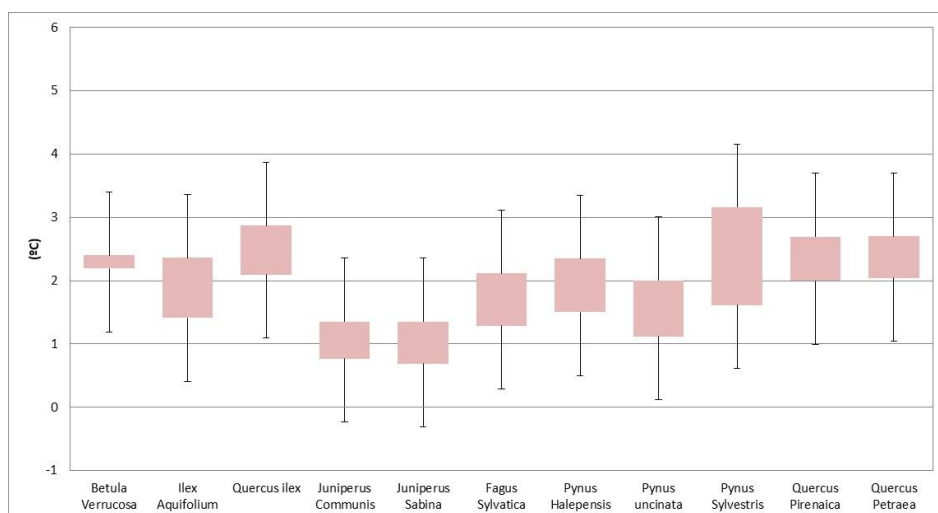


Figura 16; rango de distribución actual de la vegetación para BIO11

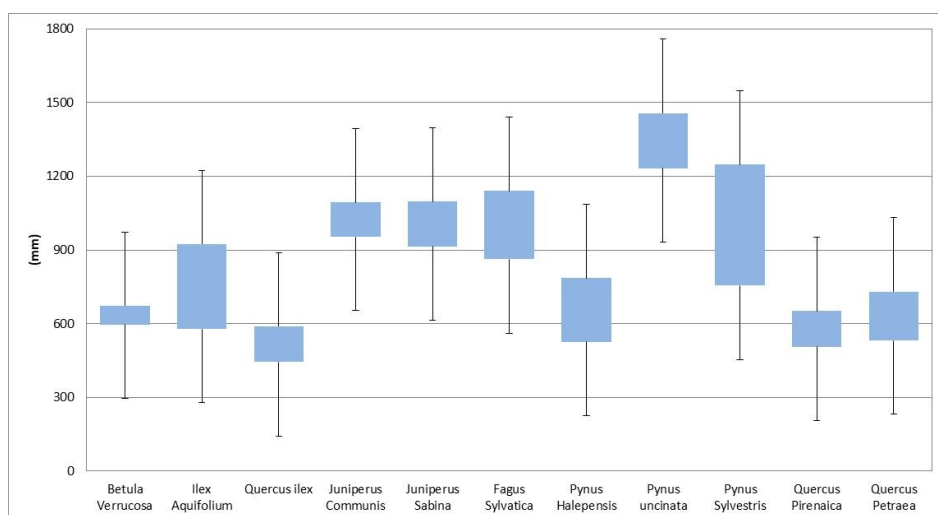


Figura 17; rango de distribución actual de la vegetación para BIO12

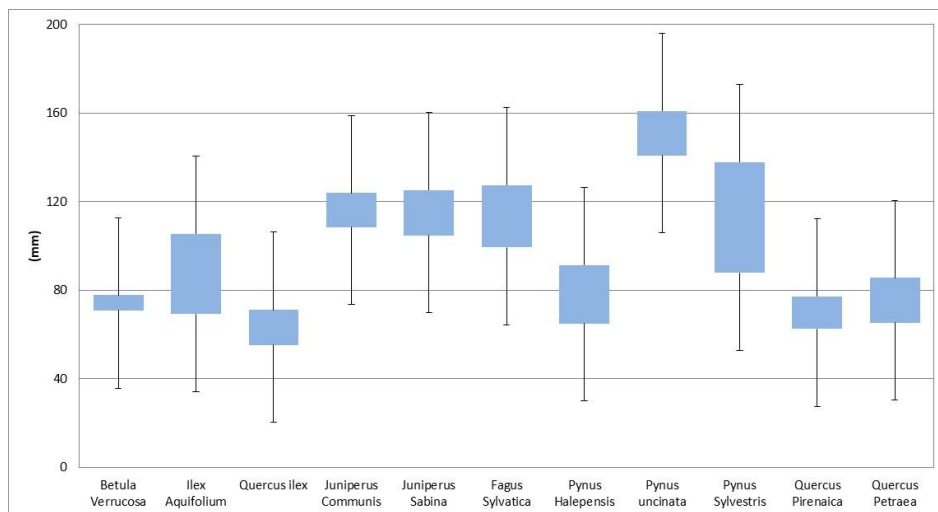


Figura 18; rango de distribución actual de la vegetación para BIO13

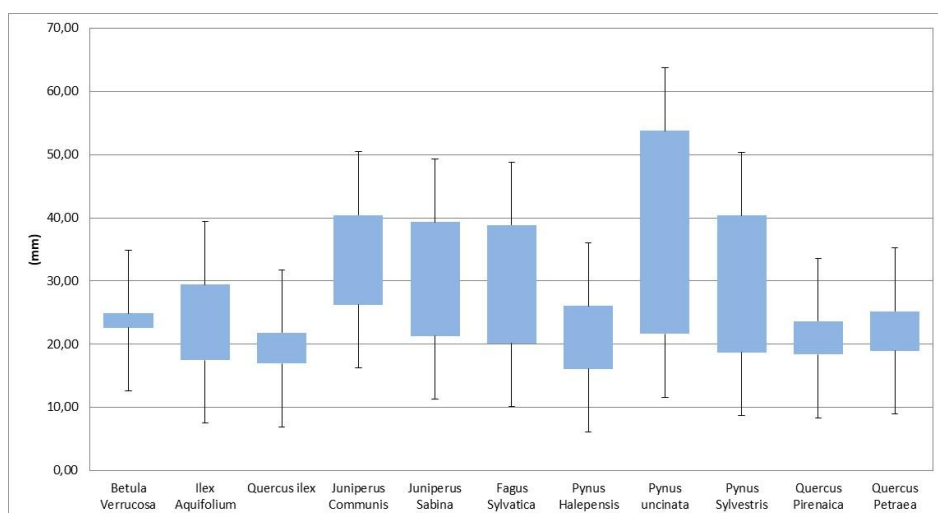


Figura 19; rango de distribución actual de la vegetación para BIO14

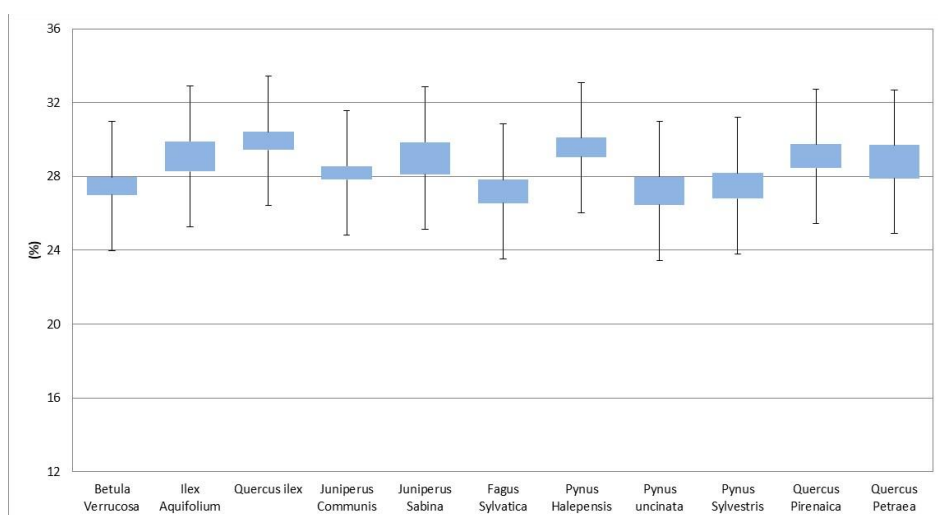


Figura 20; rango de distribución actual de la vegetación para BIO15



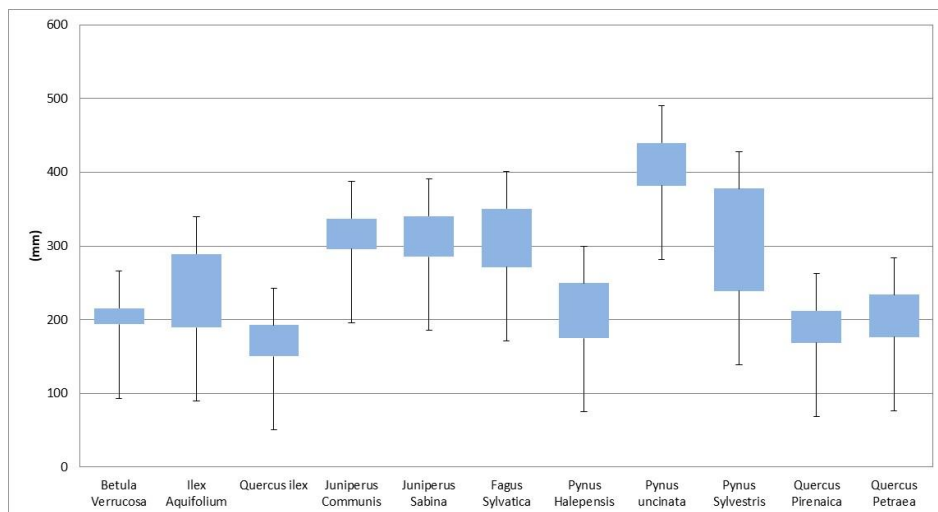


Figura 21; rango de distribución actual de la vegetación para BIO16

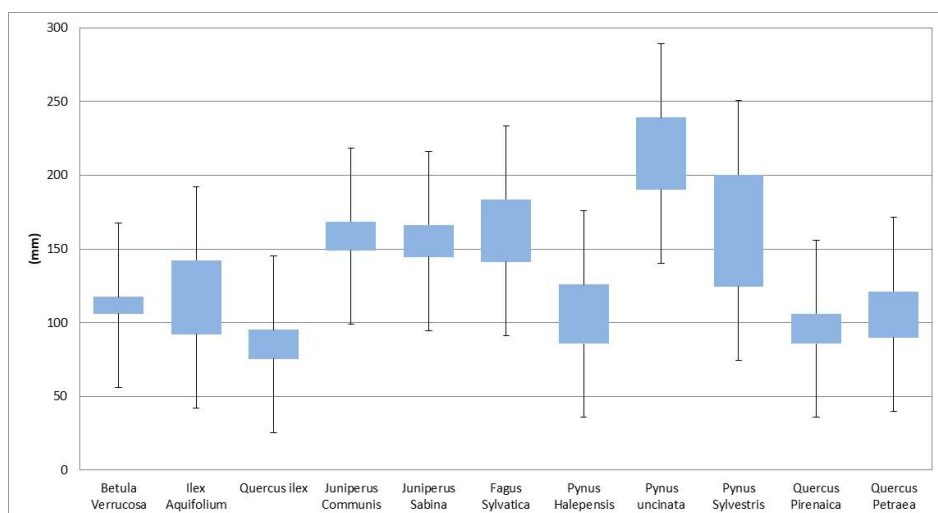


Figura 22; rango de distribución actual de la vegetación para BIO17

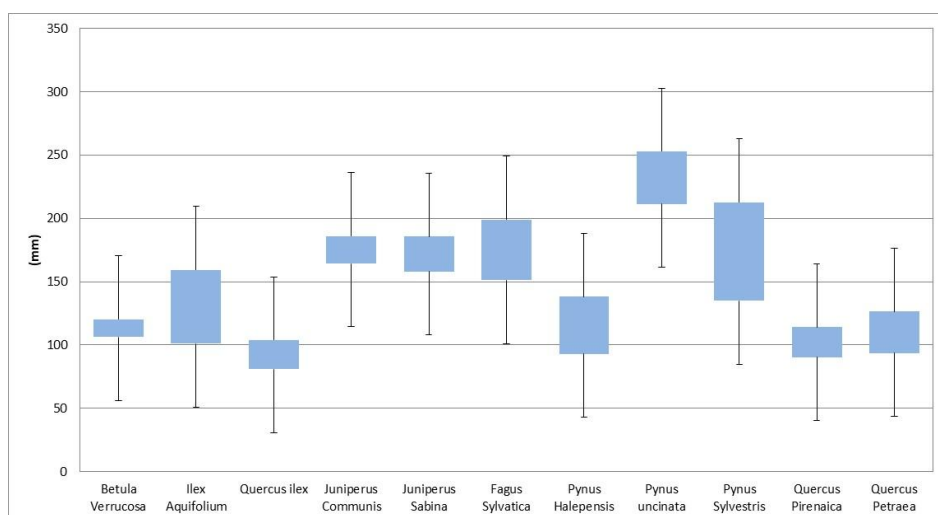
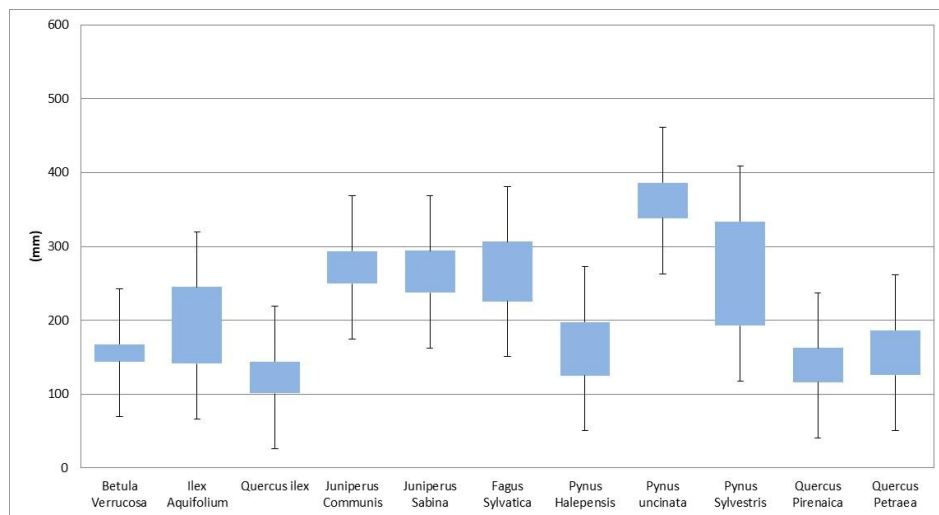


Figura 23; rango de distribución actual de la vegetación para BIO18



*Figura 24; rango de distribución actual de la vegetación para BIO19*

**b. Escenarios climáticos; variables bioclimáticas en el macizo del Moncayo. Situación actual y proyectada al 2050 (promedio 2041-2060).**

BIO1; Temperatura media anual

Se desmarca como un elemento capital de los trabajos climáticos, sobre todo en los que se trabajan reconstrucciones de datos climáticos, puesto que funciona como un indicador fundamental para estudiar los cambios y la evolución del clima. La temperatura media anual se obtiene a partir de datos de temperatura media diaria, los cuales, en este caso, son trabajados por la base de datos *Worldclim*.

Centrándonos en los resultados para el área de estudio, observamos que para el clima actual (*arriba izq.*), las temperaturas mínimas, que no superan los 5,5°C se localizan al noroeste del macizo, debido a que es la zona de mayor altitud, mientras que a medida que perdemos altura en lo que comúnmente se llama “las faldas del Moncayo”, la temperatura asciende conformando un gradiente O-E. Esta tendencia no cambia para ninguno de los tres escenarios.

Si bien es cierto que en el clima presente las temperaturas medias en ningún caso superan los 11,5°C, lo cual si ocurre en 2050, tanto con rcp26 y con rcp85. No obstante para esta última, la temperatura llega a sobrepasar los 12,5°C, y las temperaturas mínimas no bajarán de los 5,5°C.

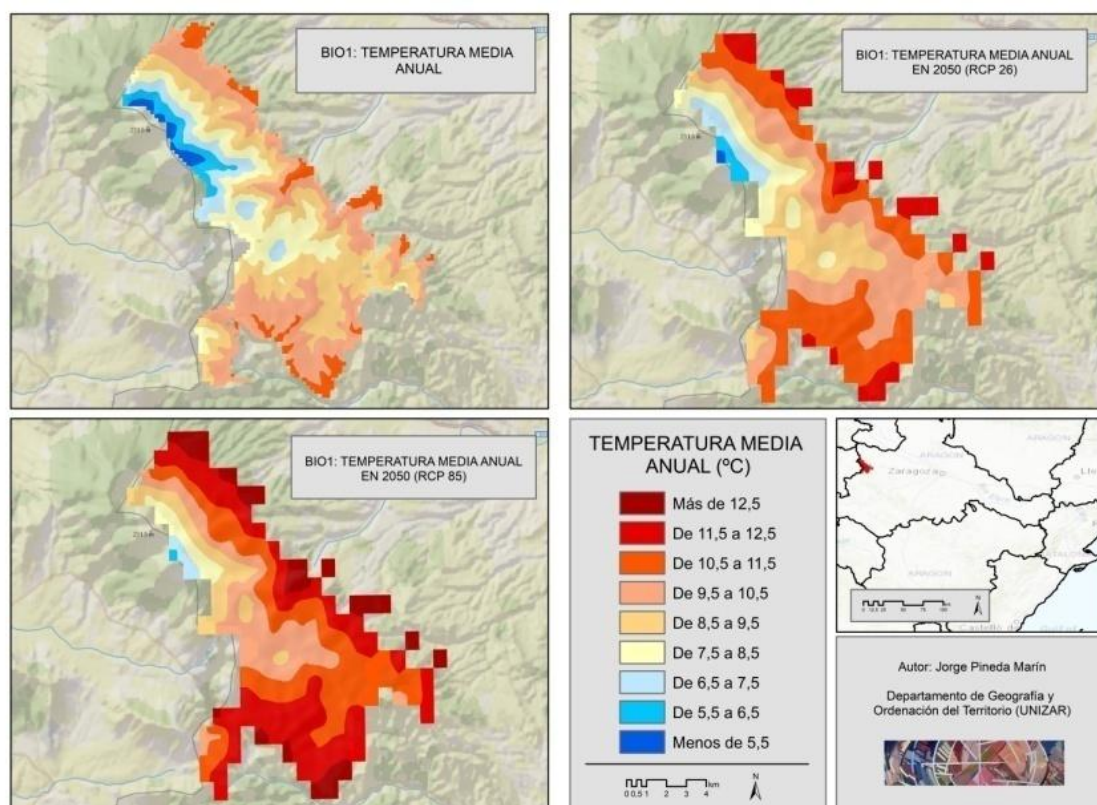


Figura 25; BIO1: Temperatura media anual (°C)

Por lo tanto el ascenso de la temperatura media anual en el Moncayo es bastante notable, solo hace falta comparar el escenario actual con rcp85. En el primero, sólo en zonas marginales se superan los 10,5°C, mientras que para el escenario futuro más pesimista, en más del 50% del territorio se ve superada esa cifra. Eso supone un aumento de la temperatura media anual de unos 2°C, por encima de las anomalías en las temperaturas experimentadas en el intervalo (1980-2010), en las cuales, las anomalías rondaban el grado. (OMM, 2017)

#### BIO2: Rango de temperaturas diurnas

Esta variable se define como la diferencia entre la temperatura máxima diaria y la mínima diaria. Estudios como (Russell et al. 2004) han mostrado que los cambios en este rango de temperaturas pueden deberse a distintos elementos, entre los que se encuentra el aumento de concentración de los gases de efecto invernaderos.

Como se ve en la cartografía siguiente, el rango de diurnas ha disminuido notablemente. Actualmente, incluso en las zonas con menor energía de relieve, el rango se encuentra por encima de los 11,65°C, pero es interesante observar como el territorio está mayoritariamente dominado por rangos de temperatura superiores a los 11,35°C, y que se vuelve a producir el gradiente O-E.

Es curioso que el rango haya disminuido, ya que se podría pensar que debería aumentar la amplitud térmica entre la máxima y mínima diaria a medida que nos acercáramos a 2050, fecha en la que con rcp26 los rangos superiores a los 11,50°C prácticamente han desaparecido, y por el contrario aparecen rangos menores a los 10,75°C, aunque sea de forma aislada. Situación que será muy parecida con rcp85. Bien, pues según el estudio citado anteriormente, y otros como el de (Makowski et al., 2008), indican que el descenso de los rangos de las temperaturas diurnas puede ser realmente un síntoma de cambio climático y que además de relacionarse con el aumento en la concentración de gases de efecto invernaderos, también se ve influenciado por los aerosoles de manera notable.

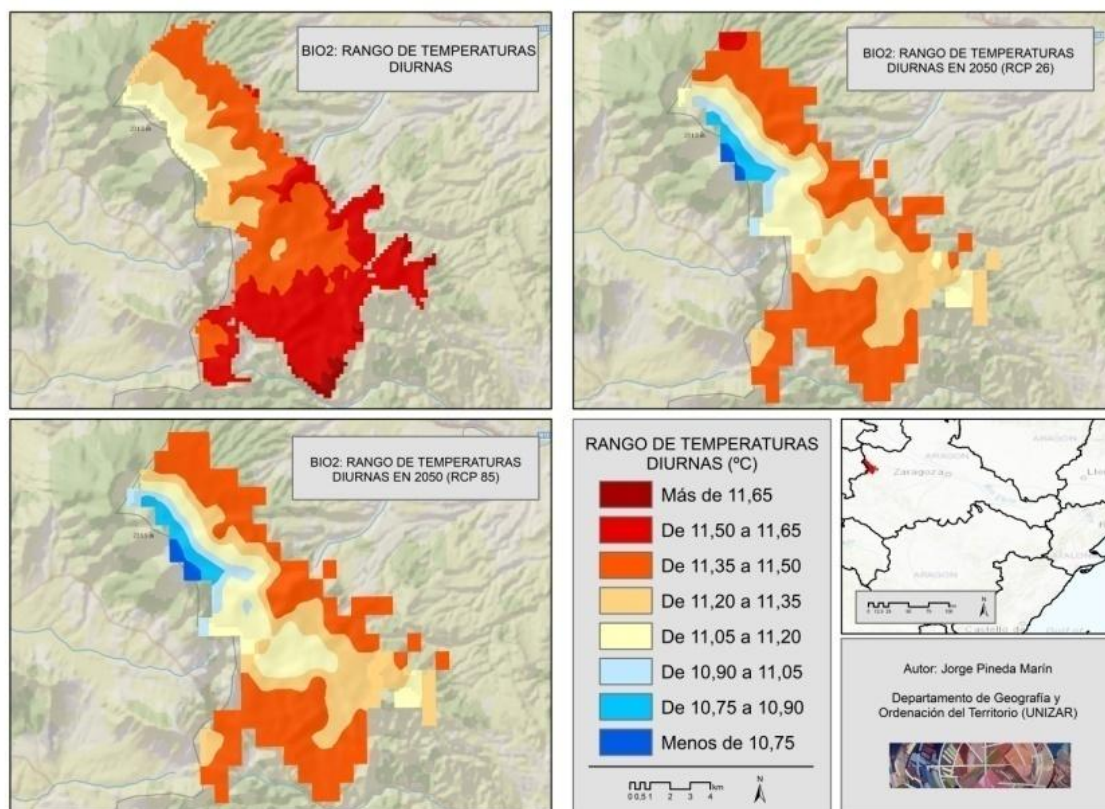


Figura 26; BIO2: Rango de temperaturas diurnas (°C)

### BIO3: Isotermalidad (BIO2/BIO7)\*100

Previo comentario de los resultados, indicar que el estado del producto cartográfico se debe a los escasos datos con los que permitía trabajar *Worldclim* a una escala tan de detalle debido al tamaño de los píxeles, si bien es cierto que este problema existía en todas las variables, para la isotermalidad se ha acrecentado, y los intervalos de datos no han permitido ser configurados libremente.

Cabe destacar que esta variable bioclimática se utiliza para cuantificar la diferencia entre la oscilación de la temperatura en verano y en invierno entre el día y la noche. Es un elemento de estudio en auge en la climatología actual pero también en otras ramas científicas como la física ya que, *“isotermalidad es extremadamente importantes porque relativas pequeñas diferencias en la temperatura pueden afectar a velocidades de reacción”* (Eric G. Derouane et al., 1999)

Para el macizo del Moncayo, las variaciones en la isotermalidad han sido notables, a la par que progresivas a medida que pasamos de un escenario a otro. En la actualidad, los datos

muestran que la isothermalidad no baja de los 37°C y supera de manera holgada los 39°C en la gran mayoría del espacio. Para 2050 con rcp26 es extraño cuando se superan los 37°C, y pasamos a un claro dominio de isothermalidad entre los 36 y los 37°C. Dominio que disminuirá cuando la concentración de gases con efecto invernadero ascienda a rcp85. De hecho es este escenario más pesimista datamos los primeros datos por debajo de los 35°C.

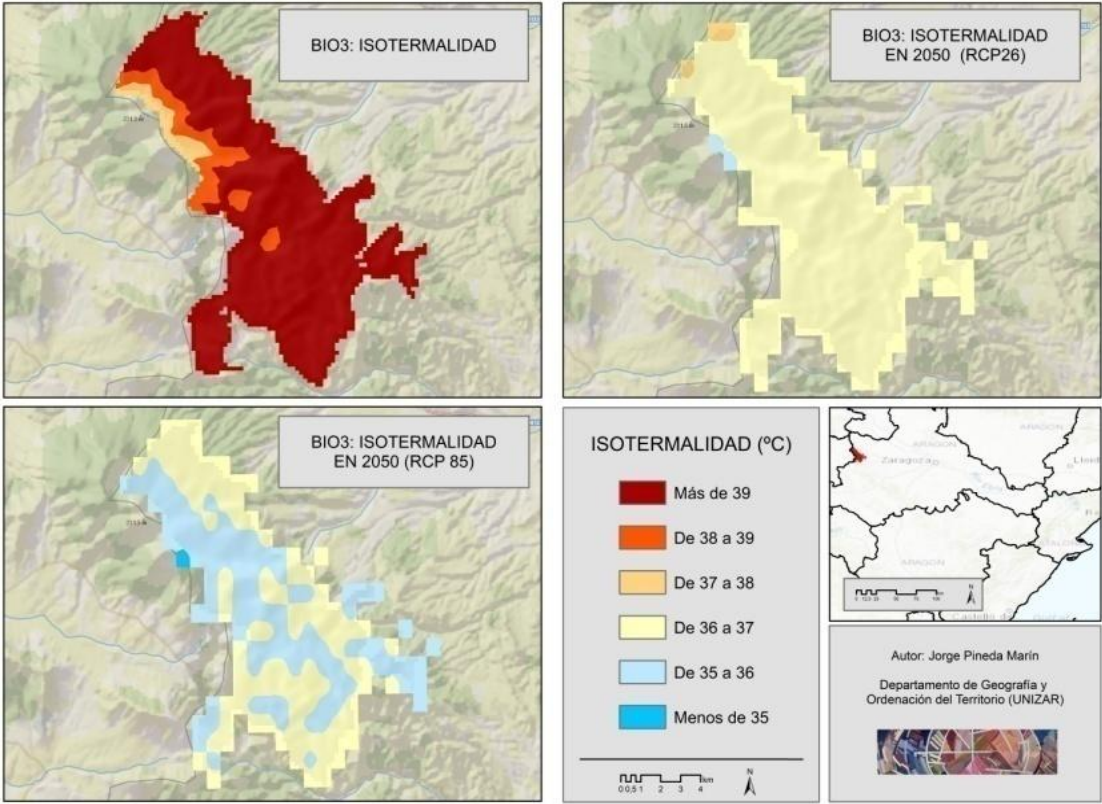


Figura 27; BIO3: Isothermalidad (°C)



#### BIO4: Estacionalidad en la temperatura (desviación estándar \* 100)

La estacionalidad en la temperatura “es una forma de medir el cambio de las temperaturas a lo largo de un año en la cual, a mayor porcentaje, mayor es la variabilidad de las temperaturas.” (U.S.GeologicalSurvey, 2012).

Si nos centramos en el análisis del producto cartográfico, la estacionalidad de la temperatura ascenderá desde la actualidad, hasta el escenario futuro más pesimista (rcp85) casi un 4% en ciertos sectores, sobre todo concentrados en el norte del macizo.

Y es que la actual estacionalidad está alrededor del 64-65%, pero ascendería en el peor de los casos a valores por encima del 68%. Esto implica a su vez, una gran diferencia respecto al escenario futuro restante (rcp26), en el cual, la variabilidad de las temperaturas aumenta con respecto a la actualidad pero en ningún caso los valores superan el 67% y con dificultades el 66%.

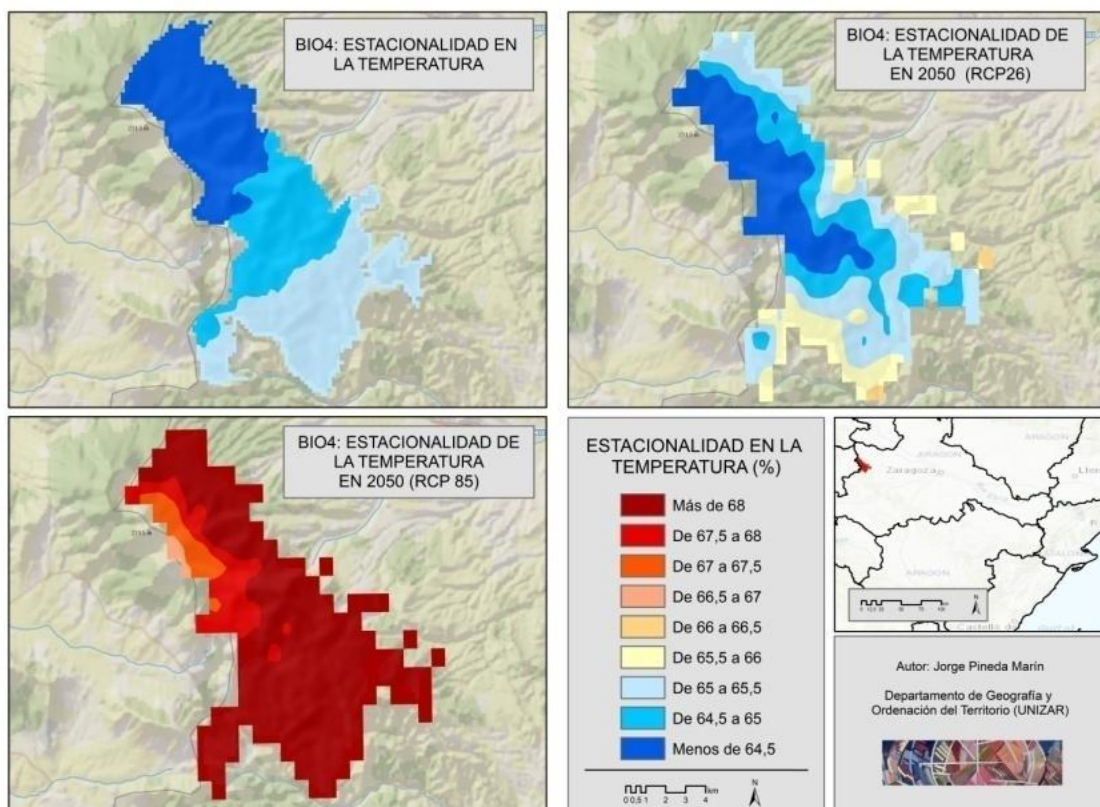


Figura 28; BIO4: Estacionalidad de las temperaturas (%)

#### BIO5: Temperatura máxima del mes más cálido

Esta variable bioclimática es muy útil a la hora de estudiar la distribución de las especies que se ven afectadas por las altas temperaturas. Ejemplo de ello es su utilización en estudio sobre la evolución de la distribución de vegetales cuyos frutos forman parte de la alimentación básico y forman parte importante del mercado de muchos países. (GotzSchroth et al., 2016)

En relación con la situación del Moncayo, observamos que el aumento de la temperatura ha sido brutal.

En el clima presente, se registran temperaturas que están por debajo incluso de los 23°C, y a su vez, temperaturas que a duras penas llegan a superar los 28°C de manera prácticamente residual, de hecho, el rango de temperaturas “dominante” es de 26 a 27°C. El gradiente O-E nombrado en BIO1 vuelve a estar presente debido al componente orográfico.

Totalmente distinto es el marco para 2050, si bien es cierto que entre rcp26 y rcp85 las diferencias son muy notables. Para el escenario futuro “optimista”, las temperaturas aumentarán en algunas zonas residuales del Norte, Este y Sur hasta superar los 29°C, y temperaturas del centro del macizo aumentarán instalándose entre los 26 y 28°C. Pese a este calentamiento evidente en los sectores de mayor altitud los valores siguen sin superar los 23°C.

No obstante, con rcp85 el contexto es muy distinto. A excepción del sector noroeste, el macizo soportará temperaturas de más de 27°C, llegando a superar los 30°C en su sector oriental y en el sur del mismo. Y las temperaturas no descienden de los 24°C, es decir, desaparece el territorio en el que la temperatura máxima no superaba los 23°C.



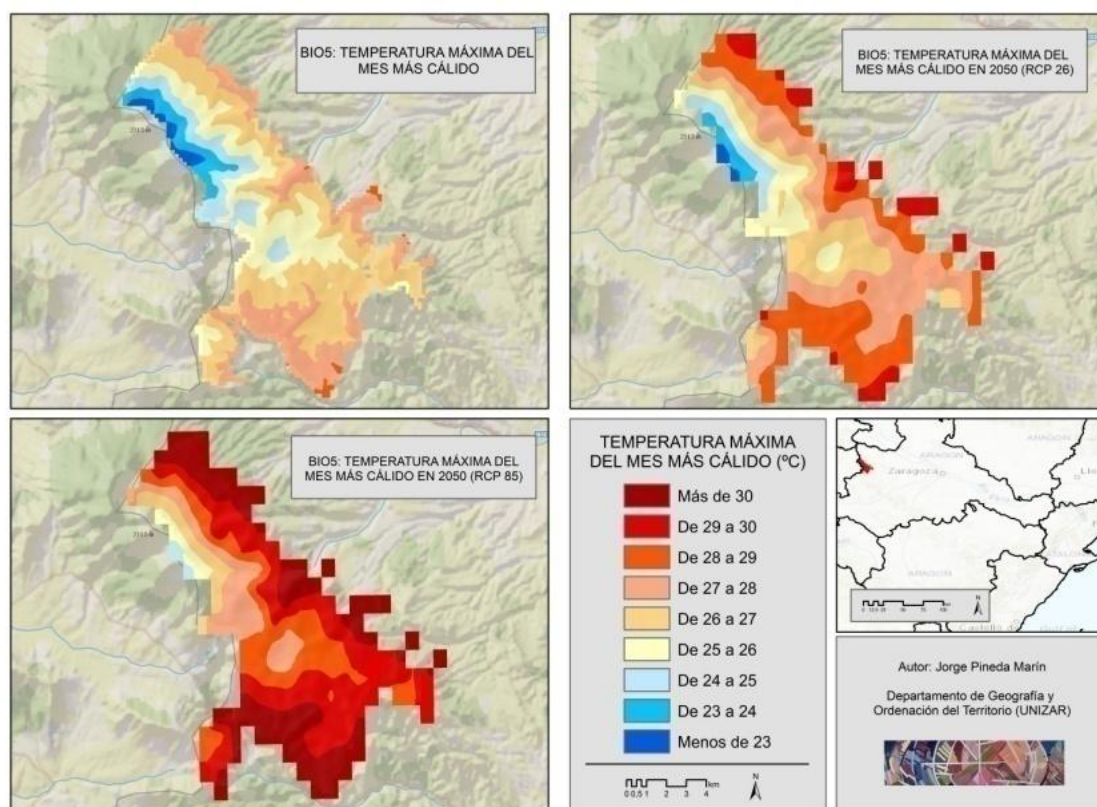


Figura 29; BIO5: Temperatura máxima del mes más cálido (°C)

#### BIO6: Temperatura mínima del mes más frío

En contraposición con la temperatura máxima del mes más cálido (*BIO5*), esta variable es utilizada para estudiar la distribución de las especies que se ven afectadas por temperaturas bajas.

En relación con la cartografía, para el clima actual, la temperatura mínima del mes más frío llega a ser menor de  $-5,75^{\circ}\text{C}$ , lo cual se repite, aunque en menor proporción para los dos escenarios futuros.

No obstante, la diferencia principal entre la situación actual y en la futura se localiza en las temperaturas de las zonas orientales cuyo relieve no es tan enérgico como lo es en el sector occidental. En el sector oriental las temperaturas mínimas actuales rara vez están por encima de los  $-2^{\circ}\text{C}$ , únicamente de manera residual; no obstante para 2050 es muy común que los datos estén por encima de ese valor.

Señalar además que con rcp85, las temperaturas están muy próximas a los  $0^{\circ}\text{C}$ , mostrando un calentamiento, en relación con el clima actual de más de un grado.

Por último, destacar que las temperaturas tanto para *BIO5* como para *BIO6* siguen una distribución similar, ya que donde se dan las mayores temperaturas en la anterior variable, es justo donde *BIO6* presente las menos mínimas.

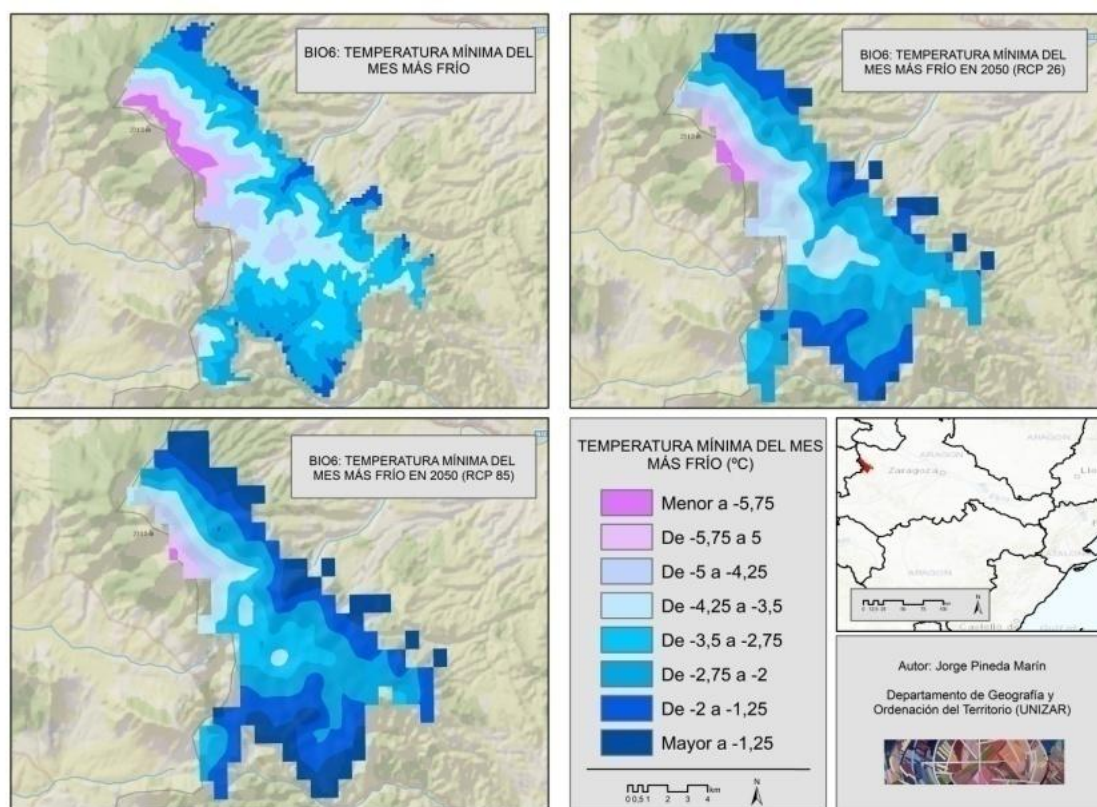


Figura 30; BIO6: Temperatura mínima del mes más frío

#### BIO7: Rango anual de la temperatura (BIO5-BIO6)

La presente variable se define para estudiar la distribución de especies vegetales en base a su resistencia frente a amplitudes de temperatura extremas, y es obtenida a partir de la diferencia de temperatura entre la temperatura máxima y la temperatura mínima del mes más cálido y más frío, respectivamente.

Lo que se observa en el Moncayo es que este rango sufre un ascenso más o menos regular y progresivo de su amplitud a medida que avanzamos de un escenario climático a otro.

Para la situación climática actual, los rangos presentes se adecuan con los tres intervalos mínimos. Esto se debe principalmente a que las temperaturas máximas del mes más cálido no son extremadamente altas y por lo tanto contrarrestan los valores de temperaturas mínimas del mes más frío. Si bien es cierto que pese a ello, el rango anual en el Sur del macizo ronda los 30°C.

Si avanzamos al escenario futuro con una menor concentración de gases con efecto invernadero (rcp26), nos encontramos con rangos intermedios, que se localizan según el gradiente O-E que ya ha aparecido en variables anteriores, observándose el rango superior en las zonas de menor altitud, y los rangos menores en el sector oriental. Esto se debe a que en las zonas cuya orografía es menos intensa, la temperatura máxima del mes más cálido era mucho más alta que en la situación actual.

Y para el caso de rcp85, los rangos anuales de temperaturas son los más altos, no bajando de los 30°C, y superando los 31,6°C en buena parte del área. Por lo tanto, de nuevo en este escenario, la variable *BIO5* ha tenido un peso notable para definir el resultado final.

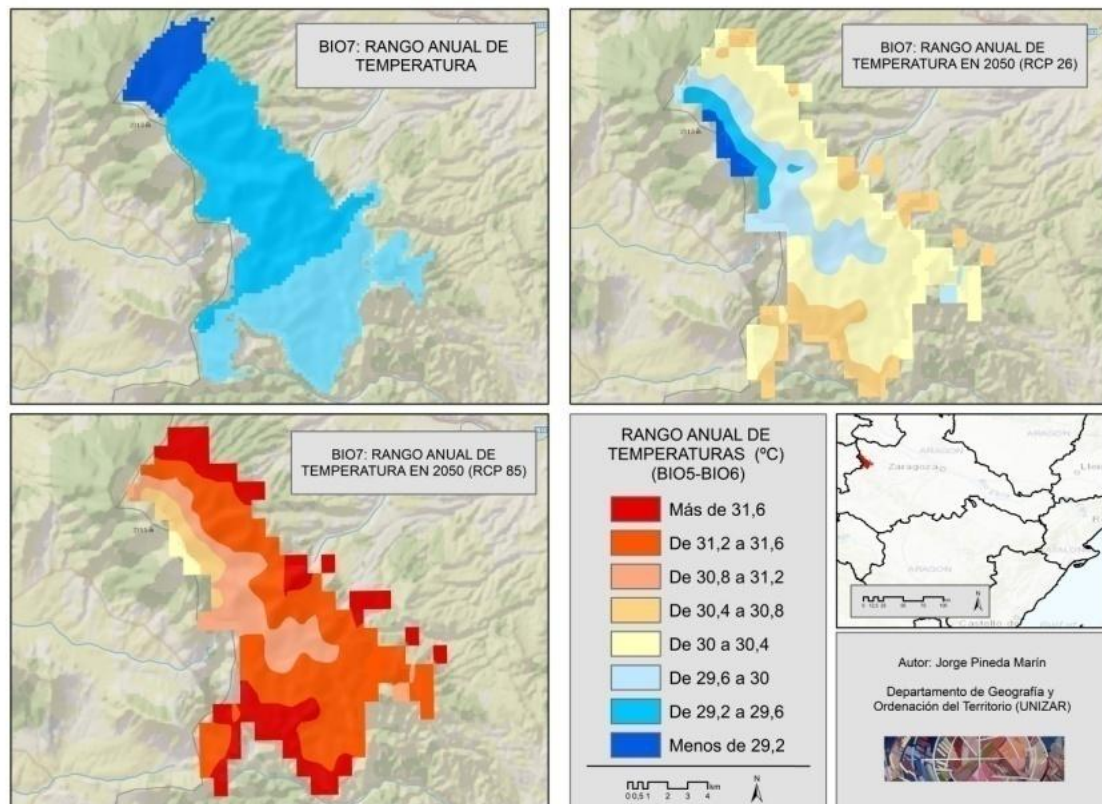


Figura 31; BIO7: Rango anual de temperaturas (°C)

Previo comentario de las siguientes variables bioclimáticas (BIO8, BIO9, BIO10 y BIO11), destacar que las cuatro tienen una finalidad común, que es proveer el dato de temperatura media durante el trimestre más lluvioso, seco, cálido o frío, de manera que se pueda examinar como estas características climáticas pueden afectar a la distribución estacional de las especies. (U.S. Geological Survey, 2012)



### BIO8: Temperatura media del trimestre más lluvioso

En cuanto al clima actual, la media de la temperatura se distribuye entre valores inferiores a 7°C concentrados en el sector oriental, y valores que pueden llegar a los 13 de manera residual en el sector occidental debido al descenso de la altitud.

El escenario futuro rcp29 experimenta un aumento de las temperaturas máximas que llegan a superar de manera esporádica los 14°C. Si bien es cierto que pese a ello la distribución de las temperaturas es bastante similar en relación con la temperatura actual, salvo porque no se darán temperaturas por debajo de los 7°C de manera tan frecuente.

Y en relación con el escenario más pesimista, lo que ofrece es una amplitud térmica sobresaliente. El gradiente de temperaturas O-E ha desaparecido, y pasamos de valores que no superan los 7°C para encontrarnos casi de manera directa con valores superiores a los 14°C, como ocurre sobre todo en el norte del área de estudio.

Por último cabe destacar que BIO8 se puede relacionar con BIO16 (Precipitación del trimestre más lluvioso), y es que los datos de temperaturas superiores para los tres escenarios se corresponden con la localización en que a su vez, de nuevo para los tres escenarios, encontramos los datos inferiores de precipitación para este trimestre. Por lo que podría haber relación directa en este caso entre la temperatura y la precipitación.

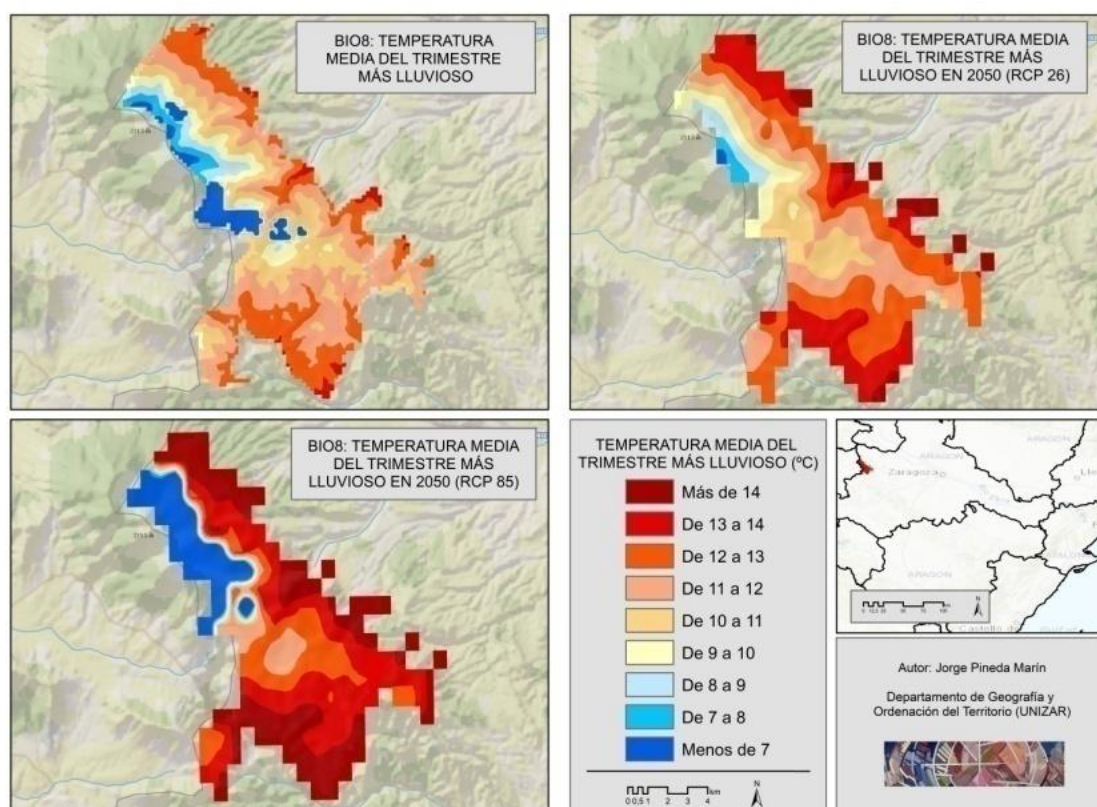


Figura 32; BIO8: Temperatura media del trimestre más lluvioso (°C)

### BIO9: Temperatura media del trimestre más seco

Como se ha explicado recientemente, la utilidad de las variables que trabajan con trimestres es estudiar la distribución estacional de especies, y en este caso, en base al trimestre más seco, no confundir con el trimestre más cálido (*BIO10*), puesto que éste obtiene los datos del trimestre que presente la menor cantidad de precipitaciones. Que no tiene porque ser el mismo trimestre que presente las temperaturas más altas.

Para los datos actuales la temperatura media, localizada en el sector más alto del Moncayo, no supera los 14°C, pero en las faldas del Moncayo la temperatura alcanza hasta los 18°C, y de forma residual los 19°C. Para el escenario rcp26, la temperatura aumenta generalmente un grado. Así pues, un ejemplo es el intervalo de 16 a 17°C en la actualidad, que con rcp26 será de 17°C a 18°C.

Viene siendo recurrente que la gran diferencia ocurra cuando la concentración de gases con efecto invernadero aumenta (rcp85). Las temperaturas no bajarán generalmente de los 16°C, mientras que las temperaturas máximas podrán superar de manera holgada los 21°C. Volvemos a asistir a lo citado en el comentario de *BIO1*, que la temperatura para el escenario futuro y pesimista parece aumentar en 2°C.

Por último, como ha ocurrido en la variable anterior, podemos definir una relación con la precipitación del trimestre más seco, ya que donde la precipitación es menor en *BIO17*, aumentan las temperaturas.

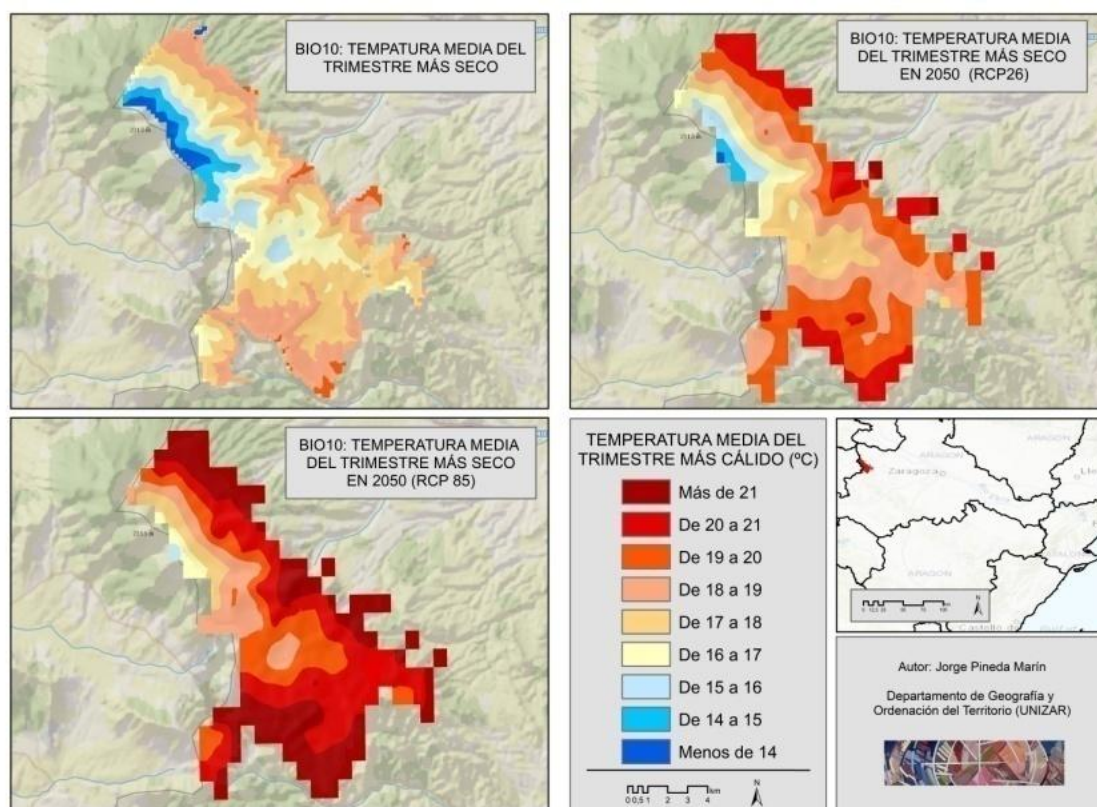


Figura 33; BIO9: Temperatura media del trimestre más seco (°C)

### BIO10: Temperatura media del trimestre más cálido

Si bien, como se verá a continuación (*Mapa10*), los resultados son muy parecidos a lo acontecido para *BIO9*, en la presente variable no se han tenido en cuenta datos de precipitación, como así ha sido anteriormente, y es importante recalcarlo, ya que un trimestre cálido no tiene porque tener necesariamente valores bajos de precipitación. Un ejemplo de esta situación es el clima de Mandang (Nueva Guinea), en el que la temperatura media es alta (27,5º) y las precipitaciones anuales también (1076mm) (Ignacio Zuñiga López y Emilia cresp del Arco,.2010)

Los datos actuales muestran que las temperaturas más bajas se localizan en el sector occidental, quedándose por debajo de los 14ºC, y que van aumentando debido al descenso de la altitud que permite ese gradiente de las temperaturas O-E, hasta los 19ºC.

De nuevo, pese a que para rcp26, la temperatura aumente y se observen cambios importantes, hay que destacar sobre todo, que en el escenario más pesimista desaparecen los valores por debajo de los 15ºC, que sí aparecían en las dos situaciones climáticas restantes. El resultado es que más del 50% de la superficie del macizo del Moncayo cuentan con valores de temperatura por encima de lo 19ºC, los cuales en la actualidad únicamente se localizan residualmente.

Señalar que como en los anteriores trimestres comentados, existe una relación entre la temperatura y la precipitación del trimestre más cálido, en la cual a mayor temperatura menor es la acumulación de las precipitaciones.

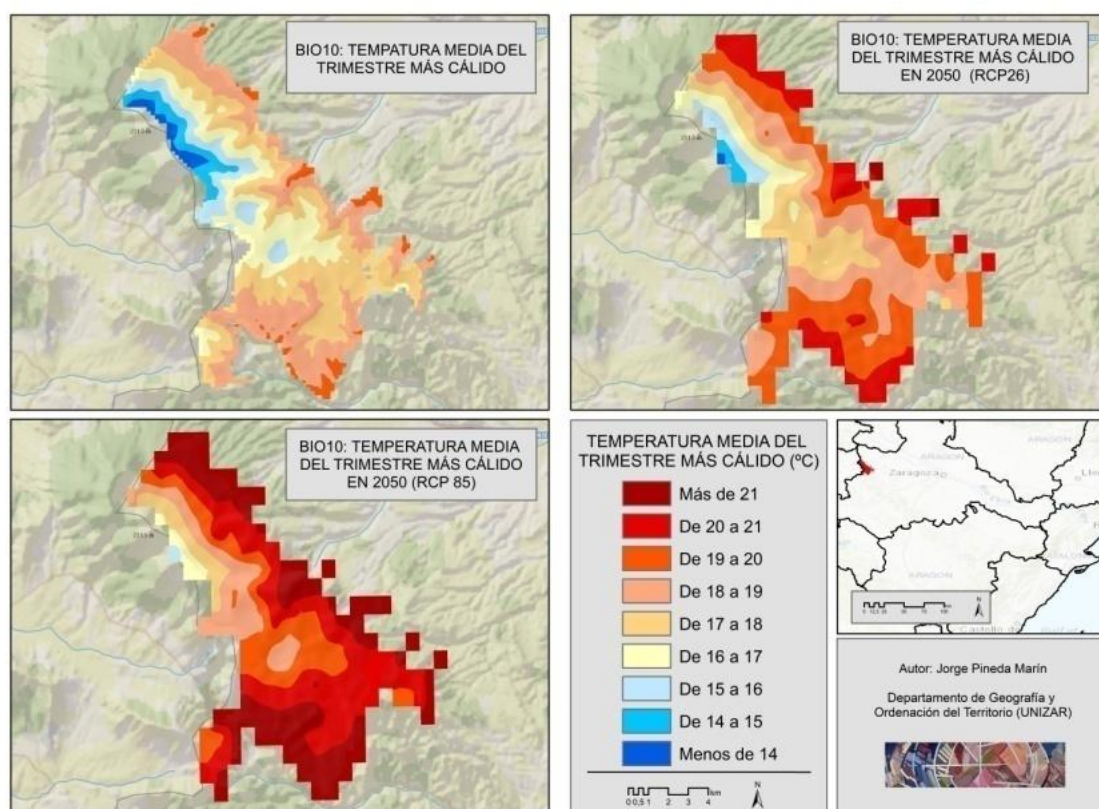


Figura 34; BIO10: Temperatura media del trimestre más cálido (°C)



### BIO11: Temperatura media del trimestre más frío

La presente variable muestra características comunes con anteriores variables bioclimáticas que tratan periodos trimestrales. En primer lugar, el gradiente O-E pasando de las temperaturas mínimas a las máximas, y en segundo lugar, la relación directa con las precipitaciones, en este caso con la precipitación del trimestre más frío, ya que volvemos a observar que las temperaturas mínimas se localizan en los sectores de mayor precipitación acumulada.

Centrándonos en el análisis de la cartografía, para la situación actual, las mínimas temperaturas del trimestre desciende por debajo de los 0 grados, llegando incluso a ser más frías ( $-1,5^{\circ}\text{C}$ ). No obstante esta es una característica común a los tres escenarios, incluso para rcp85, aunque bien es cierto que con menor extensión.

La diferencia más notable está en la temperatura máxima dentro del propio trimestre. Actualmente este valor no sobrepasa los  $3,75^{\circ}\text{C}$ , mientras que para ambas situaciones climáticas futuras sí lo hace, aunque de manera mucho más visible en el escenario más pesimista.

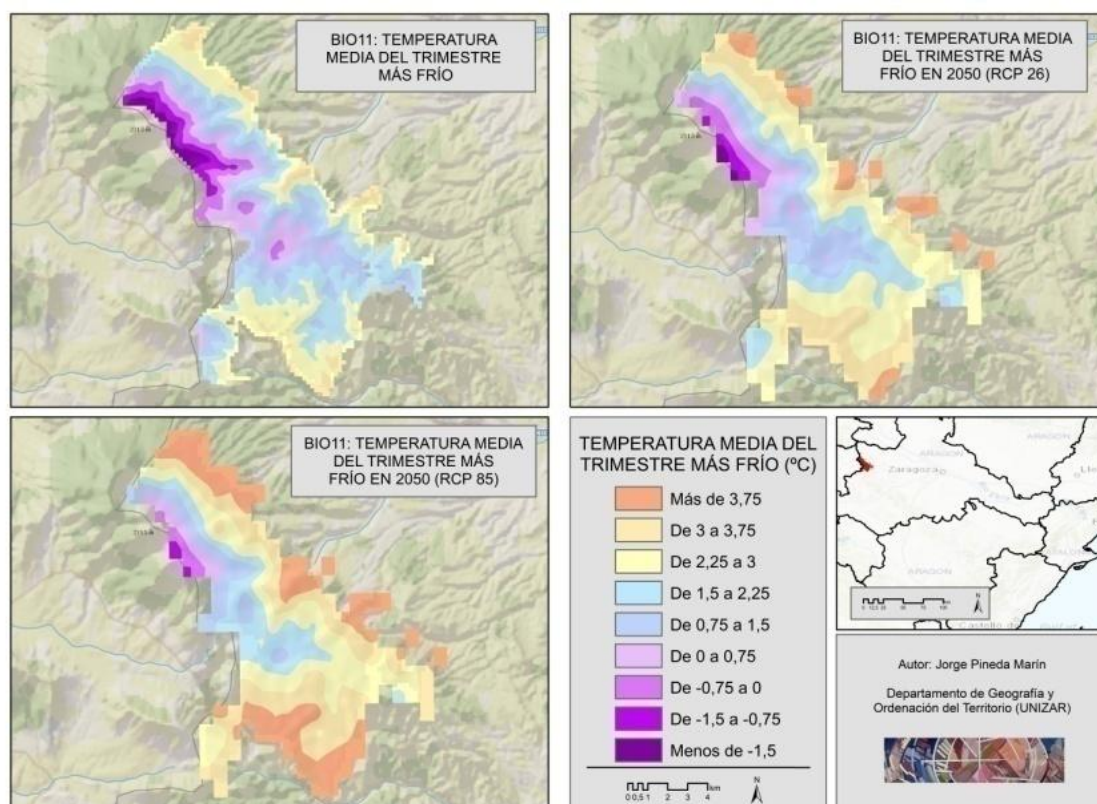


Figura 35: BIO11: Temperatura media del trimestre más frío

### BIO12: Precipitación anual

La precipitación anual en el macizo del Moncayo concentra sus mayores acumulaciones, que son de más de 1000mm, en el sector oeste y noroeste, donde la altitud es superior. Así pues, como ocurrió en variable como *BIO1*, se observa un gradiente O-E de las precipitaciones, muy acusado en este caso, ya que pasamos de contabilizar más de 1000mm a menos de 450mm en una pequeña extensión de territorio (*ver sector norte del mapa actual arriba izq.*).

Por lo tanto, en base al gradiente de precipitaciones anterior, podemos definir que el componente orográfico cobra un valor fundamental en la acumulación de las precipitaciones.

Sin embargo, en los escenarios climáticos futuros, la extensión de territorio en la que se acumulan únicamente menos de 450 mm se hará más extensa, y la precipitación en el área de estudio descenderá de manera generalizada.

De hecho, en el escenario rcp85, la precipitación en escasos sectores supera los 750 mm totales.

Estos resultados concuerdan con los obtenidos en el informe del centro de estudios hidrográficos sobre “Estudio de los impactos del cambio climático en los recursos hídricos y las masas de agua” de 2012, en el que se indica que “*las proyecciones pronostican una reducción generalizada de la precipitación conforme avanza el S.XXI*”

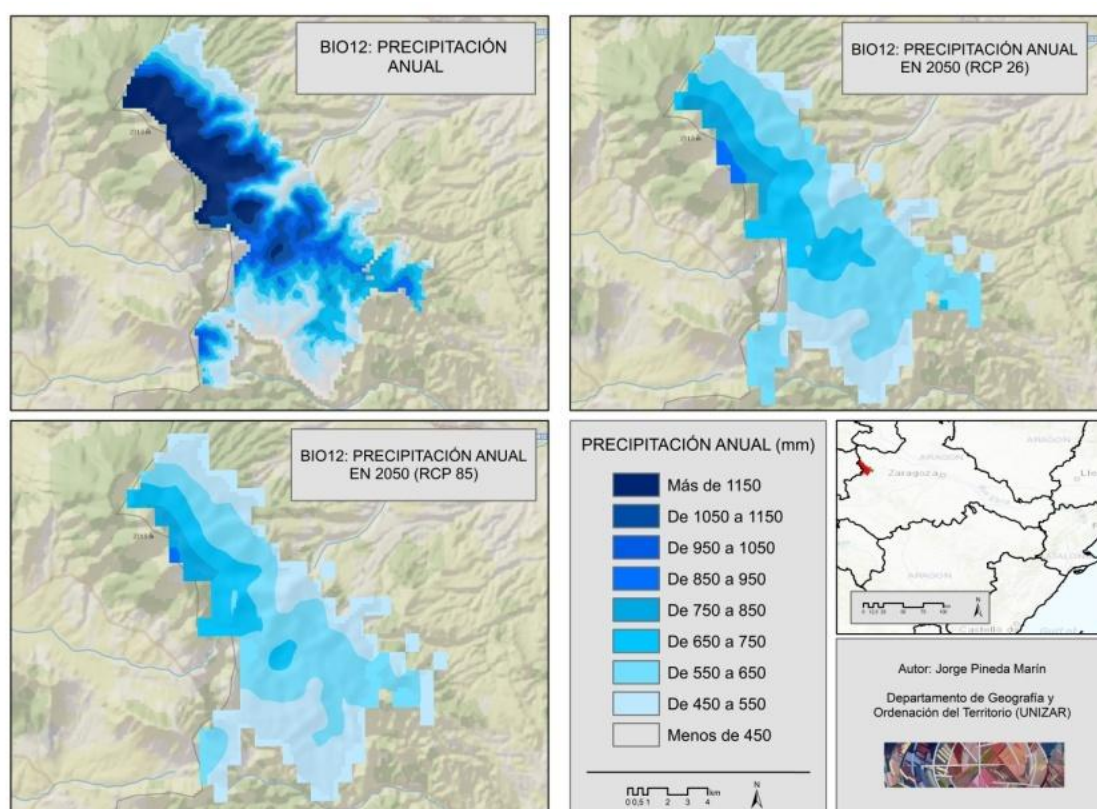


Figura 36; BIO12: Precipitación anual (mm)



### BIO13: Precipitación del mes más lluvioso

BIO 13, y como veremos BIO14, son variables bioclimáticas cuyo objetivo es estudiar el impacto de condiciones de precipitación extremas sobre las especies vegetales. Así pues, el mes más lluvioso, que en el Moncayo generalmente varía entre Abril y Mayo, llega a cotas de más de 111 mm, de hecho, realmente los valores de acumulación llegan a alcanzar los 400 mm, lo que supone más de un tercio de la acumulación anual, pero no se hubieran podido cuadrar los intervalos si se llegan a incluir valores tan elevados por el bien del producto cartográfico, pero hay que tenerlo presente en el análisis.

Hay que destacar el salto de valores entre los citados anteriormente y los que muestran *rcp26* y *rcp85*, con menos de 111 mm acumulados en el primero y con menos de 103 en el segundo. Si bien es cierto que es normal que los datos sufran un descenso notable debido a la bajada de acumulación a escala anual.

Destacar que para *rcp85*, sectores de cierto tamaño en el sur, y en el noreste, no superan los 55 mm pese a ser el mes más lluvioso, siendo esta acumulación, escasamente superior a la que presenta en la actualidad Ankara (Turquía) en su mes más lluvioso que es Marzo, y cuyo clima es considerado según la clasificación de Koeppen como clima seco-frío.

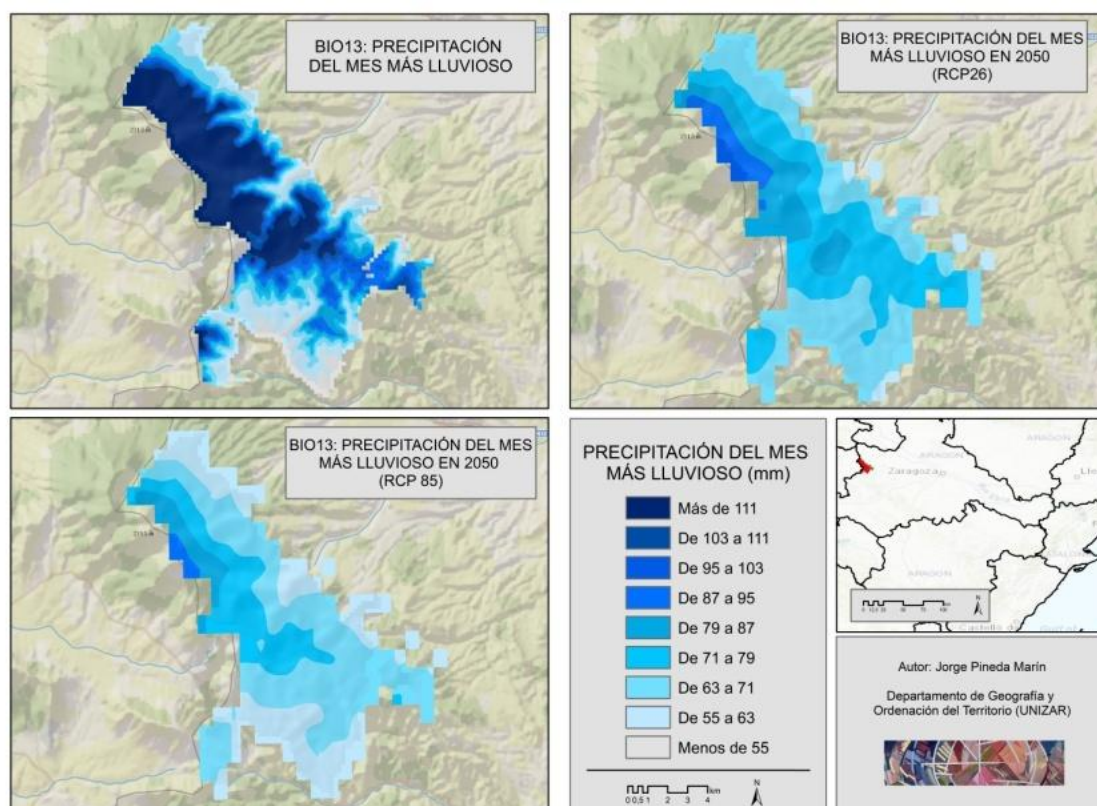


Figura 37; BIO13: Precipitación del mes más lluvioso (mm)

### BIO14; Precipitación del mes más seco

Como se ha citado en la anterior variable bioclimática (BIO13), el cálculo de la precipitación del mes más seco también tiene como objetivo estudiar la reacción de la vegetación en condiciones extremas, en este caso de sequía.

Encontramos características parecidas a las dos variables anteriores, en primer lugar el gradiente de más a menos precipitaciones de O-E, y en segunda lugar, una variación de las precipitaciones notable en un espacio reducido.

Para el clima actual, las mayores acumulaciones superan el intervalo máximo (más de 55 mm) de manera holgada, llegando a valores cercanos a 200 mm. Pero los valores mínimos descienden hasta menos de 20 mm, mostrando la mayor amplitud entre máximos y mínimos de los tres escenarios.

Este gradiente de las precipitaciones se ve matizado en el escenario rcp26, ya que pese a que las precipitaciones pueden superar, en extrañas ocasiones, los 50 mm, la acumulación mínima no descenderá de los 20 mm, como sí lo hará en rcp85, escenario en el cual la acumulación máxima no superará los 45 mm.

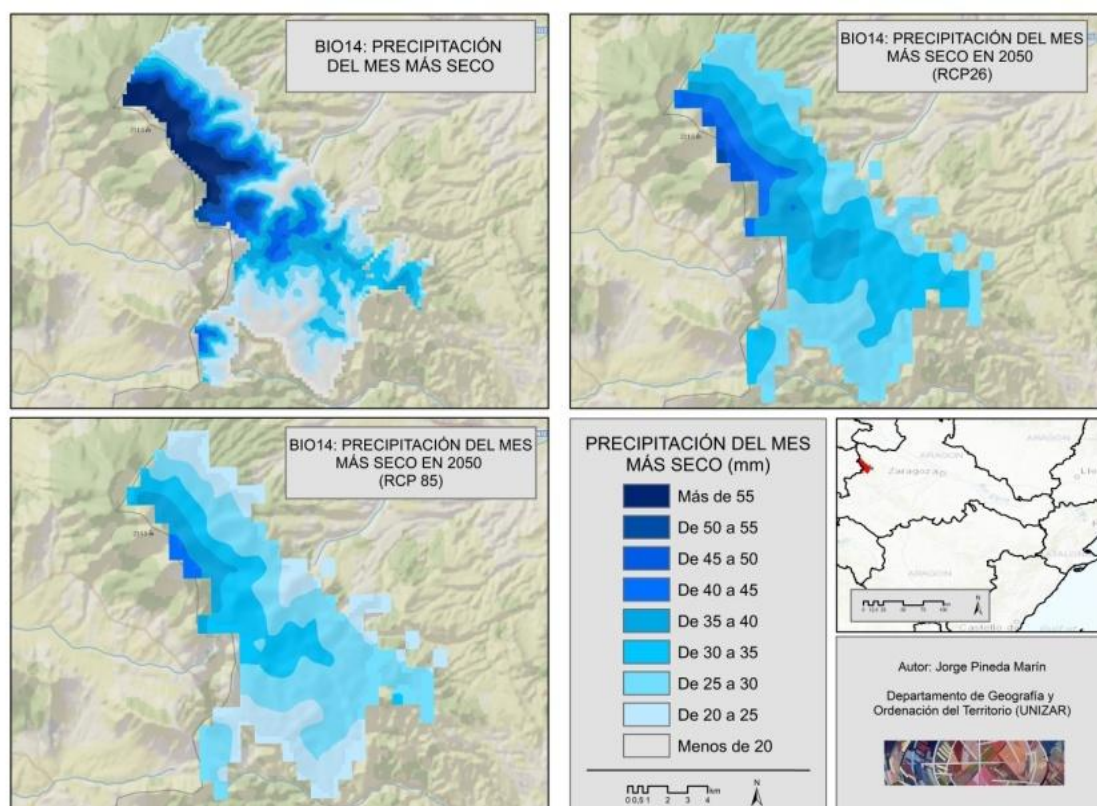


Figura 38; BIO14: Precipitación del mes más seco

### BIO15: Estacionalidad en la precipitación

Al igual que para la estacionalidad de la temperatura (BIO4), esta variable tiene como funcionalidad calcular el porcentaje de variabilidad de la precipitación a lo largo del año, siendo mayor la variación cuanto mayor sea el porcentaje.

Si observamos la cartografía, veremos que los valores con un porcentaje más alto los encontramos en los sectores de menor altitud, mientras que los porcentajes inferiores se localizan en el sector noroeste.

Esta característica principal, que también muestra la estacionalidad de las precipitaciones, es común en los tres escenarios climáticos, pero los porcentajes son sensiblemente diferentes.

En la situación actual se datan los porcentajes mayores, que pueden soportar el 30%. Además, en ningún sector del área de estudio se baja del 24%. No obstante, tanto para rcp26, como para rcp85, cuyos resultados son bastante similares, el sector de mayor altitud cuenta con una estacionalidad inferior al 20% y por tanto, con una variabilidad menor. Además, los porcentajes más altos están lejos del 30% actual, y únicamente superan el 26% residualmente.

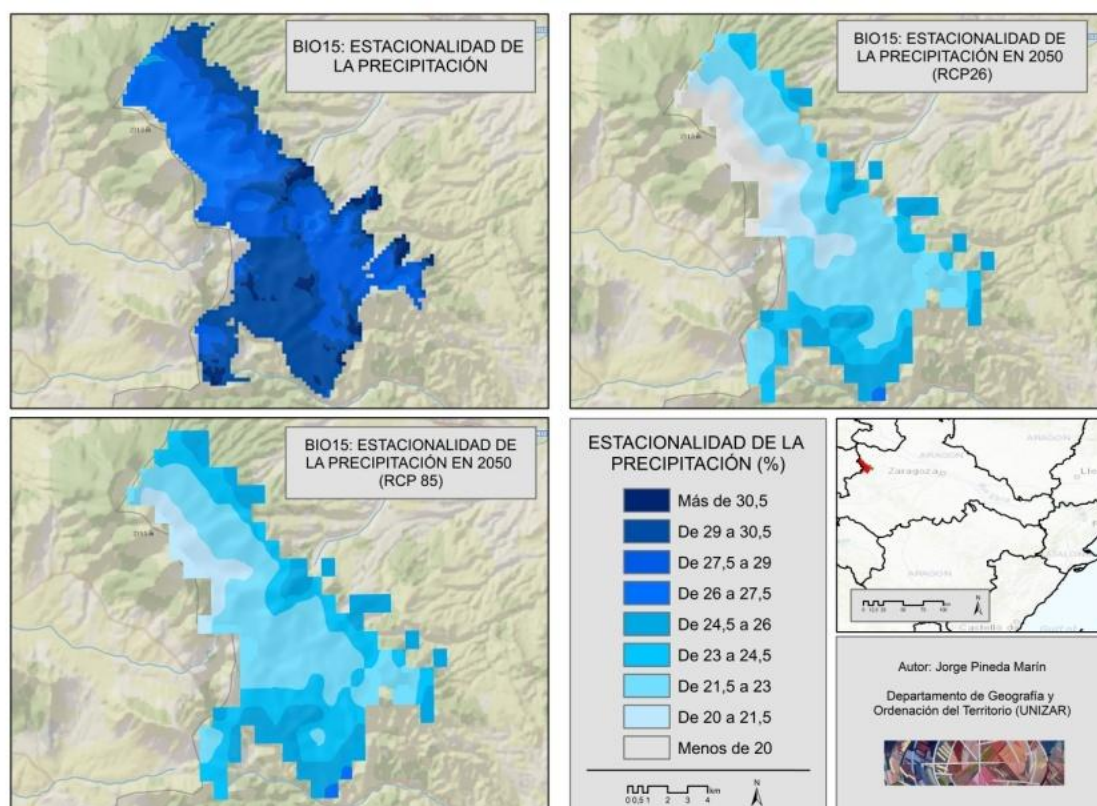


Figura 39; BIO15: Estacionalidad en la precipitación (%)



### BIO16: Precipitación del trimestre más lluvioso

Entramos en el grupo de variables bioclimáticas que tratan los efectos sobre la vegetación a partir de cambios estacionales de elementos climáticos (*BIO16*, *BIO17*, *BIO18* y *BIO19*).

En cuanto a la precipitación del trimestre más lluvioso, la situación actual goza de acumulaciones por encima de los 275 mm en gran parte del área del macizo del Moncayo, aunque cabe destacar que los valores ascendían hasta acumulaciones superiores a los 500 mm, lo que supone alrededor del 50% del acumulado anual, y es un dato del que discrepan mucho los dos escenarios futuros. Si bien es cierto que al sur habrá sectores que no superen los 135 mm, por lo tanto actualmente la irregularidad de la distribución espacial de las precipitaciones es elevada.

No obstante, rcp2.6 cuenta con unos máximos que, aunque mucho más inferiores a los actuales, sobrepasan, aunque en espacios aislados, los 275 mm. Será un escenario mucho más regular en la distribución de las precipitaciones, ya que no hay ningún sector por debajo de 155 mm, hecho que si ocurre con un escenario climático rico en gases de efecto invernadero, y es que la principal característica de rcp85 es el aumento de la superficie por debajo de los 135 mm.

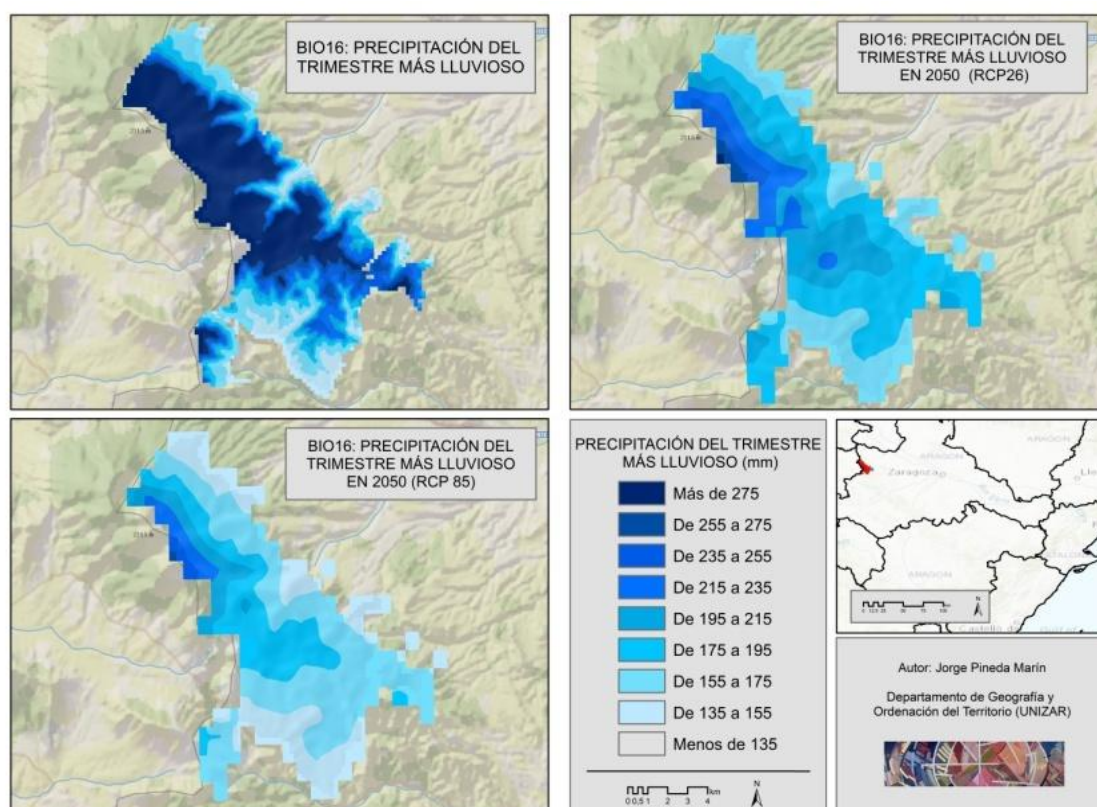


Figura 40; BIO16: Precipitación del trimestre más lluvioso (mm)

### BIO17; Precipitación del trimestre más seco

Como se ve a continuación, la precipitación del trimestre más seco es ciertamente similar a la del trimestre más cálido, y de hecho se ha trabajado con los mismos intervalos a la hora de llevar a cabo la representación cartográfica.

La principal diferencia observada entre los dos escenarios futuros y el actual es la polarización en dos sectores que sufre el macizo del Moncayo en la actualidad. Un sector con acumulaciones notables de más de 160 mm, y otro con precipitaciones trimestrales que no llegaban a los 90 mm para la situación actual. Sin embargo para rcp26 y rcp85, la distribución de los valores es mucho más regular. Si bien es cierto que la acumulación de las precipitaciones desciende notablemente, siendo anecdóticos los espacios con valores superiores a 150-160 mm.

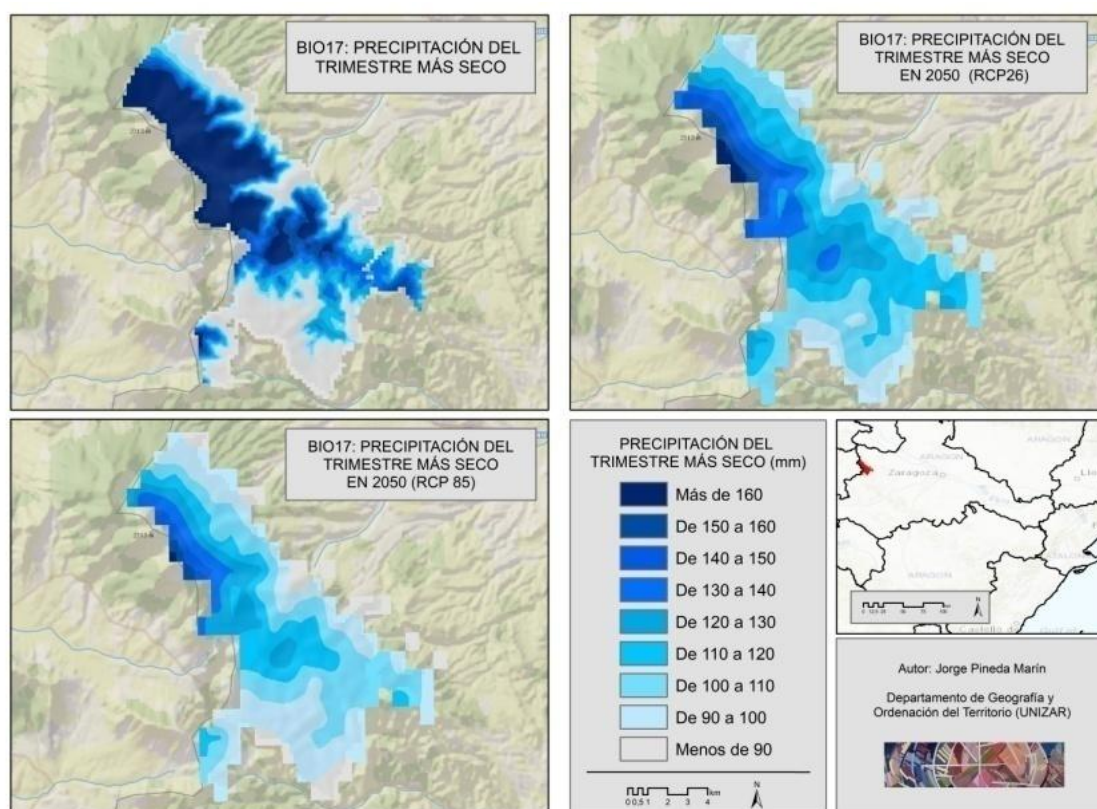


Figura 41; BIO17: Precipitación del trimestre más seco (mm)

### BIO18; Precipitación del trimestre más cálido

Como se ha citado anteriormente, los resultados que presentan el trimestre más cálido y el más seco son muy similares.

No obstante, en relación con BIO17, hay mayor extensión del territorio, sobre todo del área central del macizo por encima de los 160 mm en la actualidad. Aunque, como viene siendo habitual, los sectores de menor altitud y más alejados de la cima del Moncayo presentan datos mucho más inferiores que en el resto del área de estudio. Ésta es una constante que se repite en los dos escenarios futuros, pese a que cabe destacar el agudo descenso de las precipitaciones para rcp85. Curioso es que en el escenario con rcp26 no se observarán datos inferiores a los 90 mm.

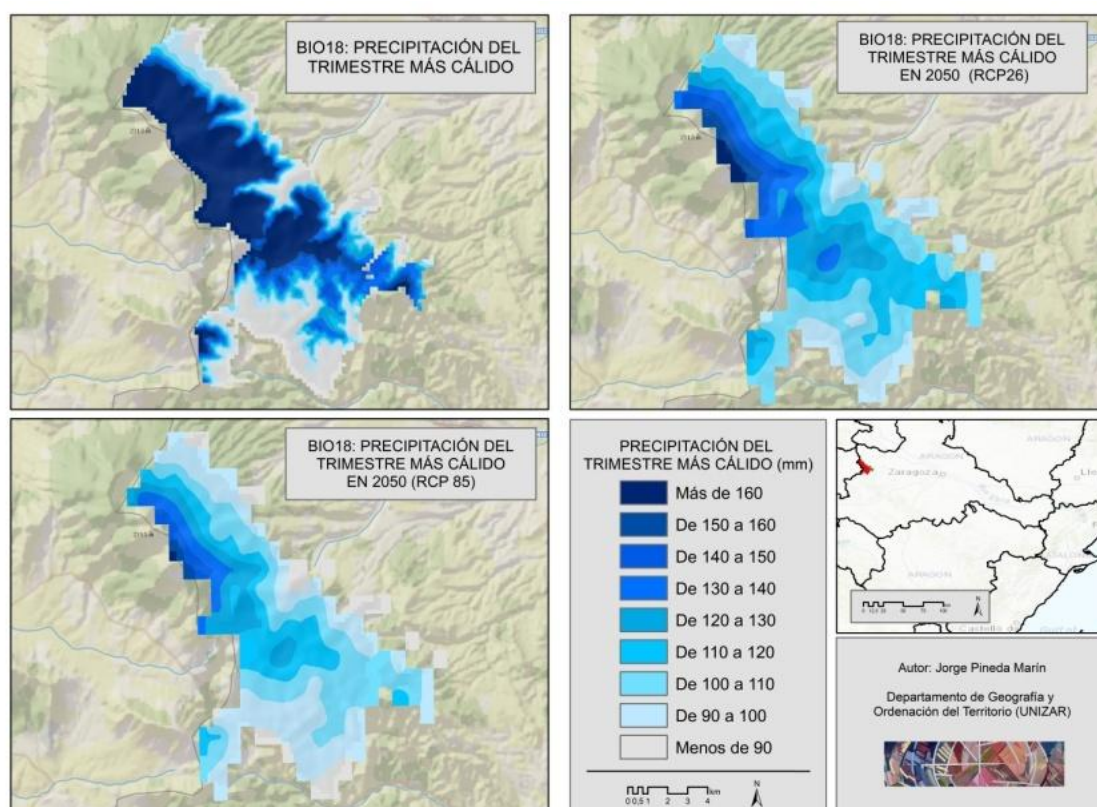


Figura 42; BIO18: Precipitación del trimestre más cálido (mm)



### BIO19; Precipitación del trimestre más frío

El trimestre más seco vuelve a presentar características comunes a las tres variables bioclimáticas estacionales.

Si bien es cierto que con valores sensiblemente diferentes a BIO 17 y BIO18, ya que los datos de acumulación máximo son claramente superiores. De hecho para el contexto actual, en el cual el intervalo más alto en el que se encuadran los píxeles que acumulan más de 240 mm, los valores ascendían hasta más de 400 mm.

No obstante, vuelve a ser, la situación climática de nuestros días, más irregular que las futuras. Y es que para tanto para rcp26 como para rcp85, los valores no descienden de 100 mm, si en el sur como sí ocurre actualmente. No obstante los datos máximos de acumulación muestran un descenso preocupante de las precipitaciones sobre todo en el sector central, pero esta afirmación realmente se puede generalizar para la mitad norte del área de estudio.

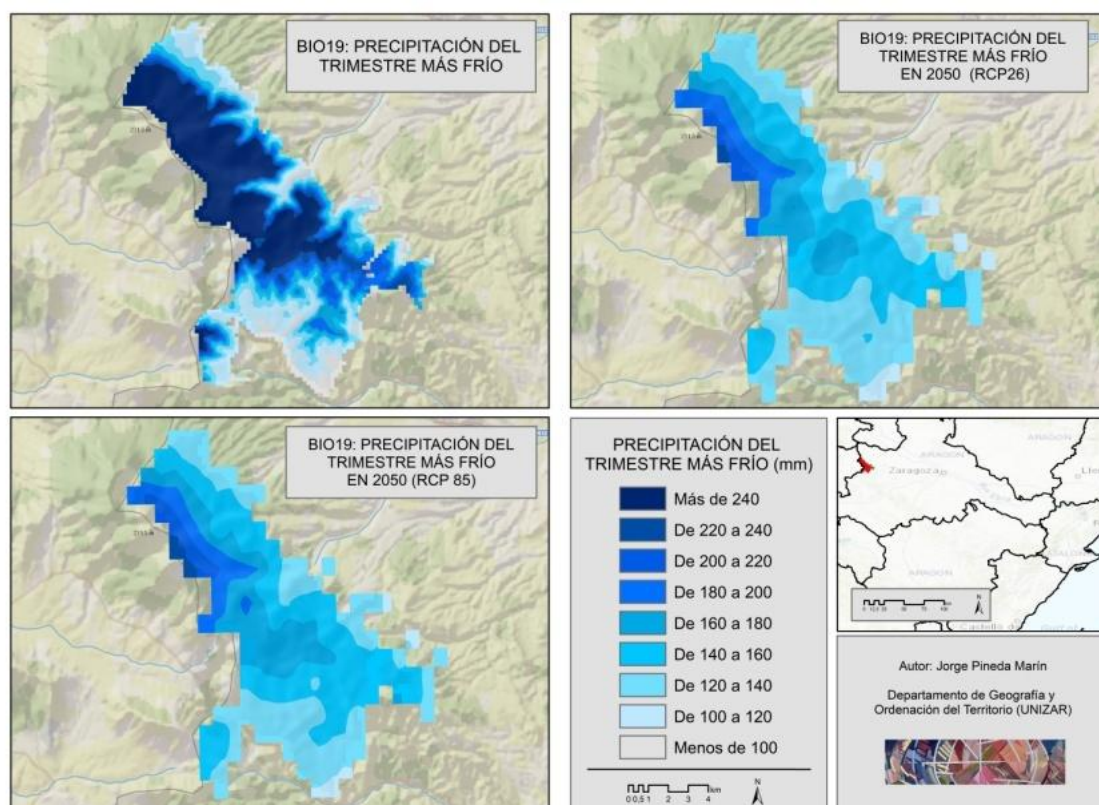


Figura 43; BIO19: Precipitación del trimestre más frío (mm)

### **c) Rangos de distribución. Diferencias entre la situación climática actual y una proyectada pesimista (rcp8.5)**

La concentración de gases de efecto invernadero es una variable que influye de manera sobresaliente a las condiciones climáticas, como por ejemplo el aumento de las temperaturas. Y ello se traduce en que factores externos como la vegetación experimenten ciertos cambios en su comportamiento o distribución.

Si bien es cierto que en el presente estudio no se han obtenido los cambios en la localización geográfica en el PNM que podrían soportar las especies forestales, sí se han obtenido los cambios en los rangos de distribución para las distintas variables bioclimáticas. No obstante en el análisis, solo se ha considerado el escenario más pesimista (rcp8.5), ya que (rcp2.6) era bastante similar a éste.

Los principales cambios observados han sido:

- La *Betula verrucosa* desaparecería del Moncayo. Aunque hay que apuntar que pueden influir los píxeles de 1000 metros con los que se ha trabajado en los escenarios futuros, puesto que quizá trabajando con más detalle se podrían localizar algunos pocos individuos.

- El *Quercus petraea* perderá gran parte de su población. Será marginal.

- El aumento de la temperatura provoca que en variables como temperatura media anual, los rangos se sitúan en valores más altos de temperatura. Un ejemplo significativo es el caso del *Pinus uncinata*, que pasa de un rango entre 6-7°C a, con rcp8.5, alcanzar temperaturas superiores a 9°C.

- En cuanto a las temperaturas “extremas” que pueda soportar la vegetación, es decir, la temperatura máxima del mes más cálido (BIO5), y la temperatura mínima del mes más frío (BIO6), para la primera de ellas, el rango de distribución para el escenario futuro contará con un aumento medio de la temperatura por encima de 2°C. Mientras que para el mes más frío, las temperaturas solo descenderán un grado, aún no alcanzará, el rango de distribución, valores bajo cero. De todas formas, se puede atisbar que la amplitud térmica en el futuro pueda ser más amplia, conllevando temperaturas más extremas.

- En el caso de las variables trimestrales de temperaturas, se produce un aumento notable de las mismas. De hecho en BIO9, los rangos de distribución de las especies forestales en la actualidad no superaban en ningún caso los 20°C, mientras que en el escenario proyectado, el *Ilex aquifolium*, *Quercus ilex*, *Fagus sylvatica*, *Pinus halepensis* y *Quercus pyrenaica* lo superan.

- El comportamiento de los rangos de distribución en las temperaturas, será inversamente proporcional al que se da en precipitaciones, ya que éstas van a descender notablemente. Así ocurre por ejemplo con el *Fagus Sylvatica*, cuyo rango actual para la precipitación anual se establece entre 900 y 1100 mm, y que pasará a estar entre 550-600 mm.



-Por último, en el caso de las variables trimestrales de precipitación, las cuatro presentan un comportamiento muy similar, y es que las precipitaciones sufrirán un descenso de unos 100 mm en la situación climática a futuro.

A continuación, las figuras que representan cada una de las variables, con los rangos de distribución de las especies forestales presentes en el PNM, en una situación climática rcp8.5.

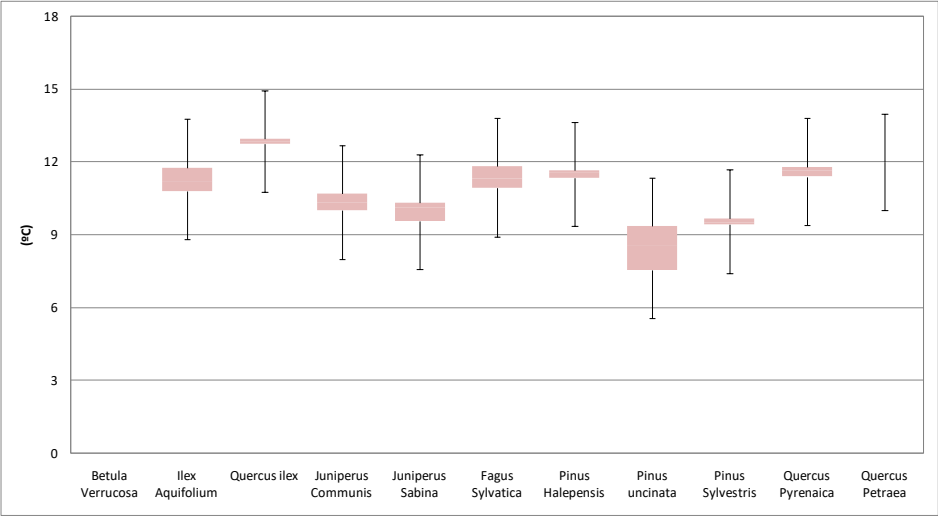


Figura 44; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO1)

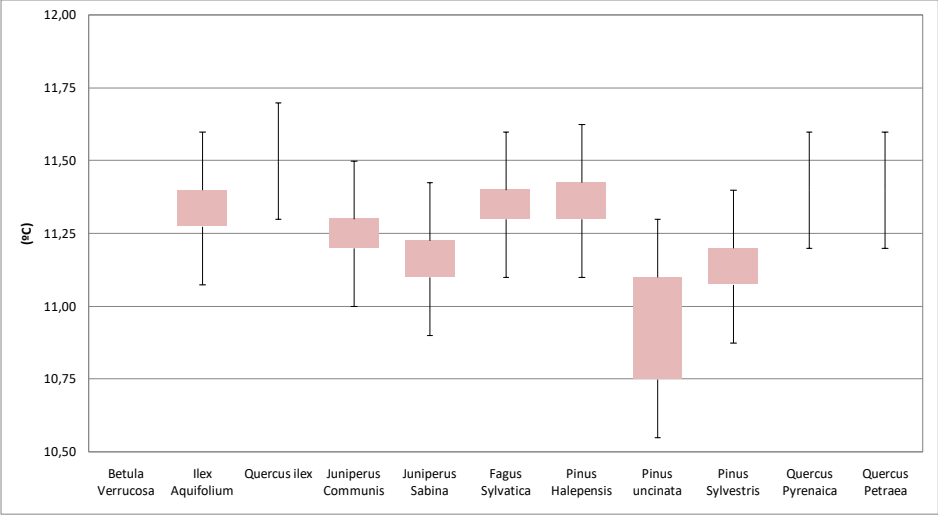


Figura 45; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO2)

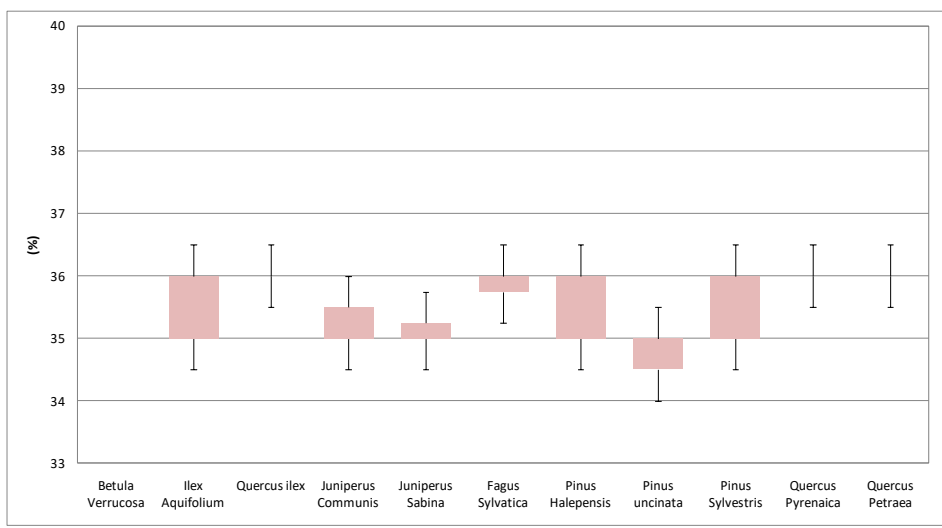


Figura 46; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO3)

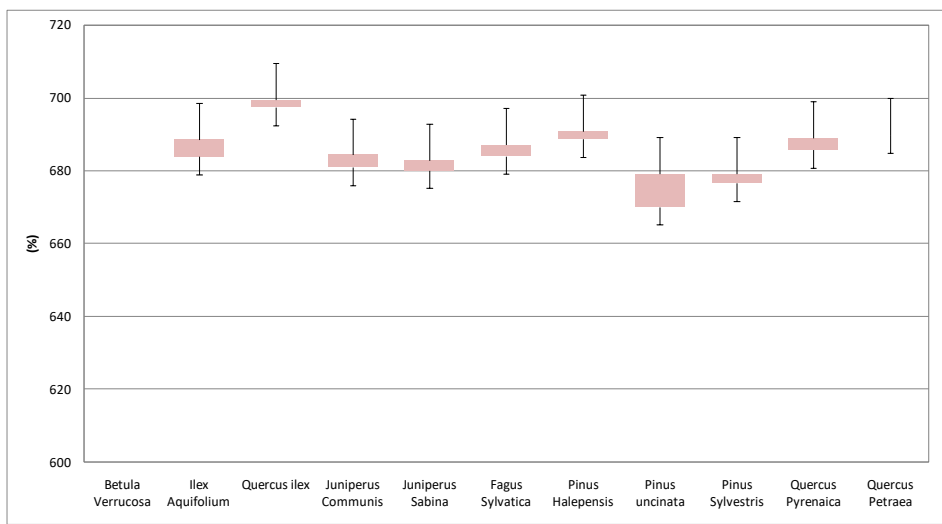


Figura 47; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO4)

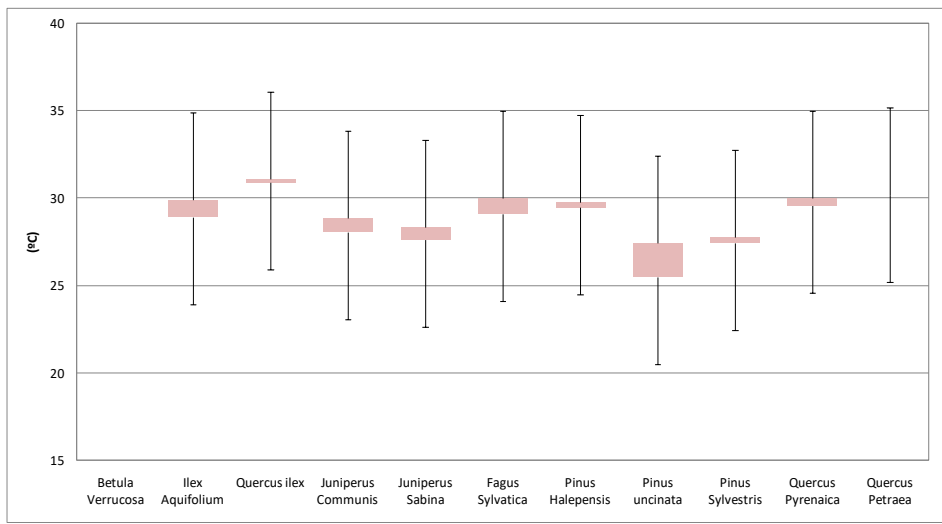


Figura 48; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO5)

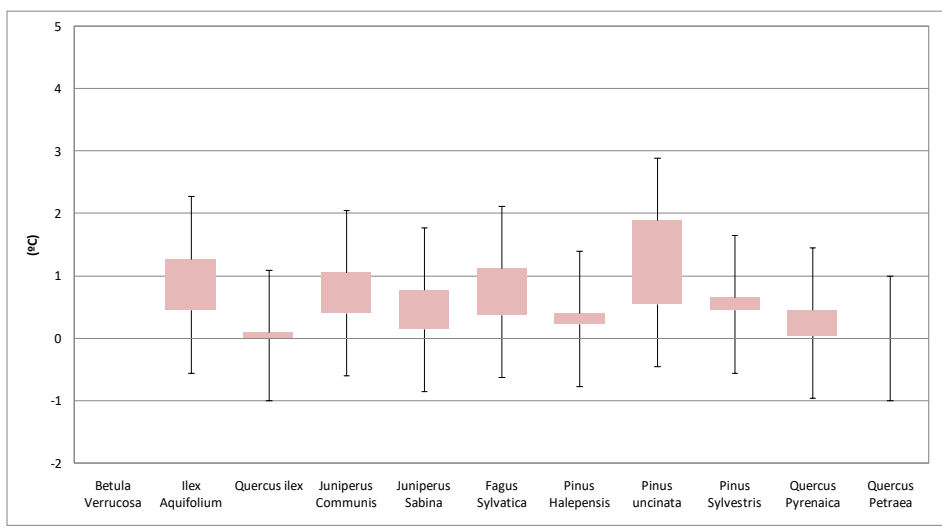


Figura 49; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO6)

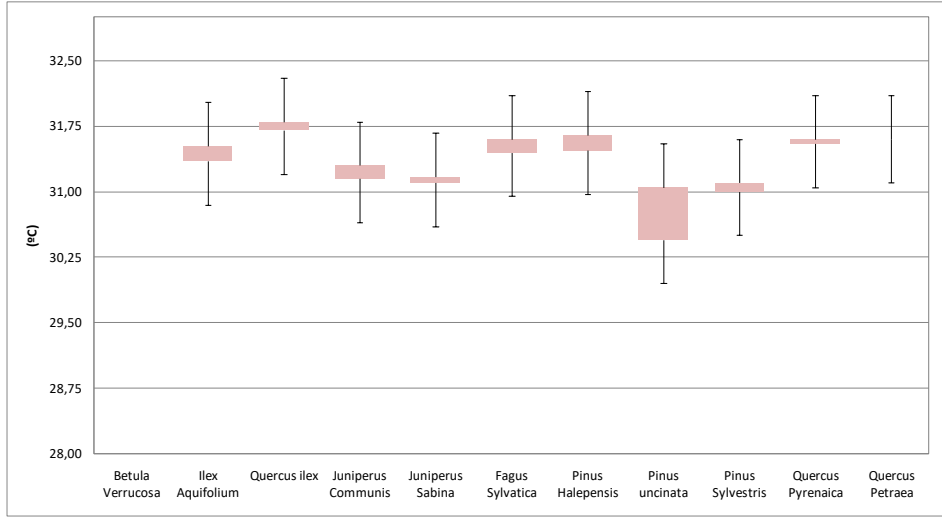


Figura 50; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO7)

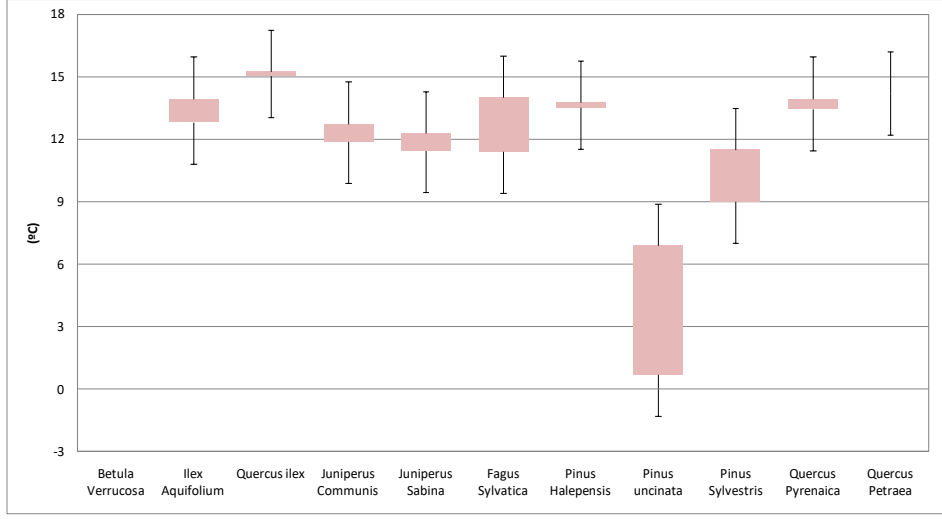


Figura 51; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO8)

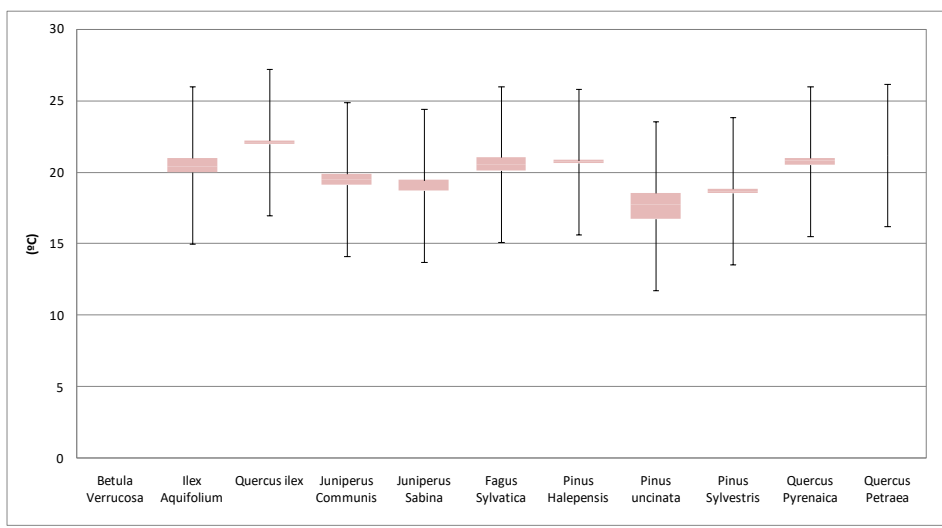


Figura 52; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO9)

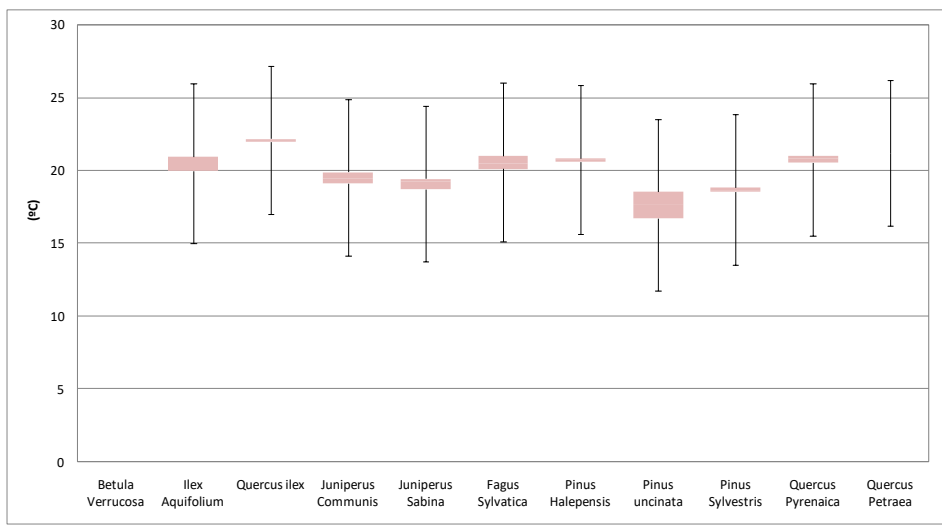


Figura 53; rango de distribución de la vegetación en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO10)

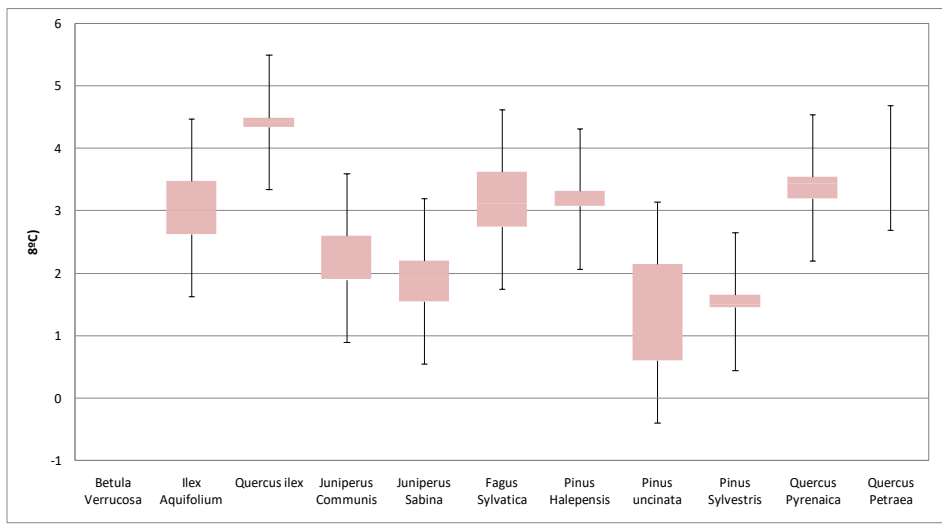


Figura 54; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO11)

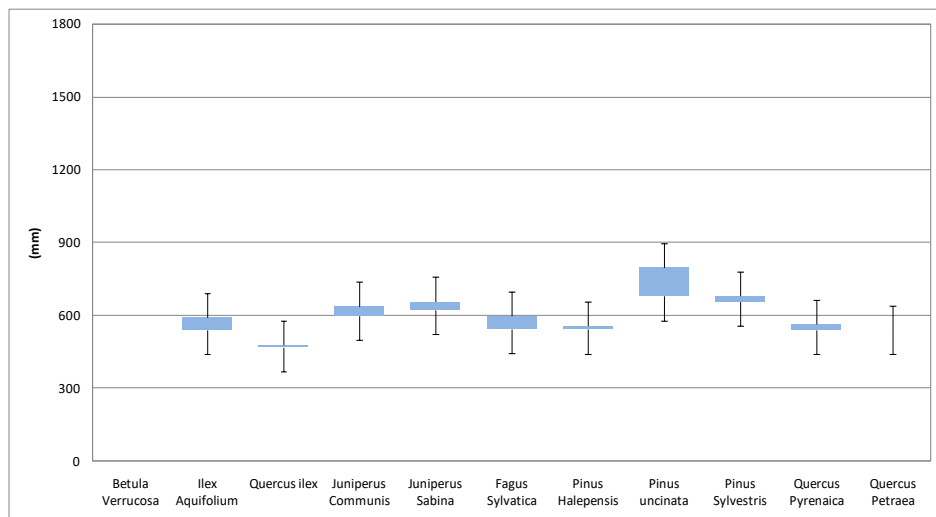


Figura 55; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO12)

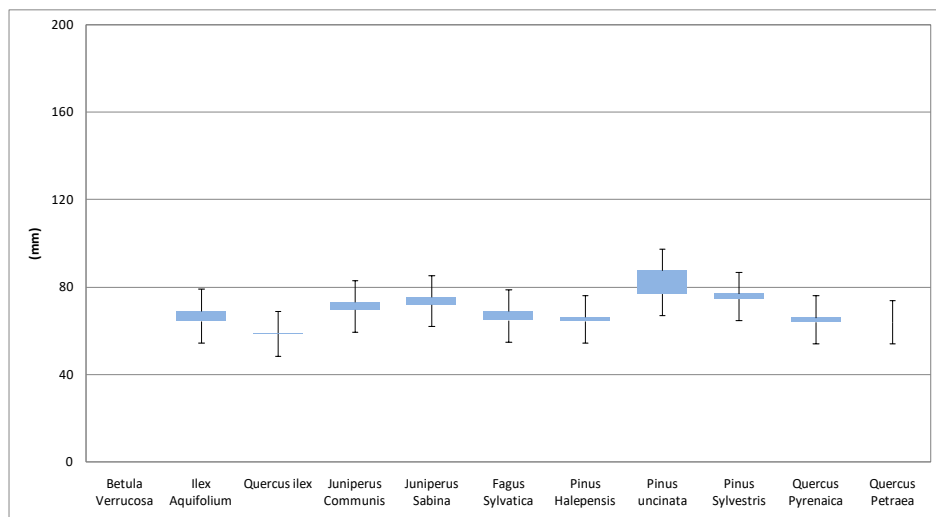


Figura 56; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO13)

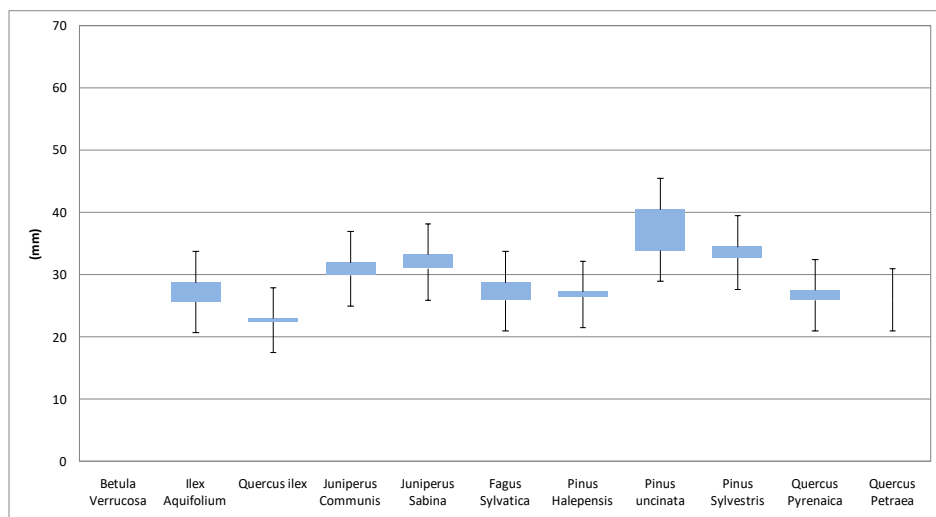


Figura 57; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO14)

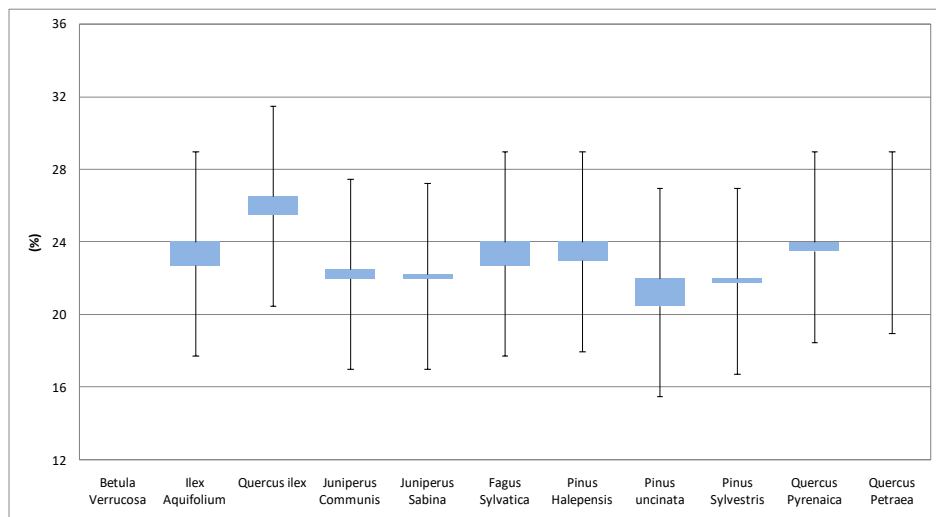


Figura 58; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO15)

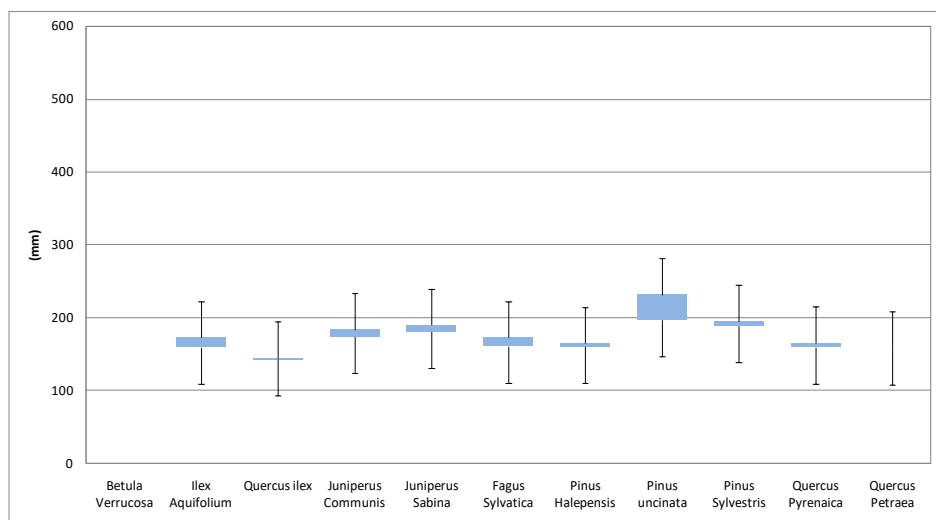


Figura 59; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO16)

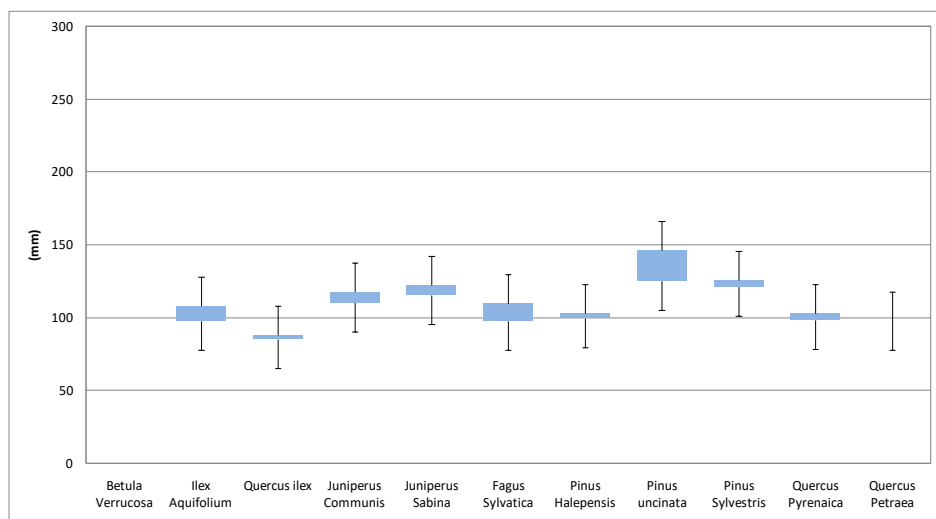


Figura 60; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO17)

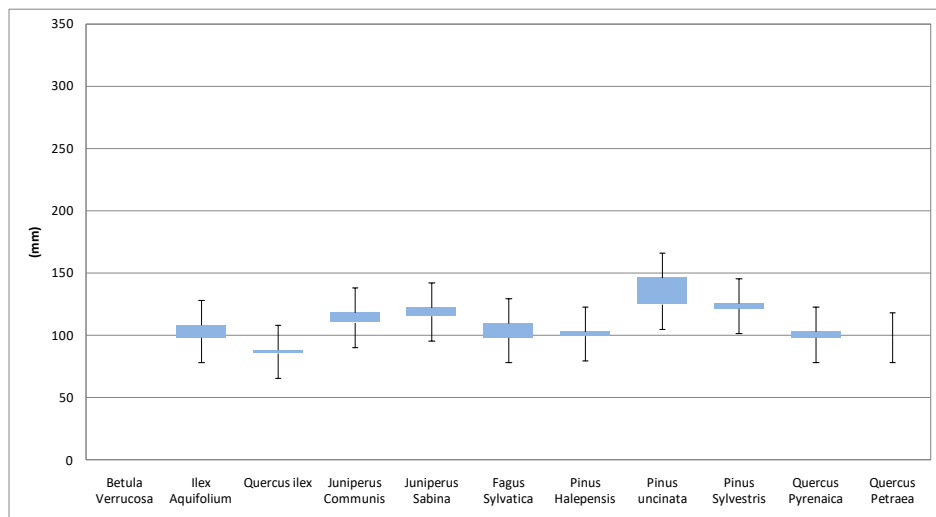


Figura 61; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO18)

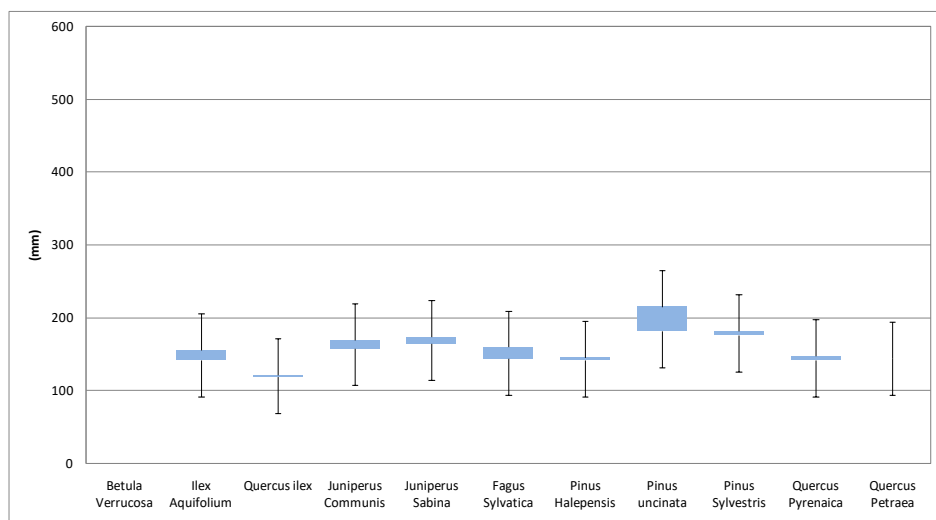


Figura 62; rango de distribución en el escenario proyectado rcp8.5 (BIO19)

## 5. DISCUSIÓN Y CONCLUSIÓN

El uso de la base de datos *Worldclim*, con sus proyecciones a futuro, han resultado muy efectivas desmarcándose como una técnica excelente para llevar a cabo proyecciones a futuro, con el objetivo de obtener escenarios climáticos proyectados con distintas concentraciones de gases de efecto invernadero. No obstante, para trabajar con las relaciones entre clima y vegetación, se precisan otras herramientas. Las óptimas hubieran sido los nichos ecológicos, (Ej. *Maxent*), pero para adecuar el nivel del estudio a un TFG, se usaron programas cartográficos.

Pese a ello, se ha conseguido revelar el impacto del cambio climático sobre la biodiversidad y las consecuencias sobre la distribución de las especies en el PNM, con la complejidad que eso conlleva definir al ser un ecotono.

Los resultados a destacar han sido los siguientes:

- Si bien la temperatura media anual durante el S.XX se ha incrementado en 0,8°C, debido principalmente a la quema de combustibles fósiles, en el peor de los casos, para 2050, el aumento respecto a la temperatura actual podría estar cerca de los 2°C en el área de estudio. Las temperaturas extremas se agudizarán, así pues durante el mes más cálido, la temperatura máxima (BIO8), superará tanto en rcp2.6 y rcp8.5 los 30°C. Siendo que en la actualidad, únicamente en puntos marginales se alcanzan 28°C.

- De acuerdo con las variables bioclimáticas, es inversamente proporcional el aumento de las temperaturas y el descenso de las precipitaciones. Un descenso que podría ser en el peor de los casos superior a 350 mm anuales. Esta relación inversa se hace visible en las transformaciones que sufren los rangos de distribución de las diferentes especies al comparar el contexto climático actual con el proyectado. Ya que los nuevos rangos se localizarán en temperaturas más altas, pero en precipitaciones más bajas. Son esas las condiciones clave a las que se tendrán que hacer tolerantes los individuos vegetales.

- Vale la pena resaltar, que pese a que rcp2.6 se haya entendido como un escenario más optimista que rcp8.5, conllevaría el aumento en un grado de la temperatura media anual, un descenso de las precipitaciones anuales en unos 200 mm, y la desaparición parcial o total de especies como la *Betula verrucosa* o el *Quercus petraea* (Aunque para este último caso citado podría influir el tamaño del pixel con el que se ha trabajado). Además, los rangos de distribución sufren una leve contracción, es decir, su amplitud desciende si comparamos las proyecciones con los resultados para el clima actual.

No obstante aún quedan cuestiones que podrían ser estudiadas en un futuro. Como por ejemplo definir las variables bioclimáticas que afectan en mayor medida a cada especie y así entender mejor el comportamiento de las mismas y su relación con el clima, o realizar productos cartográficos sobre la nueva distribución de las especies forestales del PNM en los escenarios proyectados. Sería una manera más descriptiva aunque menos cualitativa de identificar los cambios en su distribución, pero que se relacionaría muy bien con la cartografía climática realizada para este TFG, pudiendo saber con mucho detalle a qué condiciones climáticas quedarán expuestas y en qué contexto orográfico. O estudiar los cultivos, que han



sido ignorados en este trabajo, pero que cuentan con una estrecha relación con el clima, debido a que éste último puede producir impactos irreversibles sobre la agricultura, y lógicamente afectando a los recursos naturales pero también económicos.

Finalmente, este TFG cuenta con un objetivo intrínseco, o mejor dicho una expectativa creada a colación del conjunto del estudio, y es el de haber creado o fomentado una base metodológica para llevar a cabo una gran batería de trabajos dirigidos a sectores clave de la naturaleza ya sea por su biodiversidad o relación con la economía, con el fin de conservación y concienciación.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

Abdallah Ch. Jaafar H. 2019. Data set on current and future crop suitability under the Representative Concentration Pathway (RCP) 8.5 emission scenario for the major crops in the Levant, Tigris-Euphrates, and Nile Basins. Data in Brief, 22. 992-997.

Barredo Macías JM. 2016. Distribución actual y potencial de especies leñosas alimenticias en África para la formulación de estrategias de conservación.

Cuadrat JM. 2004. El clima de Aragón. Caja de ahorros de la inmaculada de Aragón. 112 pp.

Cuadrat JM. Saz MA. Vicente-serrano SM. 2007. Atlas climático de Aragón. Gobierno de Aragón. 229pp-

Derouane E. Lemos F. Corma A. Ribeiro Ramôa F. 1999. Combinatorial catalysis and high throughput catalyst design and testing. NATO science series. 560.

Eaton, E., Caudullo, G., Oliveira, S., de Rigo, D. 2016. Quercus robur and Quercus petraea in Europe: distribution, habitat, usage and threats

Fick S. Hijmans R. 2017. WorldClim2: new 1-km spatial resolution climate surfaces for global land areas. International journal of climatology, 37. 4302-15.

Gil Olcina A. Olcina, J. 2017. Tratado de Climatología. Servicio de publicaciones de la Universidad de Alicante. Alicante. 952 pp.

Guerrero N. Caudullo G. De Rigo D. 2016. Ilex aquifolium in Europe: distribution, habitat, usage and threats

Ibarra P. Echeverría MT. Martínez J. 2003. El agua en los bosques del Moncayo. 53 pp.

IPCC, 2013: *Climate Change 2013: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Stocker, T.F., D. Qin, G.-K. Plattner, M. Tignor, S.K. Allen, J. Boschung, A. Nauels, Y. Xia, V. Bex and P.M. Midgley (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 1535 pp, doi:10.1017/CBO9781107415324

Longares LA. 2004. El paisaje vegetal en el sector aragonés del Moncayo. Universidad de Zaragoza.

López Zúñiga I. Crespo del Arco E. 2010. Meteorología y climatología. Universidad nacional de educación a distancia.

Martínez Del Castillo E. 2013. Análisis multitemporal de la cubierta forestal del parque natural del Moncayo mediante teledetección e índices de ecología del paisaje. Publicaciones del consejo de protección de la naturaleza de Aragón. Zaragoza. 112 pp.

Mauri, A., Di Leo, M., de Rigo, D., Caudullo, G. 2016. Pinus halepensis and Pinus brutia in Europe: distribution, habitat, usage and threats.

Notivoli Serrano R. (AÑO). Reconstrucción climática instrumental de la precipitación diaria en España: Ensayo metodológico y aplicaciones. 135 pp.

O'Donnell, M.S., and Ignizio, D.A.. 2012. Bioclimatic predictors for supporting ecological applications in the conterminous United States. U.S. Geological Survey, 691.

Rodrigues PMS, Silva JO, Eisenlohr PV, y Schaefer CEGR. 2013. Climate change effects on the geographic distribution of specialist tree species of the Brazilian tropical dry forests.

Santillana M. 2015. GIS- based ecocrop modelling to assess potencial climate change effects on Sago palen suitability distribution. 36th Asian Conference on Remote Sensing. 1. 91-97.

Valle Martínez A. 2012. Determinación de las zonas de distribución de cacao en las condiciones climáticas presentes y futuras en Nicaragua mediante maxent.

Varela S. Terrigible L. De Oliveira G. Diniz-filho J. González-hernández J, Lima-robeire M. 2015. ecoClimate vs. Worldclim: variables climáticas SIG para trabajar en biogeografía. Ecosistemas, 24. 88-92.

Vose R. Easterling D. Gleason B. 2005. Maximun and minimun temperatura trends for the globe: an update through 2004. Geophysical research letters. 32.

Xie He, Burguess K, Lian-Ming-Gao, De-Zhu Li. 2019. Distributional responses to climate change for alpine species of *Cyananthus* and *Primula* endemic to the Himalaya-Hengduan Mountains. Plant Diversity ,41. 26-32.

Ximenes A. Maeda E. Arcoverde G. Dahdouh F. 2016. Spatial Assessment of the Bioclimatic and Environmental Factors Driving Mangrove Tree Species' Distribution along the Brazilian Coastline. Remote sensing, 451.

#### **PÁGINAS WEB UTILIZADAS:**

European forest genetic resource programa (en línea):

<http://www.euforgen.org/> (Consulta: Julio 2019)

Especies forestales de España. Caracteres culturales:

<https://especiesforestales.com/index.html> (Consulta: Julio 2019)

Global Climate Data [en línea]:

< <http://www.worldclim.org/> > (Consulta: mayo de 2016)

