

NUEVA BASE DE DATOS DE PRECIPITACIONES Y TEMPERATURAS PARA EXTREMADURA EN EL PERIODO (1989-2018)

Virginia ALBERDI¹, Francisco J. MORAL¹, Francisco J. REBOLLO³, Luis L. PANIAGUA², Abelardo GARCÍA-MARTÍN², Cristina AGUIRADO¹, Fulgencio HONORIO²

*1 Departamento de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Industriales,
Universidad de Extremadura.*

*2 Departamento de Ingeniería del Medio Agronómico y Forestal. Escuela de
Ingenierías Agrarias, Universidad de Extremadura.*

*3 Departamento de Expresión Gráfica, Escuela de Ingenierías Agrarias,
Universidad de Extremadura.*

virginiaan@unex.es

RESUMEN

Se ha elaborado una nueva base de datos de precipitaciones medias mensuales y temperaturas máximas y mínimas medias mensuales, con la que se han analizado los datos de 142 estaciones meteorológicas obtenidos de la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) para el periodo (1989-2018). En este estudio se presentan los resultados de diferentes pruebas de homogeneización y relleno de 134, 172 y 176 series de temperaturas y precipitaciones provenientes de las estaciones ubicadas en la región de Extremadura. Para ello, se realizó un primer control de calidad de los datos cumpliendo con los requisitos de la Organización Meteorológica Mundial (OMM) y las recomendaciones indicadas por el Real Instituto Meteorológico de los Países Bajos (KNMI). Posteriormente se llevó a cabo la homogeneización de las series utilizando el software Climatol, en el que se han implementado diferentes funciones que permiten depurar los datos a través de un análisis de los valores atípicos y de la homogeneidad, así como la completación de las lagunas de las series. Los análisis confirman la obtención de unos niveles de depuración de los datos muy altos, confiables y de buena calidad; obteniendo así una nueva base de datos para posteriores estudios climáticos.

Palabras clave: base de datos, homogeneización, climatol, cambio climático.

ABSTRACT

A new database of monthly average rainfall and monthly average maximum and minimum temperatures has been developed, with which data from 142 weather stations obtained from the Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) for the period (1989-2018) have been analysed. This study presents the results of different homogenisation and backfilling tests of 134, 172 and 176 temperature and precipitation series from stations located in the region of Extremadura. For this purpose, a first quality control of the data was carried out in compliance with the requirements of the World Meteorological Organisation (WMO) and the

recommendations indicated by the Royal Netherlands Meteorological Institute (KNMI). Subsequently, the series were homogenised using Climatol software, in which different functions have been implemented to clean the data through an analysis of outliers and homogeneity, as well as filling in the gaps in the series. The analyses confirm the achievement of very high, reliable and good quality data cleaning levels, thus obtaining a new database for further climate studies.

Key words: database, homogenisation, climatol, climate change.

1. INTRODUCCIÓN

La detección del cambio climático y el análisis de la variabilidad del clima, además de los fenómenos extremos a escala regional se realizan principalmente sobre la base de un análisis estadístico de variables meteorológicas como las precipitaciones y las temperaturas en un periodo de tiempo (Alexander et al., 2006; Klein Tank et al., 2009; Hartmann et al., 2013). Sin embargo para extraer conclusiones fiables y precisas, resulta necesario realizar controles de calidad a los datos y realizar la homogeneización detectando inhomogeneidades (Trewin, 2018).

La mayor parte de las series de datos climáticos están afectadas por una serie de factores que no están relacionados con el clima y que hacen que estos datos no sean representativos a lo largo del tiempo. Entre ellos estarían las prácticas de observación, la ubicación de las estaciones y el entorno de las estaciones, entre otros (Aguilar E., 2003). Estos factores pueden causar discontinuidades bruscas e inhomogeneidades que pueden sesgar de forma gradual los datos, además de conducir a interpretaciones erróneas sobre el clima estudiado. Se han desarrollado diferentes formas para detectar in-homogeneidades de series diarias (Peterson et al., 1998; Ducré-Robitaille et al., 2003), pero la mayor parte de estos métodos de detección se han aplicado sobre series anuales o mensuales (Della-Marta et al., 2006). Por lo general este procedimiento permite aumentar la coherencia de las series de variables climáticas homogeneizadas (Yosef et al., 2018; Skrynyk et al., 2019; Fioravanti et al., 2019; Dumitrescu et al., 2020). En recientes estudios se ha utilizado el procedimiento Standard Normal Homogeneity Test (SNHT) para temperaturas máximas y mínimas para detectar puntos de ruptura en series mensuales (Brunet et al. 2006; Ponce-Cruz R. et al. 2019) y para series diarias de datos (Hernández E.M. et al 2012). En este trabajo se plantea la aplicación del método SNHT a las temperaturas máximas y mínimas mensuales procedentes de una red compuesta por 142 estaciones ubicadas en la Región de Extremadura (España). Este test ha dado buenos resultados (Guijarro et al 2011) como indican varios autores. El objetivo general de este estudio consiste en presentar una nueva base de datos actualizada, homogeneizada y con el control de calidad realizado para su posterior uso. La región de Extremadura se caracteriza por una gran variedad de ecosistemas junto a una diversidad topográfica que se extiende sobre un territorio que abarca 41.633 km². Extremadura está considerada como uno de los enclaves ecológicos más importantes de Europa y muestra un gran contraste, con amplias zonas agrícolas y forestales (Moral, Rebollo et al. 2019; Blanco J. et al. 2020). Está

situada como indica la Figura 1 en el suroeste de España, en la frontera con Portugal (latitud entre 37°57 y 40°29 N, longitud entre 4°39 y 7°33 W).

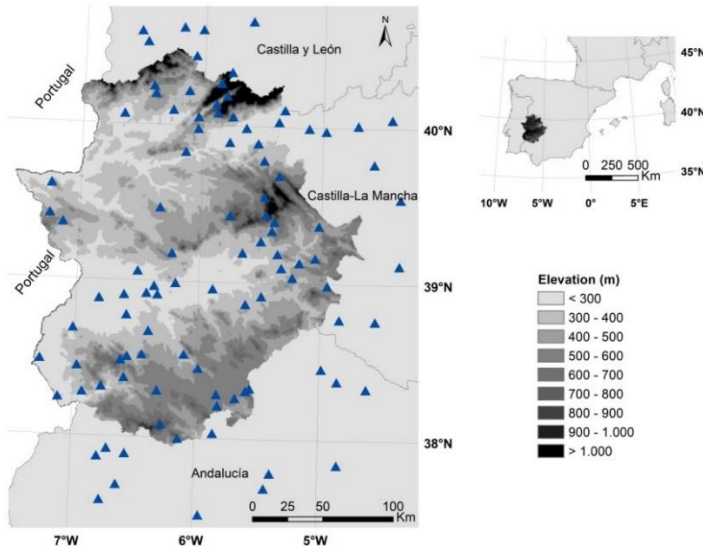


Fig. 1: Modelo digital de elevaciones y distribución de las estaciones climáticas de Extremadura (España). Fuente. Elaboración propia.

2. MÉTODOS

2.1. Control de calidad de los datos.

De la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) se obtuvieron los datos diarios de precipitaciones (R_r), temperaturas medias mínimas (T_n) y temperaturas medias máximas (T_x) registrados durante el período 1989-2018 para las 142 estaciones meteorológicas. En el tratamiento de los datos se realizó en primer lugar una selección de aquellas estaciones que cumpliesen con lo recomendado por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2011), cumpliendo así con su longitud de datos, e integridad como se indica en la figura 2. Este tratamiento consistió en verificar si el valor de un dato observado es representativo de la medición y no se ha visto afectado por valores no relacionados con el mismo, también se detectaron aquellas series que contenían menos del 5% de los datos para cada una de las variables (R_r , T_n , T_x), y fueron eliminadas. En segundo lugar mediante una serie de pruebas a los datos se detectaron errores y valores faltantes. Para ello se aplicaron las recomendaciones indicadas por el Real Instituto Meteorológico de los Países Bajos (KNMI) (ECA&D 2013), las pruebas aplicadas fueron las siguientes:

1) Persistencia de las series, la técnica de rango intercuartílico (IQR) empleada para identificar los potenciales valores atípicos en los datos mensuales. Estos son todas aquellas medidas por encima de la media mayores que el tercer cuartil (Q3) más tres veces el recorrido intercuartílico (distancia entre el tercer y primer cuartil; $Q3-Q1$) considerando todos los datos diarios de las series (Trenberth et al, 1980; Peterson et

al, 1998; De Luque Söllheim et al, 2011). Todos los valores de Rr, Tx y Tn que quedan fuera del rango definido por el $Q1 - 3IQR$ y $Q3 + 3IQR$ son considerados como valores atípicos. Este método tiene la ventaja de que la detección de valores atípicos basados en percentiles no se ve afectada por la presencia de valores atípicos más grandes (Piticar et al., 2018).

2) Coherencia espacial, trata de la detección de valores extremos u erróneos, para ello se realizaron varias pruebas. Eliminar aquellos datos en los que $Tx > 50^{\circ}C$ y las $Tx < Tn$. Identificar la diferencia de temperatura entre dos valores consecutivos iguales o superiores a $20^{\circ}C$, o también cuatro o más valores consecutivos iguales. Y eliminar valores de las Tn y de Tx superiores a $> 4dz$ (desviación estándar) y en el caso de las Rr $> 5dz$. Una vez realizado el control de calidad previo de los datos se generó una base de datos inicial que fue sometida al proceso de homogeneización.

2.2. Proceso de homogeneización de las series.

La homogeneización de los datos fue llevada a cabo por la versión 3.1.2. de Climatol (Guijarro, 2018). El paquete de R Climatol contiene funciones que permiten realizar una depuración de los datos mediante un análisis de outliers, y de homogeneidad así como en rellenar los datos ausentes mediante estimaciones calculadas de las series más próximas (Alfaro et al., 2009) en las Rr, Tn y Tx. Para su inicio, Climatol necesita un conjunto de parámetros que deben ajustarse en relación a las particularidades de la base de datos inicial, relacionados con la variable climática, la densidad de estaciones y la escala temporal (Hernández et al., 2012). Como podemos observar en la Figura 2. El procedimiento es el siguiente:

Preparación de los ficheros de entrada.

En Climatol fueron introducidos dos ficheros de entrada, uno con la lista de coordenadas, código y nombres de las estaciones, y otro con los datos en orden cronológico desde la primera estación hasta la última estación (Guijarro, 2011). Un total de 142 situadas en Extremadura (Badajoz, 48; Cáceres, 44) y provincias vecinas (Salamanca, 10; Toledo, 10; Ciudad Real, 9; Córdoba, 7; Sevilla, 6 y Huelva, 8) como se muestra en la Figura 1.

Homogeneización de las series mensuales.

Para iniciar la función de homogeneización de Climatol (*homogen*), y su aplicación fue necesario la introducción de tres parámetros: el acrónimo de la variable, y los años inicial y final del periodo de estudio: *homogen* ('Ttest', 1989, 2019). Esta función se puede aplicar a datos diarios y mensuales. Los umbrales establecidos en el test de homogeneidad fueron para Rr un SNHT > 25 ; y para Tx y Tn un SNHT > 70 . Se trató de unos valores bastante restrictivos con la finalidad de detectar las rupturas con mayor detalle (Khaliq et al., 2007). Además de los umbrales establecidos para rechazar los datos anómalos para Rr de $9dz_{max}$ (desviación típica) y para Tx y Tn $8 dz_{max}$. Climatol realiza el proceso de homogeneización mediante la creación de series de referencia, construidas a partir de la media ponderada de las estaciones vecinas en el punto donde se localiza cada estación (Figura 2), para realizar la ponderación se utiliza el criterio de la distancia *wd* (distancia ponderada). Una vez construidas las series de referencia (Guijarro, 2011) se calculan las series de anomalías, que son el resultado de comparar los datos normalizados de las estaciones originales y la serie de referencia construida. Los siguientes pasos son:

1) A las series de anomalías se les aplica un análisis de outliers, eliminándose aquellos registros de los datos originales que superan un determinado umbral de desviación estándar, fijado previamente ($Rr.dz.max > 9$; $Tn.dz.max > 8$; $Tx.dz.max > 8$). En este caso se tomó un umbral alto para poder realizar la corrección de muchos valores durante el proceso iterativo (De Luque Söllheim A.L. et al. 2011).

2) A continuación se procede a detectar las inhomogeneidades presentes en las series de anomalías, aplicando el Test SNHT (Alexandersson, 1986), que sirve para detectar saltos en los valores medios y la eliminación de las denominadas inhomogeneidades de los datos para aproximar lo más posible a la realidad (Mamara, 2014; Prohom, 2016; Osadchyi, 2018; Yosef, 2018; Skrynyk 2019; Dumitrescu, 2020).



Fig. 2: Diagrama de Flujo de la metodología utilizada. *wd* (distancia ponderada) peso otorgado a las estaciones vecinas para su ponderación en la creación de series de referencia; *dz.max* umbral de desviación estándar en el análisis de outliers; *snht* umbral de rechazo de test de homogeneidad cuando se aplica a todo el periodo; *swa* tamaño de la ventana cuando se realiza el test de homogeneidad por ventanas solapadas.

La aplicación del Test SNHT se realiza en varias etapas. La etapa 1 consiste en la detección de inhomogeneidades mediante su aplicación a ventanas escalonadas superpuestas. En esta etapa la serie se divide por el punto máximo SNHT, denominado punto de ruptura, este es el umbral superior preestablecido (Azorín-Molina et al., 2016) y se produce la división de la serie inicial en dos nuevas series independientes, una previa y otra posterior al punto de ruptura, con las mismas coordenadas pero incluyendo un sufijo al código y nombre a la estación. En la etapa 2 se aplica el Test SNHT a las series completas y es cuando la prueba tiene mayor eficacia en la detección de puntos de ruptura (Toreti et al., 2010). Se pueden detectar puntos de ruptura más pequeños que pueden haber pasado inadvertidos en la etapa anterior.

Finalmente, en la etapa 3 como viene indicado en el diagrama de flujo de la Figura 2 se procede a rellenar todos los datos ausentes en todas las series y sub-series homogéneas con los datos ponderados de estaciones cercanas y homogéneas (Azorín-Molina et al., 2019).

Ajuste de las series diarias con puntos de ruptura mensuales

En este apartado se realiza el ajuste de las series diarias empleando los puntos de ruptura mensuales detectados en el proceso anterior. Se realizó la reconstrucción de las series diarias aplicando nuevamente *homogen* en su Etapa 3, de esta forma se omitieron las dos etapas de detección y división de las series, pasando directamente a la etapa de reconstrucción de todas las series a partir de sus subperiodos homogéneos y realizando el relleno de las series.

Obtención de las series de datos homogeneizada

Una vez realizado todo el proceso de homogeneización obtuvimos un archivo binario, con todos los resultados del proceso, en el que se incluyen todas estas operaciones con los datos corregidos y rellenados de todas las series resultantes, y un fichero de texto, con una relación de las correcciones efectuadas y los niveles de significación de las pruebas de homogeneidad. El análisis de todos los resultados lleva a la elección de los puntos de ruptura adecuados de todos los subperiodos homogeneizados y a la obtención de la nueva base de datos completa y homogeneizada.

3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

3.1. Verificación de los datos

Los primeros resultados analizados hacen referencia a la fiabilidad de la homogeneización, como se indica en la figura 3, cuanto más altas son las correlaciones existe una mayor fiabilidad en la homogeneización y el relleno de los datos ausentes (Guijarro, 2011). Las correlaciones más altas las podemos observar en las R_r que varían entre 0,7 y el 0,9 para el 90% de las estaciones, en este caso el relleno de datos resultó muy fiable con un RMSE del 0,56%. La figura 3 nos muestra donde las correlaciones son más altas corresponden a estaciones próximas, y en el caso de correlaciones más bajas corresponden a estaciones más distantes. En el caso de T_n (b) y T_x (c) los coeficientes de correlación se muestran más dispersos T_n entre 0.4 y 0.9 para el 90% de las estaciones con un RMSE del 0,82% y T_x entre 0.6 y 0.9 con un RMSE 0,77%. La causa de esta variabilidad está relacionada con la diversidad topográfica de Extremadura. Esta diversidad topográfica se puede observar en la Figura 3 con el conglomerado de las series en diferentes clusters. Estos clusters representan grupos de estaciones con variabilidad similar, cada grupo está incluido en un cluster, en el caso de las R_r (a) se han determinado 8 clusters, para las T_n (b) 9 clusters y para las T_x (c) 5 clusters. En los tres casos los grupos de variabilidad similar se ubican en distintas zonas, esto quiere decir que Extremadura cuenta con una topografía compleja, tan solo encontramos una menor densidad de estaciones por la comarca de Valencia de Alcántara y la Serena.

También el criterio de wd (distancia ponderada) presentó buenos resultados, indicando que la selección de las estaciones estudiadas cuenta con la densidad suficiente, y como hemos comprobado en la Figura 3, es en las T_n donde existe una mayor diversidad. También hemos comprobado como todas las correlaciones son positivas,

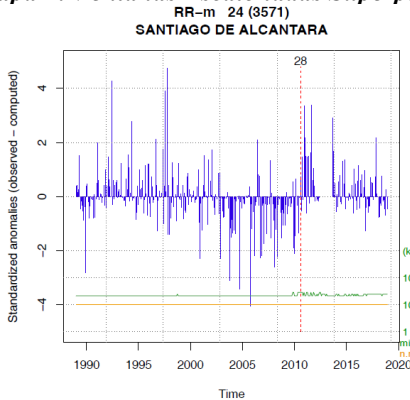
esto nos indica que no existen regímenes de precipitaciones opuestos ni diferencias climáticas en los relieves montañosos del Norte de Extremadura (Guijarro, 2018).

3.2. Resultados de las anomalías estandarizadas

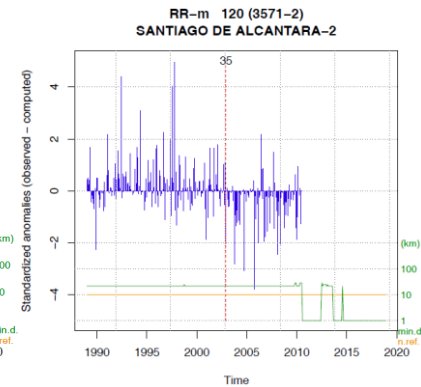
Los resultados de aplicar el Standard Normal Homogeneity Test (SNHT), proporcionan tres histogramas diferentes que se corresponden con las tres etapas para la detección de inhomogeneidades (Azorín-Molina et al 2019).

La aplicación de SNHT en la etapa 1, da como resultado el histograma de los valores máximos de ventanas escalonadas superpuestas y tiene el objetivo de elegir los umbrales de detección de cambios en el promedio de las series (Guijarro, 2018). Muestra (figura 4) una alta frecuencia de valores bajos en las series lo cual indica que son series bastante homogéneas, mostrando también las barras de frecuencia juntas sin espacios, por lo que es adecuado el $SNHT > 70$ para T_n y T_x y un $SNHT > 25$ para R_r utilizado para la etapa de ventanas solapadas y aplicado para las series completas. Como ejemplo de este proceso el Test SNHT se aplicó a la Estación 24 Santiago de Alcántara, en el diagrama de flujo de la Figura 2, podemos seguir el procedimiento realizado. La etapa 1, muestra anomalías espaciales estandarizadas en barras azules con la línea roja discontinua marcando el valor más alto del test SNHT (28) con el punto de ruptura situado en agosto de 2010. En el eje x (Figura 5) se muestra el periodo de tiempo de la serie, en la parte inferior la línea verde nos informan sobre la distancia mínima de los datos vecinos y en naranja el número de datos de referencia utilizados.

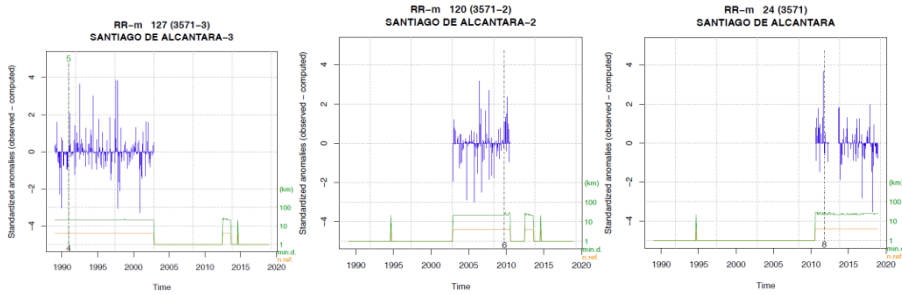
Etapa 1: Ventanas Escalonadas Superpuestas



Etapa 2: Series Completas



Etapa 3: Relleno de datos ausentes



Ajuste de series con correcciones aplicadas

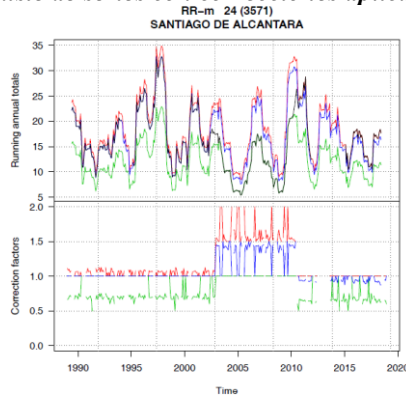


Fig. 3: Ejemplo de detección de puntos de ruptura para la Estación 24 de Valencia de Alcántara, situada al Oeste de Extremadura (Figura 1).

En la etapa 2, se aplica a series completas muestra un SNHT máximo de 35 (punto de ruptura en diciembre de 2002), y en la etapa 3 observamos como la serie se ha dividido en tres (puntos de ruptura 35 y 28), se realiza el relleno de los datos, y por último la gráfica muestra la etapa final muestra las series reconstruidas en la parte de arriba con diferentes colores y los factores de corrección en la parte de abajo, en la que los datos de las series originales son en negro. Los resúmenes estadísticos que podemos observar en la Tabla 1, hacen referencia a los puntos de ruptura encontrados a través del test SNHT. Para las Rr se han detectado 16, dando lugar a la obtención de 134 series homogeneizadas con un umbral máx. de SNHT de 25,2 mientras que en las Tn y Tx 58 y 54 (Figura 6) respectivamente lo que da lugar a 172 series de Tn y 176 series de Tx, en este caso los umbrales máx. de SNHT son mayores 70,6 y 88,3. Esta conclusión nos indica que no han aumentado significativamente el número de series. En la Figura 6, se puede observar cuales son los años en los que se han detectado los puntos de ruptura. En mayor número (5, 6) corresponden al 2005 y 2009 para las TN y para las Tx los años 1997(5) y 2003 (6), sin embargo para las Rr 3 en el año 2001.

Climate Variable	Break Point	Initial series	Update series	Pa-paramet.	Min	Q1	Median	Mean	Q3	Max
RR	16	118	134	SNHT	1,90	3,60	7,55	8,91	12,45	25,2
				RMSE	0,32	0,38	0,52	0,56	0,64	1,48
TX	58	118	176	SNHT	2,90	10,44	26,80	32,73	45,00	70,6
				RMSE	0,39	0,50	0,69	0,77	0,86	2,29
TN	54	118	172	SNHT	4,20	9,32	23,80	29,35	40,60	88,3
				RMSE	0,39	0,53	0,75	0,82	0,90	2,35

Tabla 1. Resúmenes estadísticos de la Prueba de Homogeneidad Normal Estándar (SNHT) y el error cuadrado (RMSE) después de la homogeneización mensual de las variables de Rr, Tn y Tx en el periodo 1989-2018. Los parámetros se refieren a min. (valor mínimo), Q1 (primer cuartil), mediana, media, Q3 (tercer cuartil), y máx. (valor máximo), de los puntos de ruptura detectados. Los RMSE son calculados para los valores estimados.

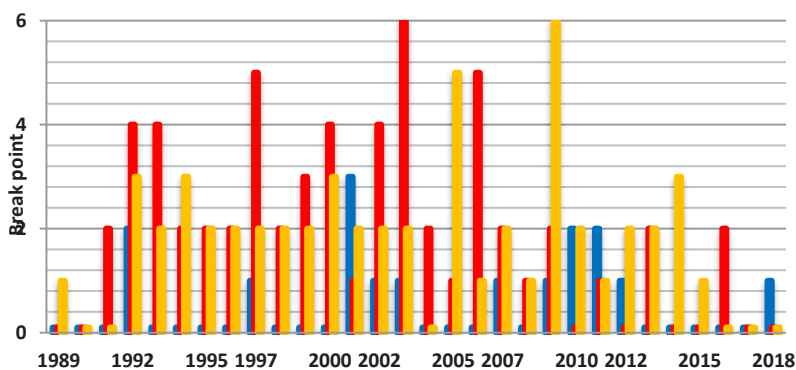


Fig. 4: Número de puntos de ruptura por año para las tres variables, Rr) azul, Tx) rojo, Tn) en amarillo para el conjunto de las estaciones en el periodo 1989-2018.

La Figura 4, nos indica cuales son los años en los que se han detectado los puntos de ruptura, se ha producido en las temperaturas un mayor número de puntos de ruptura, para Tx los años 1997 con 5 y 2003 con 6, sin embargo para Rr 3 en el año 2001, y para Tn en 2005 con 5 y 2009 con 6. Esto nos indica que no han aumentado significativamente el número de series.

3.2. Resultados RMSE

Los RMSE fueron calculados al comparar los datos estimados y los observados en cada serie y para cada una de las tres variables (Rr, Tn, Tx) (Tabla 1), y cuanto menor fuese el valor obtenido mejor calidad en el proceso.

De forma general se observa que los valores de las series homogéneas de las estaciones tienden a agruparse en la parte izquierda de los gráficos, lo cual indica que comparten un clima común (Guijarro, 2018). Por otro lado los valores de RMSE para las Rr oscilan entre 0.3 y 0.6 para el 90% de las series. Se trata de unos valores

bajos lo que nos indican una buena calidad del proceso, en cambio los valores de RMSE para las Tn y Tx son más elevados oscilando entre 0.5 y 1. Alguna de las estaciones tienen valores de RMSE > 2, lo que podría indicar una menor calidad, e incluso podría deberse a que la estación se encuentra en un lugar con un microclima distinto. Por ejemplo la Estación 102, La Parra, en Tx y Tn tiene un RMSE > 2, en cambio en Rr el RMSE es 0.5. Otra estación de similares características que la anterior es la estación 109, Oliva de la Frontera. La estación con un valor más elevado de RMSE (1.5) es Herguizuela de la Sierra en el límite norte de Extremadura con la provincia de Salamanca, y para las Tn, Tx oscila en torno al 0.6.

3.3. Selección de las estaciones

El último paso de este estudio es la selección de las diferentes estaciones a las que se ha realizado los controles de calidad y el procedimiento de homogeneización para la elaboración de la nueva base de datos. Una vez realizado el test SNHT los parámetros considerados para la elección de las estaciones fueron el Error Cuadrático Medio (RSME), la Autocorrelación máxima (ACmax) y el Porcentaje de Datos Originales Medio (PDOM). En la Tabla 2 se observan los parámetros medios obtenidos en el proceso, con un SNHT < 9 para las precipitaciones y un PDOM del 90%. Los resultados muestran que no se han generado numerosas heterogeneidades en todas las series analizadas lo que confirma que existe un número suficiente de registros, por esta razón las series homogeneizadas finales mantienen un alto porcentaje de los datos originales. Algunos trabajos confirman que a menor número de registros menor porcentaje de PDOM (Gaona G. et al. 2013).

	ACmx	SNHT	RMSE	POD
Rr	0,14	8,91	0,55	90
T^amin	0,47	29,35	0,81	76
T^amax	0,51	32,73	0,76	75
Hernández, 2012			0,93	42
De Luque Söllheim, 2011 (Tenerife Sur)	0,19	7,955	5,51	24

Tabla 1. Parámetros utilizados para la elección de las series obtenidas. ACmx= autocorrelación máx. absoluta de las anomalías. SNHT umbral de rechazo de test de homogeneidad cuando se aplica a todo el periodo. RMSE = error entre las series finales homogeneizadas y las series iniciales. PDOM= informa del porcentaje medio de los datos originales que hay en las series homogeneizadas.

Se realizó la comparativa con los resultados de otros trabajos (Hernández E.M., et al (2012); De Luque Söllheim, 2011). Hernández en su trabajo de homogeneización del 2012 obtuvo un RMSE de 0,93 y un POD del 42%. Los resultados obtenidos en este estudio se muestran en la Tabla 2, las tres variables tienen un POD muy superior al 42%, y una ACmx para las Rr de 0,14 (Tn (0,47) y Tx (0,51)), indica una autocorrelación baja, como ocurre en otros estudios De Luque Söllheim similares con Acmx de 0,19 para las Rr. Y se concluyó la selección de todas las series obtenidas en nues-

tro proceso ya que los resultados cuentan con una calidad mucho mayor a los de otros trabajos como se indica en la Tabla 2.

4. CONCLUSIONES

Se realizó el tratamiento de los datos obtenidos del AEMET para las Rr, Tx y Tn en Extremadura y las provincias limítrofes de 142 estaciones distribuidas por el territorio. Para ello se ha utilizado el Paquete R CLimatol, para procesar la información y detectar las inhomogeneidades que presentaban los datos. El análisis de homogeneización para los datos de precipitaciones y temperaturas de las estaciones climáticas se basa en la detección de puntos de ruptura, la división de la serie en subperiodos homogéneos y su homogeneización con el relleno de los datos. Se obtuvieron altas correlaciones para las precipitaciones, en cambio se produjo una mayor diversidad en las correlaciones de las temperaturas máximas y mínimas, la conclusión es que no se han producido muchos puntos de ruptura por lo tanto no hay un aumento significativo del número de estaciones (RR: 134; TN: 172 y TX: 176). Las elevadas correlaciones que aun estando a distancias superiores a 250 km se obtienen datos de correlación de las estaciones por encima del 0,7. Tras una etapa exploratoria se determinaron diferentes valores del estadístico SNHT, con el fin de determinar el umbral de rechazo del test se utilizó el RMSE, por lo que obtuvimos cuanto mayor nivel de exigencia un mayor RMSE (RR: 0,56; TX: 0,77; TN: 0,82), se consiguió unos niveles de depuración de los datos muy altos. Por último se ha obtenido una base de datos actualizada, homogeneizada y con los controles de calidad realizados que servirá como referencia para diferentes estudios climáticos la Comunidad Autónoma de Extremadura, en un periodo (1989-2018).

AGRADECIMIENTOS

Esta investigación fue financiada por la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través de la ayuda al grupo de investigación Alcántara (TIC008), GR21006, y el Proyecto IB18001 “Análisis y modelización del impacto del cambio climático sobre la distribución de zonas vitícolas en Extremadura”.

REFERENCIAS

- Aguilar E, Auer I, Brunet M, Peterson TC, Wieringa J (2003): Guidelines on climate metadata and homogenization. WCDMP-Nº 53, WMO-TD Nº 1186. World Meteorological Organization, Geneva.
- Alexander L.V., Zhang X., Peterson T.C., Caesar J., Gleason B., Klein Tank A.M.G., Haylock M., Collins D., Trewin B., Rahim F., Tagipour A., Kumar Kolli R., Revadekar J.V., Griffiths G., Vincent L., Stephenson D.B., Burn J., Aguilar E., Brunet M., Taylor M., New M., Zhai P., Rusticucci M., Vazquez Aguirre J.L. (2006). Global observed changes in daily climate extremes of temperature and precipitation. *J. Geophys. Res.*, 111, D05109. <https://doi.org/10.1029/2005JD006290>

- Alfaro E.J., Soley F.J., (2009). Descripción de dos métodos de rellenado de datos ausentes en series de tiempo meteorológicas. *Revista de Matemática: Teoría y Aplicaciones* 16(1): 60-75
- Almarza Mata C., 1984. Fichas hídricas normalizadas y otros parámetros hidrometeorológicos, Madrid: Instituto Nacional de Meteorología.
- Azorín-Molina C., Guijarro J.A., McVicar T.R., Trewin B., Frost A.J., Chen D., (2019). An approach to homogenize daily peak wind gust: An application to the Australian series. *International Journal of Climatology*, 39; 2260-2277. <https://doi.org/10.1002/joc.5949>
- Azorín-Molina C., Guijarro J.A., McVicar T.R., Vicente-Serrano S.M., Chen D., Jerez S., Espírito-Santo F., (2016). Trends of daily peak wind gust in Spain and Portugal, 1961-2014. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 121 (3); 1059-1078. <http://dx.doi.org/10.1002/2015JD024485>
- Alexandersson H (1986): A homogeneity test applied to precipitation data. *Journal of Climatol.* 6:661-675.
- Blanco J., Labrador J., Monago F.J., Ruíz T. (2020). Resultados del proyecto “Valorización de la biodiversidad vegetal del espacio protegido ZIR Sierra Grande de Hornachos como fuente de innovación para el desarrollo”. *Conservación Vegetal* 24.
- Clemente Ramos, J., 2017. Notas sobre el clima en Extremadura (1463-1550). *Revista Estudios Extremeños*. Tomo LXXIII, Nº III, pp. 2885-2902.
- De Luque Söllheim A.L., Martín Esquivel J.L (2011). Cualificación y homogenización de las series climáticas mensuales de precipitación de Canarias. Estimación de Tendencias de la Precipitación. Memoria Explicativa de Resultados. Gobierno de Canarias. Agencia Canaria de Desarrollo Sostenible y Cambio Climático.
- Della-Marta, P.M. y Wanner, H. (2006). “A method of homogenizing the extremes and mean of daily temperature measurements”. *Journal of Climate*, 19, pp. 4179-4197.
- Ducré-Robitaille, J.F., Vincent, L.A. y Boulet, G. (2003). “Comparison of techniques for detection of discontinuities in temperature series”. *International Journal of Climatology*, 23, pp. 1087-1101.
- Dumitrescu A., Cheval S., Guijarro J.A. 2020. Homogenization of a combined hourly air temperature dataset over Romania. *Int. J. Climatol.*, 40 (5), 2599-2608. <https://doi.org/10.1002/joc.6353>
- ECA&D European Climate Assessment and Dataset (2013). Algorithm Basis Document (ATBD). Royal Netherlands Meteorological Institute KNMI.
- Gaona G., Quentin E., Labus J. (2013). Homogeneidad y variabilidad espacial de series meteorológicas del área del proyecto: Ciudad del Conocimiento – Yachay. *Avances en Ciencias e Ingenierías* 5 (2), C22-C34.
- Guijarro, J.A. (2011) Influence of network density on homogenization performance. Seventh Seminar for Homogenization and Quality Control in Climatological Databases jointly organized with the Meeting of COST ES0601(HOME) Action MC Meeting. Budapest, 24–27 October, WMO WCDMP N°78, pp. 11–18.

- Guijarro, J.A. (2015) Climatol: Software libre para la depuración y homogeneización de datos climatológicos. Centro Meteorológico en Illes Balears, Instituto Nacional de Meteorología.
- Guijarro, J.A. (2018) Homogenization of climatic series with Climatol, version 3.1.1. <https://CRAN.R-project.org/package=climatol>. State meteorological Agency (AEMET). Spain
- Hartmann D. L., Klein Tank A.M.G., Rusticucci M., Alexander L.V., Brönnimann S., Charabi Y., Dentener F.J., Dlugokencky E.J., Easterling D.R., Kaplan A., Soden B.J., Thorne P.W., Wild M., Zhai P.M. 2013. Observations: atmosphere and surface. In: Climate Change: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press: Cambridge, UK and New York, NY
- Hernández E.M., García J.A., Palenzuela J.E., Belda F. (2012). Ejercicio de homogeneización y relleno de series diarias de temperatura máxima, y mediante el uso de Climatol. VIII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología. ISBN 978-84-695-4331-3, págs. 409-419.
- Khaliq MN, Ouarda TBMJ (2007): On the critical values of the standard normal homogeneity test (SNHT). *Int. J. Climatol.*, 27:681-687
- Klein Tank A.M.G., Zwiers F.W., Zhang X. 2009. Guidelines on analysis of extremes in a changing climate in support of informed decisions for adaptation, climate data and monitoring WCDMP-No 72, WMO-TD No 1500, pg. 55.
- Labajo J.L., Egido M., Martín Q., Labajo J.L. (2014). Definition and temporal evolution of the heat and cold waves over the Spanish Central Plateau from 1961 to 2010. *Atmósfera* 26(3).
- Mamara A., Argiriou A.A., Anadranistakis M. 2014. Detection and correction of inhomogeneities in Greek climate temperature series. *Int. J. Climatol.*, 34 (10), 3024–3043. <https://doi.org/10.1002/joc.3888>
- Moral, F.J., Rebollo, F.J., Valiente, P. and López, F., 2019. Modeling of Atmospheric Pollution in Urban and Rural Sites Using a Probabilistic and Objective Approach. *Applied Sciences*, (9), pp. 1-13.
- Piticar A., Croitoru A, Ciupertea F., Harpa G. (2018) Recent changes in heat and cold waves detected base on excess heat factor and excess cold factor in Romania. *International Journal of Climatology*, 38 (4), 1777-1793 <https://doi.org/10.1002/joc.5295>
- Prohom M., Barriendos M., Sanchez-Lorenzo A. 2016. Reconstruction and homogenization of the longest instrumental precipitation series in the Iberian Peninsula (Barcelona, 1786– 2014). *Int. J. Climatol.*, 36 (8), 3072–3087. <https://doi.org/10.1002/joc.4537>.
- Osadchyi V., Skrynyk O.A., Radchenko R., Skrynyk O.Y. 2018. Homogenization of Ukrainian air temperature time series. *Int. J. Climatol.*, 38 (1), 497-505. <https://doi.org/10.1002/joc.5191>.
- Peterson T.C., Vose R., Schmoyer R. y Razuvaev V. (1998). Global Historical Climatology Network (GHCN) quality control of monthly temperature data. *International Journal of Climatology*, 18, pp. 1169-1179.
- Peterson T.C., D.R. Easterling, T.R. Karl, P. Groisman, N. Nicholls, N. Plummer, S. Torok, I. Auer, R. Böhm, D. Gullett, L. Vincent, R. Heino, H. Tuomenvirta, O.

- Mestre, T. Szentimrey, J. Salinger, E.J. Førland, I. Hanssen-Bauer I, H. Alexandersson, P. Jones & D. Parker. 1998a. Homogeneity adjustments of in situ atmospheric climate data: a review. *International Journal of Climatology* 18: 1493–1517.
- Ponce-Cruz R., Diakite L., Monterroso-Rivas A.I., Ontiveros-Capurata R.E., Crespo-Pichardo G., (2019). Homogenization of Monthly Rainfall Data Series in Lerma-Toluca Watershed with Climatol. *International Journal of Science and Research* 8(3).
- Roig FA, Barriopedro D., garcía-Herrera R., Patón-Dominguez D., Monge S. (2009). North Atlantic Oscillation signatures in western Iberian tree-rings. *Geogr Ann Series A: Phys Geogr* 91(2):141-157.
- Sanchez-Oro M. (2020). Back-home tourism in Extremadura, Spain: Spending patterns and motivation. *Cuadernos de Turismo* 46. 71-91.
- Skrynyk O.Y., Aguilar E., Skrynyk O.A., Sidenko V., Boichuk D., Osadchyi V. 2019. Quality control and homogenization of monthly extreme air temperature of Ukraine. *Int. J. Climatol.*, 39 (4), 2071-2079. <https://doi.org/10.1002/joc.5934>
- Trewin B. 2018. The Australian Climate Observations Reference Network – Surface Air Temperature (ACORN-SAT). Version 2. Bureau Research Report No. 032. <http://www.bom.gov.au/climate/change/acorn-sat/documents/BRR-032.pdf>
- Trenberth, K. E., and D. A. Paolino, 1980: The Northern Hemisphere sea-level pressure data set: Trends, errors and discontinuities. *Mon. Wea.Rev.*, 108, 856–872.
- Toreti A., Kuglitsch F.G., Xoplaki E., Della-Marta P.M., Aguilar E., Prohom M., Luterbacher J. (2010). A note on the use of the standar normal homogeneity test to detect inhomogeneities in climatic time series. *International Journal of Climatology*. Royal Meteorological Society.
- Venema V.K.C., Mestre O., Aguilar E., Auer I., Guijarro J.A. Domonkos P., Vertacnik G., Szentimrey T., Stepanek P., Zahradnicek P. (2012). Benchmarking homogenization algorithms for monthly data. *Journal Climate of the Past*, 8, 89-115.
- WMO (2011) *Guide to Climatological Practices* (WMO No. 100). 3rd Edition. Geneva.
- WMO (2009) *Guide to Hydrological Practices. Volume II – Management of Water Resources and Application of Hydrological Practices*. World Meteorological Organization, WMO-No. 168, Sixth edition, Geneva, Switzerland.
- Yosef Y., Aguilar E., Alpert P. 2018. Detecting and adjusting artificial biases of long-term temperature records in Israel. *Int. J. Climatol.*, 38 (8), 3273-3289. <https://doi.org/10.1002/joc.5500>.