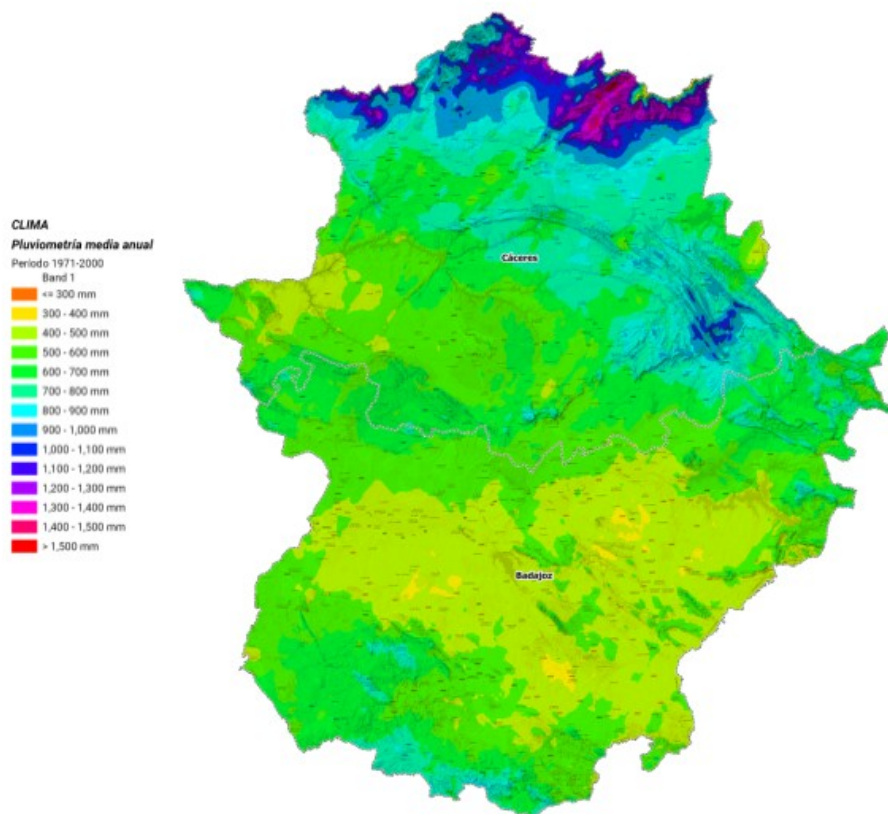


**IDENTIFICACIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE LOS SUELOS DE INTERÉS AGRÍCOLA EN
EXTREMADURA: Fase 1 - Tarea 3.1: Información Climática**



Octubre de 2022

Realizado por Predictia Intelligent Data Solutions S.L. (<https://predictia.es/>)

Coordinado por Daniel San Martín-Segura

(daniel@predictia.es, Teléfono: +34 942 76 44 10)



Tabla de Contenidos

1. Introducción y antecedentes del estudio.....	3
2. Desarrollo del Clima Base de Alta Resolución (1 km).....	4
2.1. Selección de la base de datos de observaciones.....	5
2.2. Modelo Orográfico.....	7
2.3. Modelos de Regresión e Interpolación.....	8
2.4. Productos Generados.....	10
3. Conclusiones.....	11
4. Referencias.....	12

1. Introducción y antecedentes del estudio

Esta propuesta se ajusta a los objetivos, de ámbito nacional, perseguidos por el grupo INTERVEGAS. Esos objetivos se recogen en el documento fundacional elaborado en Granada (2015) bajo el título “Pacto Estatal por la Soberanía Alimentaria, la Educación Ambiental y la Sostenibilidad del Territorio. Estrategia 2015-2030”.

En líneas generales, los objetivos del Pacto buscan la protección de los llamados Territorios Agrarios Históricos (TAH), la dinamización de la actividad agraria, el reconocimiento del papel de los agricultores y agricultoras, y la incorporación de los productos de los TAH en circuitos cortos de consumo, distribución y comercialización.

El grupo INTERVEGAS está tratando de consensuar una nueva Ley estatal para la protección de los llamados Suelos de Alto Valor Ecológico (SAVA), y ya ha conseguido numerosos apoyos en el Congreso de los Diputados; asimismo, se han adherido al Pacto Intervegas un buen número de instituciones (Ayuntamientos, Diputaciones, etc.)

Estos SAVA tienen máxima capacidad productiva y son, por eso, los de mayor valor agrícola del territorio; son irremplazables, y por tanto un patrimonio inalienable y estratégico de primer orden. Los SAVA son la base imprescindible del sector primario y, no obstante, están siendo destruidos paulatinamente por un desarrollo descontrolado, que no tiene en cuenta los principios más elementales de la Planificación Territorial y la Ordenación del Territorio.

El objetivo concreto de este proyecto es llevar a cabo una primera aproximación para identificar, caracterizar y cartografiar los SAVA de Extremadura, como paso previo para protegerlos y conservarlos. Para ello, deben ser consideradas las variables relevantes para realizar la caracterización planteada en el proyecto en el que se enmarca esta tarea. En particular, el objetivo de este trabajo es el desarrollo de una caracterización climática de alta resolución espacial (1 km²) para los diferentes periodos de referencia existentes actualmente que pueda ponerse en común con la cartografía de los suelos de alto valor agrícola a fin de garantizar su protección y sectorizar el territorio con una propuesta del potencial agroecológico del territorio.

Como ha sido reflejado en estudios anteriores (p.e. Bedia et al. 2013) las observaciones climáticas usadas como referencia en este tipo de estudios puede tener un gran impacto en los resultados obtenidos a partir de los modelos calibrados con ellas. Por este motivo, en diversas regiones (p.e. País Vasco, Cantabria o Asturias) una base de datos climática de alta resolución basada en redes observaciones de calidad contrastada ha sido desarrollada cubriendo tanto el área como el periodo histórico de interés. De este modo, dicha base de datos ha sido posteriormente utilizada como referencia por las comunidades de impactos para el desarrollo de sus estudios (ver Gutiérrez et al. 2010 para un ejemplo en Cantabria).

El presente informe describe la metodología usada para el desarrollo de la cartografía de las variables climáticas así como los productos generados y entregados junto con este documento.

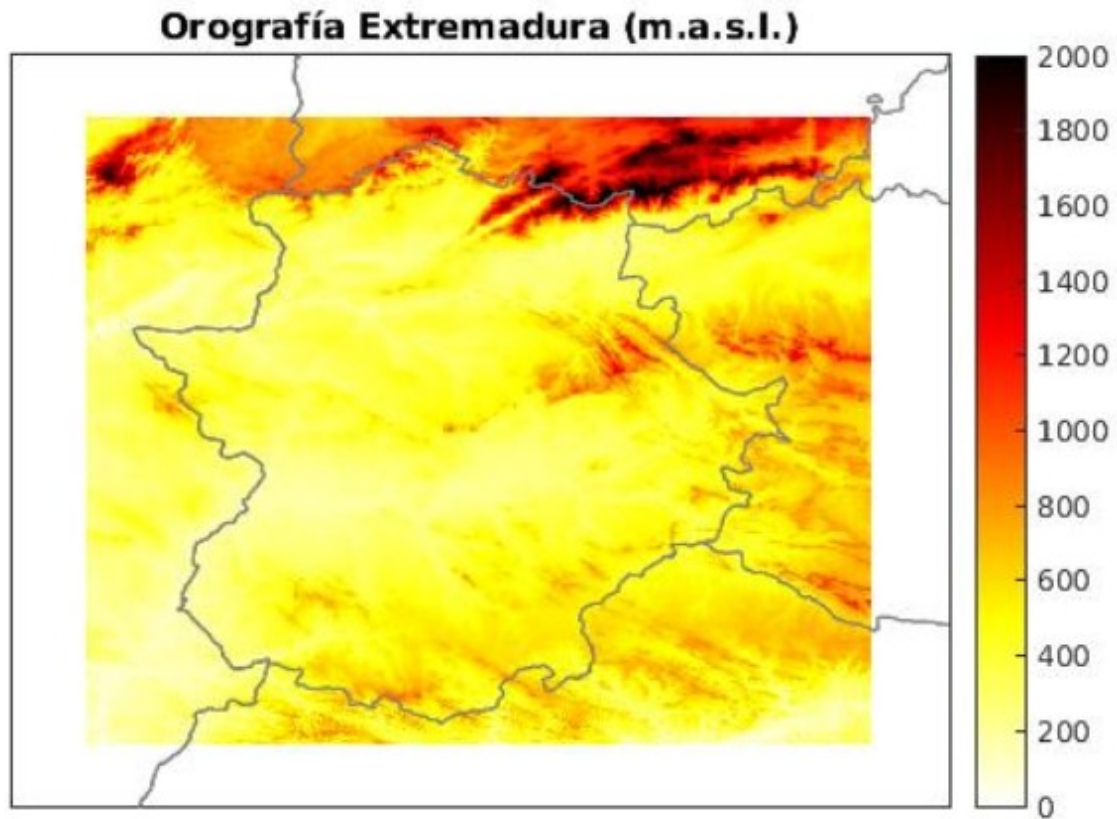


Figura 1. Orografía en el dominio geográfico sobre Extremadura. Los límites geográficos considerados son: longitud (-7.72, -4.31) y latitud (37.85, 40.58).

El presente informe se estructura con una breve introducción que defina el marco en el cual se ha desarrollado el presente trabajo y una sección (2) en la que se describe en detalle el desarrollo de la base de datos de alta resolución así como los productos generados como resultados de esta tarea. Finalmente, la sección 3 refleja los principales resultados y conclusiones obtenidos en el transcurso de la actividad mientras que el Anexo I refleja la red de estaciones solicitada a la Agencia Estatal de Meteorología para el desarrollo de la misma.

2. Desarrollo del Clima Base de Alta Resolución (1 km)

La primera tarea del presente proyecto consiste en el desarrollo de una base de datos termoplumiométricos de alta resolución (~ 1 km) para el periodo 1950-2021 a escala mensual y diaria para obtener las variables requeridas por la clasificación de Papadakis a partir de la red de observaciones disponibles en la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y, en el caso de Portugal, las estaciones disponibles en el portal European Climate Assessment and Dataset (ECA&D: <https://www.ecad.eu/>).

En el presente informe se describe tanto la red de estaciones consideradas como la metodología de interpolación con la cual se obtiene la base de datos climática que será utilizada en las fases posteriores del proyecto.

Estaciones consideradas de AEMET y ECA&D

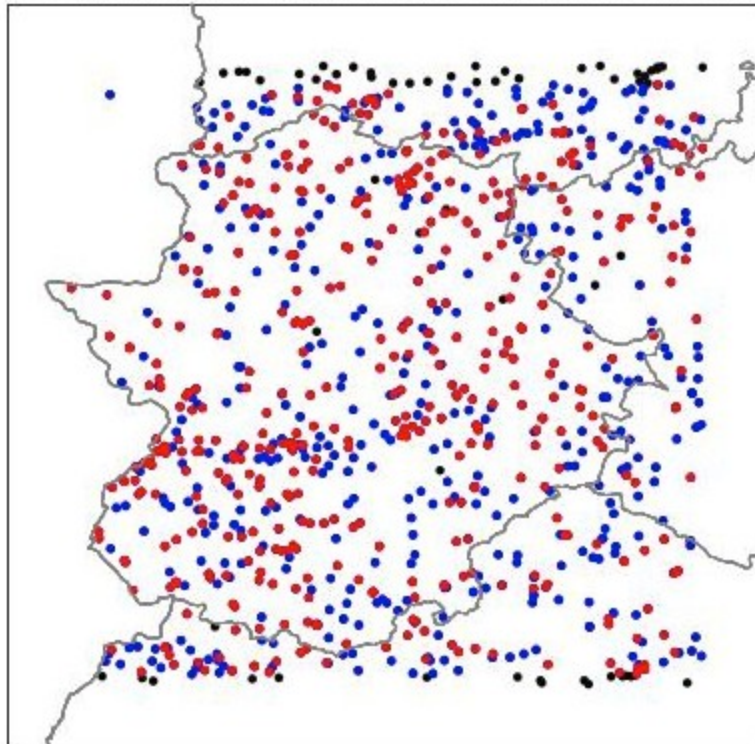


Figura 2. Red Termopluviométrica de AEMET y ECA&D consideradas en el presente estudio sobre el dominio de interés. En negro están todas las estaciones (968), en azul se muestran las de precipitación (908) y en rojo las de temperatura (474).

2.1. Selección de la base de datos de observaciones

En un primer paso se identificaron y solicitaron a AEMET los datos de precipitación y temperatura correspondientes a las estaciones incluidas en el dominio geográfico reflejado en la figura 1, el cual cubre tanto el área de interés (Extremadura) como parte de las Comunidades Autónomas limítrofes para definir adecuadamente la climatología en las fronteras de la CCAA. Al compartir frontera con Portugal, cuyos datos no son recogidos por AEMET, se han descargado los datos de Portugal para el mismo periodo y variables disponibles en el portal European Climate Assessment and Dataset, si bien la densidad es muy limitada, como se aprecia en la figura 2. Como resultado se obtuvieron datos de precipitación y temperatura en el periodo 1950-2021 de 968 estaciones (figura 2) para su posterior procesado y utilización en el proceso de interpolación.

Dada la naturaleza de las redes observacionales, antes de la aplicación de cualquier análisis y/o proceso de interpolación es necesario realizar un exhaustivo control de calidad el cual permita filtrar estaciones y/o registros problemáticos. En particular, cuatro aspectos han sido explícitamente considerados para la selección de la base de datos observacional final:

- **Detección de valores anómalos:** Inicialmente se detectaron valores anormalmente altos o bajos, según superasen el percentil 75 (25) tres veces el rango intercuartílico.

En el caso de la precipitación, al ser una variable acotada inferiormente, se definieron como cota superior 4 veces el percentil 90 de los días de lluvia y como cota inferior el 0.

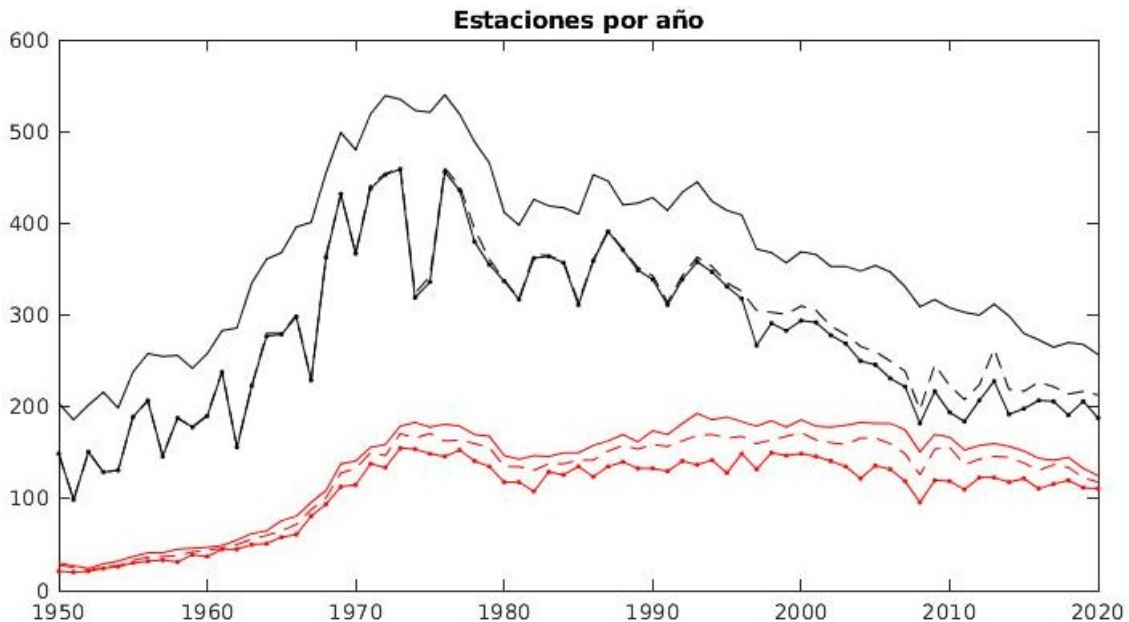


Figura 3. Número de estaciones por año de precipitación (negro) y temperaturas (rojo) con el 75% (-), 90% (--) y 95% (-.) de los datos para ese año.

- **Lagunas:** Se identificaron aquellas series con un número mínimo de años representativos (ver figura 3), siendo éstos definidos como aquellos con al menos un 80% de los datos. En particular, se consideraron los umbrales de 15 y 35 años para precipitación y temperatura, respectivamente, ya que la precipitación presenta series más cortas, requiere de una mayor cobertura espacial para representar adecuadamente su dependencia con la distancia y las variables orográficas, y sus tendencias son menos significativas estadísticamente que las observadas para temperatura.
- **Homogeneidad:** Finalmente, se analizó la homogeneidad absoluta y relativa de las series anuales a través de tests de hipótesis, eliminando aquellas series no homogéneas con una confianza del 95%. En el caso de la homogeneidad relativa se utilizaron como referencia el conjunto de estaciones de alta calidad utilizadas para la construcción de la base de datos Iberia01 (Herrera et al. 2019).
- **Consistencia física:** Dado que las variables de temperatura están físicamente relacionadas, se eliminaron de la base de datos aquellos valores para los que no se daba una coherencia física entre ellas o no existía alguna de las variables. De este modo aseguramos la coherencia física de las variables de temperatura en la base de datos de referencia.

En base a los criterios anteriores, de la red inicial mostrada en la figura 2 se obtuvieron las redes de observaciones mostradas en las figura 4, con las cuales se realizará la interpolación. Notar que la base de datos observacionales consideradas contienen registros diarios (la resolución original) de modo que los outliers y lagunas hacen referencia al dato diario, mientras que la consistencia física se ha establecido tanto a escala diaria como mensual, siendo esta última la resolución temporal objetivo del presente proyecto.

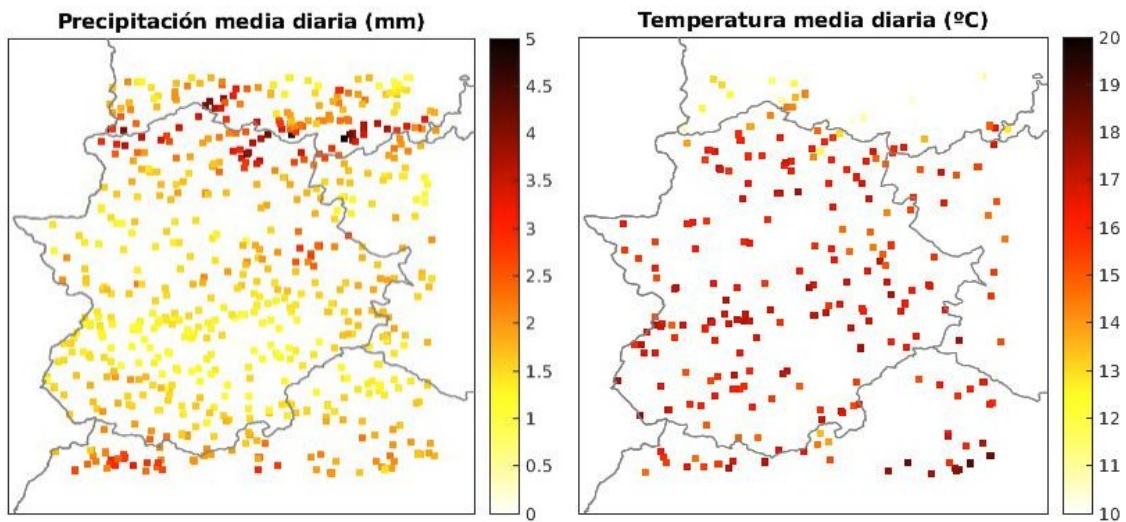


Figura 4. Red de estaciones consideradas para precipitación (625) y temperatura (250).

2.2. Modelo Orográfico

Para alcanzar la resolución objetivo (1km) con la red de observaciones seleccionada es necesaria la inclusión de variables orográficas para la elaboración de la base de datos climática de alta resolución. En este estudio se han considerado las siguientes variables derivadas del modelo orográfico de 30" de resolución espacial (~1km), GTOPO30¹:

Orografía: Se considera un modelo de regresión polinomial de tercer grado:

$$P_{orog}(orog) = a_3 * orog^3 + a_2 * orog^2 + a_1 * orog + a_0$$

Continentalidad (distancia a costa): Se considera la distancia de cada punto a la costa mediante un modelo de regresión polinomial de tercer grado:

$$P_{cont}(cont) = b_3 * cont^3 + b_2 * cont^2 + b_1 * cont + b_0$$

Curvatura: Se considera la curvatura global de cada punto como resultado de las curvaturas longitudinal y latitudinal.

Bloqueos y Exposiciones: Se consideran los bloqueos orográficos, definidos como la existencia de una zona más alta en una dirección o sector, y las exposiciones de cada punto de grid, así

¹ <https://lta.cr.usgs.gov/GTOPO30>

como la distancia a dichos bloqueos. Para la definición de los bloqueos se considera una rosa de vientos de ocho sectores (N,NW,W,SW,S,SE,E y NE).

De este modo, tenemos un conjunto de 24 variables con el cual definiremos el modelo de regresión mediante un proceso tipo “stepwise”, en el que en cada paso se introduce la co-variable que minimiza el residuo del modelo resultante.

2.3. Modelos de Regresión e Interpolación

Una vez realizada la selección de la base de datos y definidas las co-variables a utilizar en el modelo de regresión, debemos seleccionar un método de interpolación que se adecúe a los problemas que presentan las variables a interpolar, la resolución de la rejilla y la introducción de co-variables.

Tras revisar el estado del arte en este campo, se concluyó que la familia de métodos que mejor se adaptan a los problemas planteados es la familia de métodos geoestadísticos de Kriging (Krige, 1951). Estos métodos han sido aplicados para variables climáticas en un gran número de estudios (Herrera et al. 2012, 2016, Haylock et al. 2008, Biau et al, 1999, Atkinson and Lloyd, 1998, etc.) e incluyen un gran abanico de variantes para adaptar la metodología a la interpolación de variables indicador, la introducción de co-variables, etc. En el presente estudio se ha considerado el método de Kriging Ordinario ya que la dependencia con el modelo digital de elevación se obtendrá a partir del modelo de regresión antes descrito. Dicho método, se fundamenta en la modelización de la dependencia espacial de la variable a través de los [semi-variogramas empírico y modelo](#)

$$Y(h) = \frac{1}{2N(h)} \sum_{\|x_i - x_j\|=h}^{N(h)} (y(x_i) - y(x_j))^2$$

tras lo cual los pesos w_i del método

$$y_{ok}(x) = \sum_{i=1}^k w_i y(x_i)$$

se obtienen resolviendo el siguiente sistema de ecuaciones:

$$-\sum_{i=1}^k w_i y(\|x_i - x_j\|) + \mu = -y(\|x - x_j\|)$$

$$\sum_{i=1}^k w_i = 1$$

De este modo, para alcanzar la resolución final, la interpolación se ha dividido en las siguientes etapas, siguiendo la metodología propuesta en Bedia et al. 2013 y Gutiérrez et al. 2010:

1) En primer lugar se aproxima el valor mensual de la variable (precipitación, temperatura máxima o temperatura mínima) con el modelo de regresión, introduciendo en éste las co-variables seleccionadas anteriormente.

2) En segundo lugar se calcula el valor mensual asociado a cada punto de rejilla (MonthlyValue_{reg}) y el residuo o error cometido por el modelo (Err), utilizando los coeficientes obtenidos con el modelo de regresión.

3) A continuación se interpola con el método de Kriging el residuo mensual del modelo de regresión (Err) a los puntos del grid, corrigiendo de ese modo el valor mensual asignado por el modelo ($\text{MonthlyValue}_{ok} = \text{MonthlyValue}_{reg} + \text{Err}_{ok}$).

4) Finalmente, la anomalía diaria se interpola con un método de Kriging Ordinario el cual se añade aditiva (temperaturas) o multiplicativamente (precipitación) al dato mensual, obteniendo el dato final interpolado sobre la rejilla final de 1km x 1km de resolución a escala diaria.

El proceso anterior da lugar a una base de datos mensual y otra diaria de precipitación y temperaturas representativos del promedio areal de la celda de 1km x 1km. La figura 5 muestra las climatologías interpoladas para precipitación y temperatura media para el periodo de referencia mas reciente de entre los disponibles, entre 1991-2020.

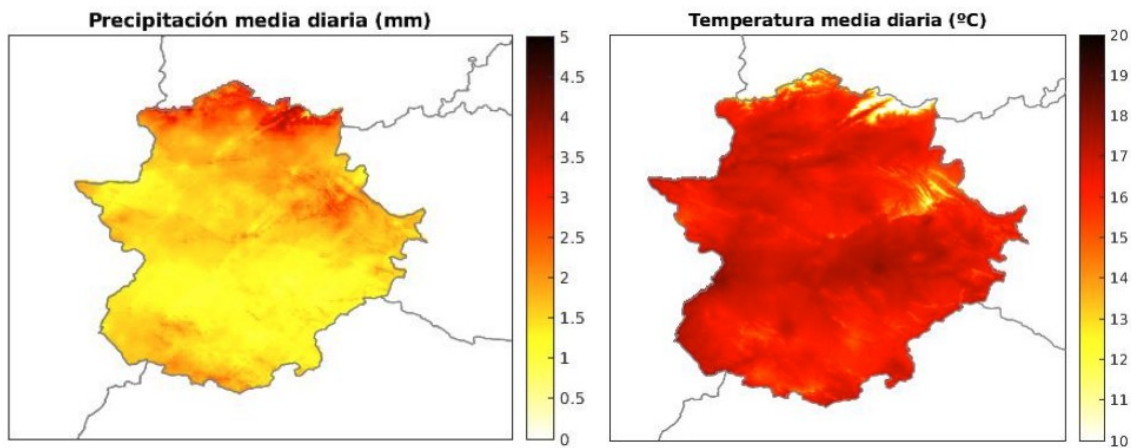


Figura 5. Climatología de precipitación y temperatura para el periodo 1991-2020.

La base de datos generada recoge, a la vista de las figuras anteriores, tanto el patrón espacial como la intensidad de las variables mensuales consideradas en el presente proyecto. De este modo suponen una base de referencia apropiada para el resto de tareas del proyecto.

Dicho resultado se observa también en la figura 6 en la que se enfrentan los valores climatológicos observados e interpolados para las cuatro variables principales: precipitación mensual, temperatura media, máxima y mínima mensual. Como se muestra en dicha figura, los valores interpolados se corresponden con los observados en todo el rango de valores, no únicamente en la parte central, a pesar de los errores o incertidumbres esperados en cualquier modelización.

Esta correspondencia se extiende al ámbito temporal en el cual la correspondencia entre los promedios espaciales de los valores mensuales es casi perfecta entre las observaciones y los valores interpolados.

Figura 6. Correspondencia entre los valores climatológicos (1971-2020) para las estaciones consideradas en el proceso de interpolación para las cuatro variables mensuales.

Figura 7. Correspondencia temporal entre los promedios espaciales de las observaciones y los datos interpolados en los puntos más cercanos a dichas estaciones para las cuatro variables mensuales.

2.4. Productos Generados.

Dado el volumen de datos generados (329 latitudes x 411 longitudes x 12 meses/365 días x 70 años) y las necesidades del resto de tareas del proyecto se consideraron dos formatos de entrega de la base de datos de alta resolución generada.

En primer lugar, siguiendo las convenciones de la comunidad climática, los datos se almacenaron en el formato NetCDF (network Common Data Form²), conteniendo cada fichero los valores para una variable y un año. En el caso de los indicadores, se generará un NetCDF para cada indicador y periodo de referencia considerado.

Como ha sido reflejado anteriormente, los datos obtenidos serán utilizados como la información climática de entrada de otras herramientas GIS, la cual hace uso de otros formatos específicos estándares como el ESRI ASCII. De este modo, los indicadores específicos definidos para la obtención de la clasificación de Papadakis se han generado también en dicho formato.

Ambos formatos han sido facilitados para su utilización en el proceso de modelización. Del mismo modo, dichos formatos han sido establecidos como los estándares en el marco del proyecto para la información climática.

3. Conclusiones

A continuación trataremos de resumir las principales conclusiones obtenidas en el presente informe:

- Se ha solicitado, procesado y seleccionado en función de su calidad la base de datos observacional a partir de las observaciones recogidas por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para la elaboración de una climatología de alta resolución de precipitación y temperaturas diarias y mensuales sobre Extremadura.
- A partir de la base de datos seleccionada se ha obtenido una base de datos de alta resolución espacial (~ 1 km) para precipitación y temperaturas mensuales sobre la Comunidad Autónoma de Extremadura.
- La base de datos desarrollada será la base climática para la caracterización agroclimática de las áreas de interés definidas sobre Extremadura.
- Toda la información y datos generados durante el desarrollo del presente proyecto han sido transferidos a los socios del proyecto responsables de dicha caracterización.

² <https://www.unidata.ucar.edu/software/netcdf/docs/index.html>

4. Referencias

- AEMET (2011), Atlas Climático Ibérico, Agencia Estatal de Meteorología, Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino – Instituto de Meteorología de Portugal, ISBN: 978-84-7837-079-5.
- Atkinson P.M. y Lloyd C.D. (1998), Mapping precipitation in Switzerland with ordinary and indicator kriging, *J. Geogr. Inf. Decis. Anal.*, 2, 65–76
- Biau G., Zorita E., von Storch H. y Wackernagel H. (1999). Estimation of precipitation by kriging in the EOF space of the sea level pressure field. *J. Climate*, 12, 1070–1085.
- Christensen, J. H., T. R. Carter, M. Rummukainen, and G. Amanatidis (2007), Evaluating the performance and utility of regional climate models: The PRUDENCE project, *Clim. Change*, 81, 1–6, doi:10.1007/s10584-006-9211-6.
- Christensen, J.H., B. Hewitson, A. Busuioc, A. Chen, X. Gao, I. Held, R. Jones, R.K. Kolli, W.-T. Kwon, R. Laprise, V. Magaña Rueda, L. Mearns, C.G. Menéndez, J. Räisänen, A. Rinke, A. Sarr and P. Whetton (2007): Regional Climate Projections. In: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change* [Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.)]. Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA.
- Giorgi F., Jones C. y Asrar G. (2009), Addressing climate information needs at the regional level: the CORDEX framework. *WMO Bulletin* 58(3), 175-183.
- Gutiérrez, J. M., et al., 2010: Escenarios Regionales Probabilísticos de cambio climático en Cantabria: Termoplumiometría. Gobierno de Cantabria-Consejería de Medio Ambiente y Universidad de Cantabria, Santander, Spain, URL <http://www.meteo.unican.es/projects/escenariosCantabria>
- Haylock M, Hofstra N, Klein-Tank A, Klok EJ, Jones P y New M. (2008). A European daily high-resolution gridded data set of surface temperature and precipitation for 1950–2006. *J. Geophys. Res.*, 113, D20119, doi: 10.1029/2008JD010201
- Herrera, S. (2011) Desarrollo, validación y aplicaciones de Spain02: Una rejilla de alta resolución de observaciones interpoladas para precipitación y temperatura en España. PhD thesis, Universidad de Cantabria, Cantabria, España. <http://www.meteo.unican.es/tesis/herrera>
- Herrera S., Gutiérrez J.M., Ancell R., Pons M.R., Frías M.D. y Fernández, J. (2012) Development and analysis of a 50-year high-resolution daily gridded precipitation dataset over Spain (Spain02). *Int. J. Climatology*, 32, 74-85, doi: 10.1002/joc.2256.
- Herrera S., Fernández, J. y Gutiérrez J.M. (2016) Update of the Spain02 Gridded Observational Dataset for Euro-CORDEX evaluation: Assessing the Effect of the Interpolation Methodology. *Int. J. Climatology*, 36, 900-908, doi: 10.1002/joc.4391

Krige D.G. (1951) A statistical approach to some basic mine valuation problems on the witwatersrand. J. Chem. Metallurg. Mining Soc. S. Afr., 52 (6), 119-139.

van der Linden, P. and Mitchell, J.F.B. (2009). ENSEMBLES: Climate change and its impacts: Summary of research and results from the ENSEMBLES project. Met Office Hadley Centre, FitzRoy Road, Exeter EX1 3PB, UK. 160pp.