

Las áreas protegidas de Extremadura, España, frente al cambio climático*

Virginia Alberdi Nieves[✉] 

Resumen

En la actualidad el cambio climático está afectando de manera significativa a las Áreas Protegidas (APS) de Extremadura, en España, tanto en sus sistemas físicos, biológicos y naturales como en el sector agroalimentario. Estas áreas representan alrededor del 30 % del territorio regional, y entre las variables que inciden en dichos cambios destacan la temperatura y las precipitaciones, cuyos valores mensuales muestran variaciones que puede provocar pérdidas de biodiversidad. En esta investigación, se evaluaron las APS a través del análisis de tendencias potenciales de las tres variables: precipitación mensual (Rr), temperatura media mensual máxima (Tx) y temperatura mínima mensual (Tn). Para ello, se aplicó un algoritmo geoestadístico con la técnica de interpolación *kriging* ordinario (OK), a partir de datos diarios de 118 estaciones meteorológicas. Asimismo, se emplearon el test de Mann-Kendall y el test de Sen para identificar la dirección y significancia de las tendencias. Los resultados confirman una alta variabilidad espacial y temporal en la región; con cambios significativos en el clima. En particular, se evidencian aumentos relevantes en la temperatura mínima (Tn) en el sector occidental de Extremadura, lo que sugiere una afectación creciente a la biodiversidad y a los sistemas socioecológicos vinculados.

Palabras clave: áreas protegidas, cambio climático, geografía humana, precipitación, temperatura, test Mann-Kendall.

Ideas destacadas: artículo de investigación sobre el impacto del cambio climático en las Áreas Protegidas de Extremadura. Se analizan las variables de temperatura y precipitación mediante interpolación *kriging* ordinario. Se aplican los tests de Mann-Kendall y de Sen para identificar tendencias y dirección.



RECIBIDO: 27 DE ENERO DE 2023. | EVALUADO: 29 DE DICIEMBRE 2023. | ACEPTADO: 14 DE NOVIEMBRE DE 2024.

CÓMO CITAR ESTE ARTÍCULO

Alberdi Nieves, Virginia. 2025. "Las áreas protegidas de Extremadura, España, frente al cambio climático". *Cuadernos de Geografía: Revista Colombiana de Geografía* 34 (1supl): **-**. <https://doi.org/10.15446/rcdg.v34n1supl.106977>.

* Este manuscrito forma parte de los resultados de la investigación realizada en el marco del Doctorado en Análisis Geográfico Regional en Universidad de Extremadura y se deriva del proyecto "Las áreas de uso público en la Reserva de la Biosfera de Monfragüe. Accesibilidad y capacidad de carga", financiado por Ministerio de Medio Ambiente y Medio Rural y Marino (024/SGTB/2007/4.1).

➤ Universidad de Extremadura, Cáceres – España. ✉ virginiaan@unex.es – ORCID: 0000-0002-9223-8758.

✉ Correspondencia: Virginia Alberdi Nieves, Avenida de las Letras s/n, Campus Universitario 10003 Cáceres, España.

The Protected Areas of Extremadura, Spai, and Climate Change

Abstract

Climate change is currently affecting the Protected Areas (PAS) of Extremadura, Spain, in an intense manner, impacting physical, biological, and natural systems, as well as the agri-food sector. PAS represent 30 % of the territory, and key variables driving these changes include temperature and precipitation, with monthly variations that may lead to biodiversity loss. This research assessed PAS through the analysis of potential trends in three variables: monthly precipitation (Rr), monthly average maximum temperature (Tx), and monthly minimum temperature (Tn). A geostatistical algorithm using the ordinary *kriging* (OK) interpolation technique was applied to daily data from 118 meteorological stations, and the Mann-Kendall and Sen slope tests were used for trend analysis. The results confirm a high spatial and temporal variability, with trends indicating significant climatic changes in the region. Some Tn-related trends reveal a significant upward increase in minimum temperature in the western part of the region.

Keyword: protected areas, climate change, human geography, precipitation, temperature, Mann-Kendall test.

Highlights: this is a research article that analyses climate change in the Protected Areas (PAS) of Extremadura. The study focuses on temperature and precipitation using the ordinary *kriging* interpolation technique. The Mann-Kendall test and Sen test were applied to identify and interpret existing trends.

Áreas Protegidas da Extremadura (Espanha) face às alterações climáticas

Resumo

As alterações climáticas estão atualmente a afetar de forma intensa as Áreas Protegidas (APS) da Extremadura, incidindo tanto sobre os sistemas físicos, biológicos e naturais como sobre o setor agroalimentar. As APS representam 30 % do território, e entre as variáveis que mais influenciam estas alterações encontram-se a temperatura e a pluviosidade, cujas variações mensais podem conduzir a perdas significativas de biodiversidade. Nesta investigação, a avaliação das APS foi realizada através da análise das tendências potenciais de três variáveis: precipitação mensal (Rr), temperatura máxima média mensal (Tx) e temperatura mínima média mensal (Tn). Foi aplicado um algoritmo geoestatístico utilizando a técnica de interpolação de *krigagem* ordinária (OK) a dados diários de 118 estações meteorológicas. Para a análise de tendências recorreram-se ao teste de Mann-Kendall e ao declive de Sen. Os resultados confirmam uma elevada variabilidade espacial e temporal, induzindo alterações climáticas significativas na região. Algumas tendências associadas à Tn revelam um aumento significativo da temperatura mínima no setor oeste da região.

Palavras-chave: áreas protegidas, alterações climáticas, geografia humana, precipitação, temperatura, teste de Mann-Kendall.

Ideias destacadas: trata-se de um artigo de investigação que analisa as alterações climáticas nas Áreas Protegidas (APS) da Extremadura. O estudo centra-se nas variáveis temperatura e precipitação, recorrendo à técnica de interpolação de *krigagem* ordinária. Aplicaram-se o teste de Mann-Kendall e o declive de Sen para identificar a direção das tendências existentes.

Introducción

Las áreas protegidas (APS) de Extremadura, en España, ocupan el 30 % de la superficie de esta comunidad lo que supone 313.718 ha distribuidas por toda la región. Estas APS están conformadas por los Espacios Naturales Protegidos (Renpex), por la Red Ecológica Europea Natura 2000 (ZEPA, LIC Y ZEC), y por otras figuras de protección como son las reservas de la biosfera, las zonas ramsar (Convenio sobre los humedales y su misión) y los parques nacionales (Ley 8/1998). Estas APS cuentan con unas características biológicas distintas, donde la protección de la biodiversidad se realizó atendiendo a la importancia, singularidad y representatividad de la fauna, de la vegetación, los paisajes y los ecosistemas. Comenzaron a ser declaradas principalmente en 1979 hasta la actualidad donde únicamente se realizan pequeñas modificaciones que atienen a la gestión y conservación de sus singularidades. Fueron declaradas de un modo progresivo, con periodos de mayor o menor impulso, apoyándose en normativas, acuerdos y recomendaciones de tipo estatal, autonómico e internacional con la Ley 42/2007 (Alberdi 2024).

Las APS desempeñan un papel clave en el desarrollo de la región, directamente proporcional al desarrollo económico, sin embargo, en los últimos años la gestión de estos espacios está encaminada a un uso y gestión aislado tal como se definen en sus planes de ordenación, y como se muestra en algunos trabajos que indican que las APS se comportan como islas de conservación (Segarra-Jiménez y Mora-Silva 2023) en las que será difícil predecir cómo se comportarán estas áreas en condiciones ambientales cambiantes. Se puede producir una pérdida de diversidad biológica que solo podría contrarrestarse con medidas de adaptación, aumentando la capacidad de los organismos a adaptarse y sobrevivir minimizando los impactos de los cambios producidos por las precipitaciones y temperaturas en la biodiversidad (Szynkowska y Pawlaczyk 2022).

En las últimas décadas los efectos del cambio climático en las APS han sido objeto de estudio en algunas partes del mundo (Photiadou, Graça y van der Schrier 2017, 123; Molitor et ál. 2019, 172; Balarabe y Gambo-Hamza 2020). La creciente preocupación por los impactos del cambio climático ha hecho que sea la temperatura y las precipitaciones dos de las variables meteorológicas más investigadas por su influencia en la actividad humana y en todos los sistemas naturales (OECC 2022). El aumento de los valores medios de la temperatura durante el último siglo ha sido ampliamente demostrado en diferentes estudios (IPCC 2023) el IPCC informó que la temperatura

media de la Tierra aumentó 0,6 °C en el siglo XX a escala nacional (González-Hidalgo et ál. 2020), mientras que a nivel regional se confirma un aumento de 1,7 °C en las temperaturas medias máximas. Por esta razón los conjuntos de datos meteorológicos, recopilados por varios centros de investigación, son una información esencial para estudiar la evolución reciente del cambio climático dando lugar a base de datos que pueden llegar a cubrir el mundo (Xu et ál. 2017; Huaman-Arque et ál. 2022), además de otras creadas a nivel nacional como Agencia Estatal de Meteorología (AEMET) y ECAD Evaluación Climática Europea y base de datos.

Hasta ahora muchos estudios se han centrado en el análisis de la variabilidad de las precipitaciones y temperaturas a diferentes escalas temporales y en diferentes partes del mundo, como en Canadá (Coulilaly 2006), en China (Liu, Yang y Cui 2018), en Italia (Cislaghi et ál. 2005) y, en el caso de España (González-Hidalgo et ál. 2020), se creó una nueva base de datos de temperaturas mensuales. La variabilidad de las precipitaciones se ha demostrado en algunos trabajos que es dependiente de las condiciones zonales como la topografía (González et ál. 2024).

Los análisis de tendencias confirman una alta variabilidad espacial y temporal, y para ello se ha utilizado el Test Mann-Kendall como método eficaz para evaluar la presencia de una tendencia estadísticamente significativa (Shi et ál. 2013) en las series temporales. Entre tanto, el estimador Sen (Alashan 2020) se ha empleado para identificar la dirección de la tendencia existente, además del método de regresión lineal, tanto para pruebas paramétricas y no paramétricas (Shadman, Marofi y Roknian 2012; Praveenkumar y Jothiprakash 2020).

El objetivo principal de la presente investigación es contribuir a la comprensión de la variación mensual de la precipitación (Rr), de las medias mensuales de la temperatura (Tx) y de las mínimas mensuales (Tn) en Extremadura, mediante un análisis estadístico detallado de los datos de temperatura recogidos en 118 estaciones meteorológicas. Además, el objetivo de analizar la influencia del clima en las APS que desempeña un importante papel en la producción económica y la cultura de Extremadura.

Área de estudio

El área de estudio de Extremadura se localiza en el centro-oeste de la Península Ibérica (latitud 38-40° N y longitud 5-7° W). Se caracteriza por una gran variedad de

ecosistemas y una notable diversidad topográfica que se extiende sobre un territorio de 41.634 km² (Figura 1). Está considerada uno de los enclaves ecológicos más relevantes

de Europa y presenta un marcado contraste, con extensas zonas agrícolas y forestales (Moral y Serrano 2019).

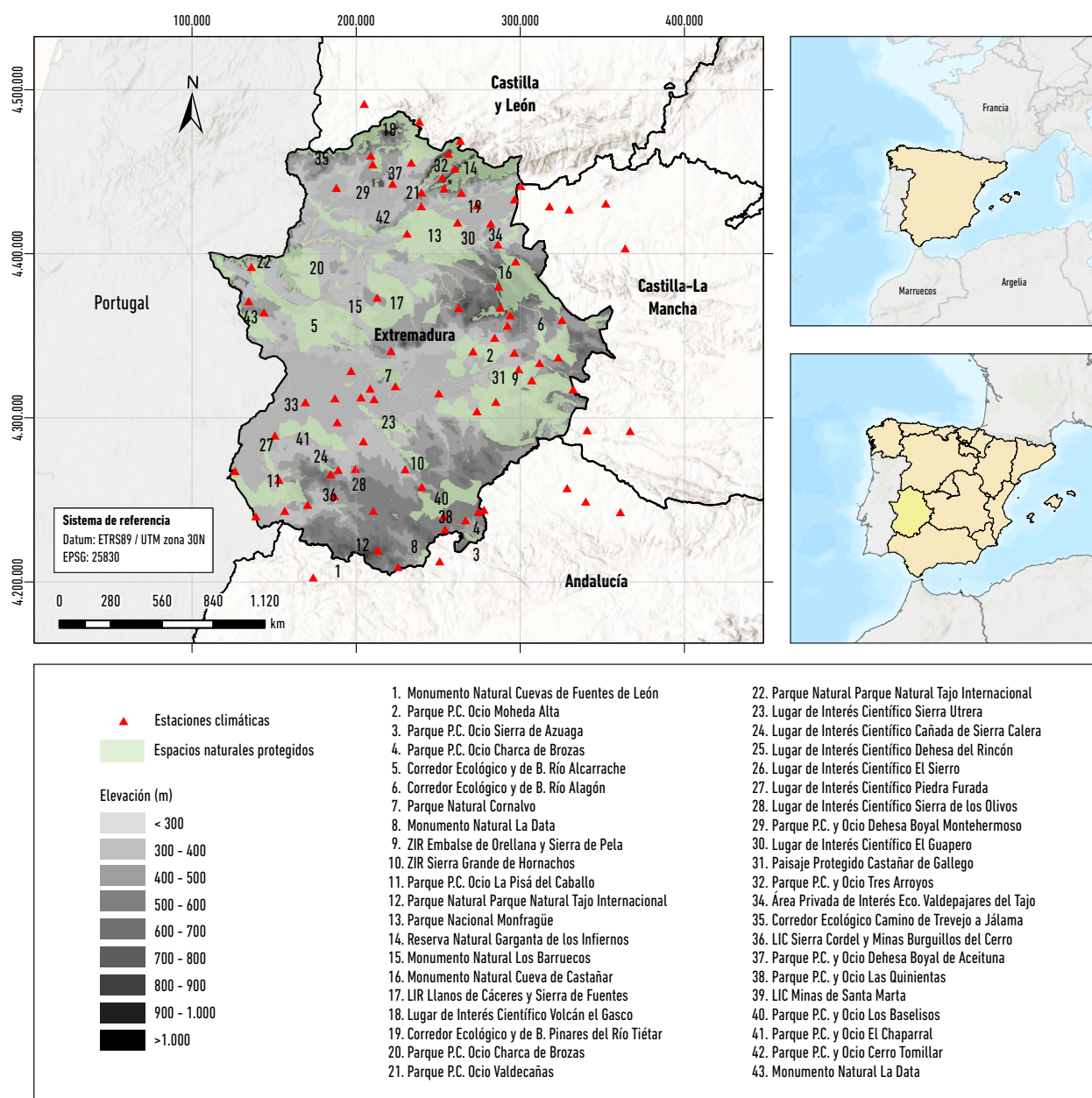


Figura 1. Localización de las estaciones climáticas, comarcas, áreas protegidas y el modelo digital de elevaciones de Extremadura. Datos: elaboración propia a partir de datos climáticos de AEMET 2022.

El clima de Extremadura es típicamente mediterráneo y se caracteriza por una marcada variación interanual tanto en la temperatura como de las precipitaciones (Figura 2). La influencia atlántica, la ubicación meridional y la baja altitud de gran parte del territorio favorecen temperaturas invernales moderadas (Róig 2009, 85), generalmente

superiores a los 6 °C de media en enero y, en amplias áreas, por encima de los 8 °C (Ancín et ál. 2021). No obstante, el carácter continental de la región se evidencia en la fuerte amplitud térmica: las temperaturas estivales superan los 26 °C en promedio y no es raro que las máximas alcancen más de los 40 °C (Labajo et ál. 2014).

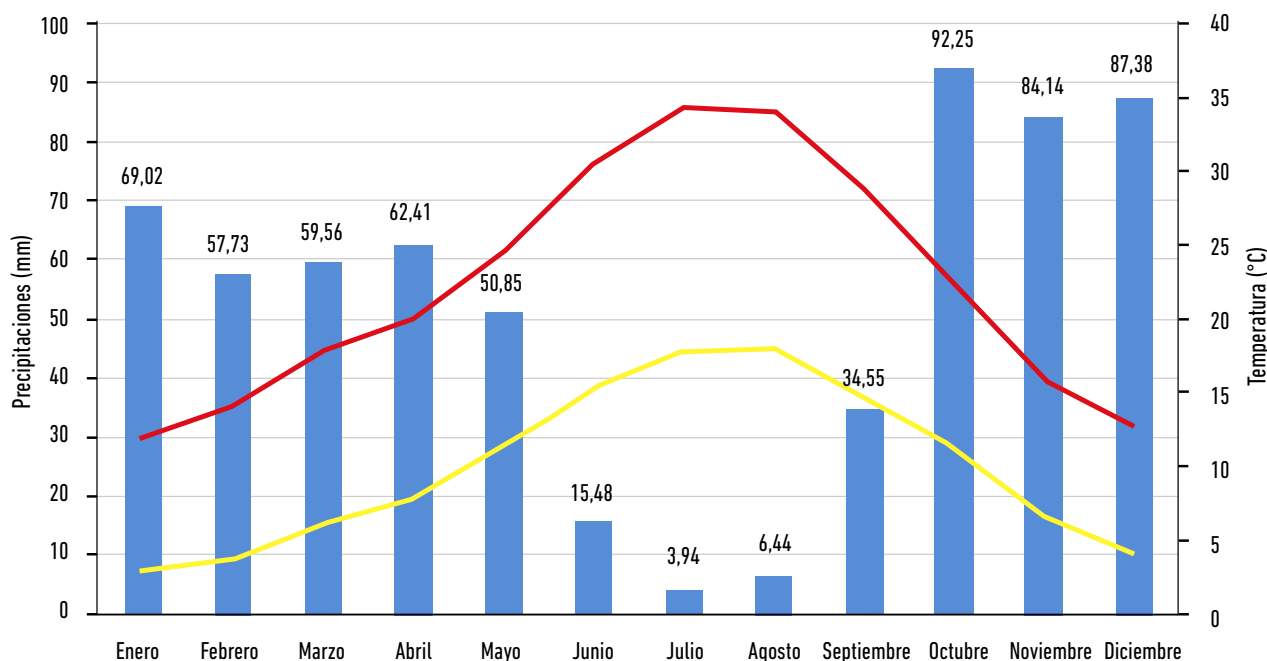


Figura 2. Promedio de valores mensuales de temperatura mínima (Tn), temperatura máxima (Tx), y precipitaciones mensuales (Rr), de 118 estaciones distribuidas para el periodo 1989-2018.

Datos: elaboración propia a partir de datos climáticos de AEMET 2022.

Durante los meses estivales, julio y agosto, la amplitud térmica alcanza sus valores máximos: las temperaturas Tx se sitúa entre 42 °C a 45 °C, mientras que las Tn llegan a 26 °C. Estos meses coinciden con el periodo más seco, con precipitaciones que varían entre 4,0 mm y 6,5 mm (véase Figura 2). Por el contrario, los meses más fríos —diciembre, enero y febrero—, registran Tn de hasta -5 °C y -6 °C y Rr de 87, 70 y 58 mm, respectivamente. Octubre destaca como el mes más lluvioso, con una Rr de 92 mm.

La precipitación media anual para el periodo 1989-2018 fue de 624 mm, con marcadas diferencias espaciales: supera los 624 mm en comarcas como las Vegas de Coria y Tierras del Suroeste, pero desciende por debajo de los 400 mm en el valle central del Guadiana. En contraste, en las áreas montañosas del norte (Gredos) y del este (Guadalupe) puede superar los 1.000 mm. Una característica destacada de la precipitación es su alta variabilidad

interanual. Se distinguen dos estaciones bien marcadas: una seca, de junio a septiembre, y otra húmeda, de octubre a mayo (cuando se concentra el 80 % de la lluvia anual). Además, son frecuentes las sequías periódicas de dos o más años, con un periodo de retorno de entre ocho y nueve años (Almarza 1984; Douvis et ál. 2023).

Metodología

En este estudio se seleccionaron los espacios naturales protegidos (Renpex) de Extremadura con el fin de analizar cómo los factores climáticos influyen en la afluencia de visitantes a estas áreas. Para ello, se utilizó una base de datos climática normalizada, se aplicó un análisis de regresión mediante interpolación geoestadística y se evaluaron las tendencias a través del test de Mann-Kendall, y de la estimación de la pendiente de Sen.

Datos climáticos

Se construyó una base de datos específica para Extremadura a partir de los registros diarios de 118 estaciones meteorológicas de la AEMET, correspondientes al periodo 1989-2018, que incluyen precipitación (Rr), temperaturas medias mínimas (Tn) y temperaturas medias máximas (Tx) (Alberdi et ál. 2022). Esta base de datos cumple con los criterios de calidad establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (WMO, 2011), en relación con la longitud de las series y la integridad de los datos, así como con las recomendaciones indicadas por el Real Instituto Meteorológico de los Países Bajos (KNMI) (ECA&D, 2013).

Posteriormente, los datos fueron homogeneizados mediante *Standard Normal Homogeneity Test* (SNHT), en diferentes etapas de detección de puntos de ruptura, implementando el Programa *Climatol 3.2.1*. Los resultados mostraron alta precisión y calidad, con errores cuadrático medios inferiores a 0,5 para Rr y valores entre 0,5 y 1 para Tn y Tx.

Con el objetivo de identificar posibles tendencias temporales en Rr, Tn y Tx, se aplicó el test no paramétrico de Mann-Kendall, complementando con la estimación de la pendiente Sen. Para la interpolación espacial se empleó el algoritmo geoestadístico de *kriging* ordinario.

Método geoestadístico: kriging ordinario

El algoritmo de *kriging* ordinario (OK) se utilizó como técnica de interpolación en los análisis de regresión y en el cálculo de residuos. Según Goovaerts (1997), los métodos geoestadísticos ofrecen ventajas frente a otras técnicas de interpolación, entre ellas la posibilidad de estimar la varianza de *kriging*, lo que contribuye a cuantificar la incertidumbre y mejorar la precisión de las predicciones (Phillips, Dolph y Marks 1992).

Los métodos de interpolación geoestadística, como el *kriging*, se desarrollaron originalmente para el análisis espacial de las reservas de minerales en la minería (Matheron 1971). En geoestadística, después de realizar un análisis exploratorio inicial de los datos, el análisis estructural de los mismos se describe con un modelo de variograma que, para lugares de muestreo discretos, se estima por medio de la siguiente expresión matemática:

$$\gamma(h) = \frac{1}{2N(h)} + \sum_{i=1}^{N(h)} (Z(x_i) - Z(x_i + h))^2$$

donde $\gamma(h)$ es el valor de semivarianza experimental en el intervalo de distancia h , $Z(x_i)$ representa el valor de muestra medido en el punto de muestra x_i , en el que hay datos en x_i y x_i+h , y $N(h)$ es el número total de pares de muestras dentro del intervalo de distancia h . Después de calcular el variograma experimental, se ajusta un variograma teórico a sus puntos.

Análisis de tendencia: test de Mann-Kendall y pendiente de Sen

Para identificar tendencias significativas en las series se aplicó el test de Mann-Kendall junto con la estimación de la pendiente de Sen. El procedimiento consta de dos fases: (i) el test no paramétrico de Mann-Kendall, que permite evaluar si existe una tendencia creciente o decreciente en los parámetros meteorológicos (Kumar, Jain y Singh 2010); y (ii) el estimador de la pendiente de Sen (Sen 1968), que determina la magnitud y la dirección de la tendencia, para el cual se utilizó la plantilla de Makesens desarrollada por investigadores del Instituto Meteorológico de Finlandia (Salmi et ál. 2002).

El estadístico S se calcula como:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(x_j - x_i)$$

El valor Z_{MK} se obtiene de la siguiente forma:

$$Z_{MK} = \begin{cases} \frac{S - 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{for } S > 0 \\ 0 & \text{for } S = 0 \\ \frac{S + 1}{\sqrt{\text{Var}(S)}} & \text{for } S < 0 \end{cases}$$

Si Z_{MK} es positivo, la tendencia es creciente; si es negativo, es decreciente.

El estimador de Sen β , se calcula como:

$$\beta = \text{median} \left[\frac{(x_i - x_j)}{i - j} \right], \forall j < i, 1 < j < i < n$$

Los valores positivos de β indican un aumento de la tendencia, mientras que los valores negativos señalan un descenso. Para identificar el cambio relativo, RC, se emplea la expresión:

$$RC = \frac{m\beta}{|X|} \cdot 100$$

donde m es la longitud de la serie y $|X|$ el valor medio (Croitoru et ál. 2013).

Resultados

Análisis estadístico de los resultados

El análisis de las tres variables climáticas (Rr, Tx y Tn) revela una notable variabilidad. Para evaluarlas se

emplearon diferentes estadísticos de dispersión: desviación típica (sd), valores máximos y mínimos (MXV y MNV), coeficiente de Kurtosis (ku), Skewness (sk) y de variación (cv).

En el caso de la Rr (Tabla 1), los parámetros evidencian diferencias marcadas entre los meses del año y una fuerte variabilidad interanual. La precipitación media anual es de 623 mm, con un cv del 34 %, valor característico de la región de Extremadura. Las Rr mensuales varían desde 92,25 mm en octubre hasta apenas 3,93 mm en julio. Cabe señalar que, precisamente en los meses más secos, se registraron los mayores valores de cv, alcanzando en julio 3 un 70 % cv). Además, cerca del 50 % de la pluviometría media anual se concentra en cuatro meses (octubre, noviembre, diciembre y enero), coincidiendo con la transición otoño-invierno, cuando predominan temperaturas frías).

Tabla 1. Análisis geoestadístico mensual para las precipitaciones Rr (mm) de las 118 estaciones climáticas

Precip. (Rr)	Media	Mediana	SD	MXV	MNV	SK	KU	CV (%)
Enero	69,02	62,04	28,08	164,53	24,97	1,48	5,05	40,6
Febrero	57,73	52,73	20,24	119,00	25,37	1,19	4,05	35,1
Marzo	59,56	53,61	20,87	122,33	28,79	1,29	4,17	35,1
Abril	62,41	57,10	18,96	131,24	37,64	1,46	4,80	30,3
Mayo	50,85	46,88	15,73	108,06	31,93	1,54	5,37	30,9
Junio	15,48	14,77	4,76	33,80	5,58	1,24	5,29	30,7
Julio	3,94	3,07	2,80	15,81	0,35	1,67	6,24	70,9
Agosto	6,44	5,56	2,75	18,58	2,42	1,72	7,26	42,7
Septiembre	34,55	31,87	10,47	68,36	19,53	1,42	4,82	30,3
Octubre	92,25	82,21	32,41	202,85	44,89	1,35	4,49	35,1
Noviembre	84,14	75,76	29,70	176,58	39,91	1,28	4,30	35,3
Diciembre	87,38	79,33	31,89	179,83	36,54	1,09	3,66	36,5
Anual	623,7	561,3	210,5	1.299,8	322,1	1,38	4,5	33,7

Nota: sd = desviación estándar; MXV = valores máximos; MNV = valores mínimos; SK = coeficiente de Skewness; KU = Kurtosis; cv = coeficiente de variación.

En cuanto a la temperatura, los coeficientes de variación son sensiblemente más bajos que los de la precipitación, lo que refleja mayor estabilidad en las series anuales. Las temperaturas mínimas (Tn) muestran una mayor dispersión en los meses de invierno (Tabla 2), con cv superiores al 50 % en enero y febrero. Estas bajas temperaturas constituyen, además, una limitación para el desarrollo de actividades recreativas al aire libre.

Por su parte, las temperaturas máximas (Tx) (Tabla 3) presentan la media más elevada en julio (34,40 °C) y la más baja en enero (12,09 °C). La asimetría negativa del valor medio (-1,01) indica que la distribución de las Tx anuales está sesgada hacia valores bajos. El coeficiente de Kurtosis (4,68) señala, además, una fuerte concentración en torno a la media.

Tabla 2. Análisis geoestadístico mensual para las Tn (°C) de las 118 estaciones climáticas

TªMin (Tn)	Media	Mediana	SD	MXV	MNV	SK	KU	CV (%)
Enero	2,94	3,04	1,49	7,25	-2,28	-0,50	4,12	50,56
Febrero	3,69	3,91	1,57	7,88	-2,06	-0,77	4,43	42,54
Marzo	6,08	6,35	1,59	9,87	0,19	-1,02	4,68	26,14
Abril	7,86	8,18	1,56	11,09	1,64	-1,18	5,16	19,85
Mayo	11,30	11,64	1,60	14,21	5,27	-1,30	5,09	14,15
Junio	15,38	15,67	1,73	18,12	9,40	-1,32	4,88	11,28
Julio	17,84	18,10	1,90	21,09	11,06	-1,31	4,99	10,64
Agosto	17,96	18,27	1,91	21,04	11,00	-1,34	5,01	10,66
Septiembre	14,94	15,35	1,80	17,80	8,64	-1,35	4,81	12,08
Octubre	11,33	11,73	1,66	14,83	5,53	-1,06	4,38	14,67
Noviembre	6,57	6,80	1,55	10,54	1,11	-0,69	4,10	23,56
Diciembre	4,04	4,19	1,55	8,42	-1,10	-0,48	3,87	38,40
Anual	9,99	10,33	1,58	13,45	4,35	-1,24	4,94	15,78

Nota: sd = desviación estándar; MXV = valores máximos; MNV = valores mínimos; SK = coeficiente de Skewness; KU = Kurtosis; cv = coeficiente de variación.

Tabla 3. Análisis geoestadístico mensual para las Tx (°C) de las 118 estaciones climáticas

Tª Máx (Tx)	Media	Mediana	SD	MXV	MNV	SK	KU	CV (%)
Enero	12,09	12,32	1,55	15,41	6,96	-0,47	3,74	12,80
Febrero	14,11	14,26	1,57	17,51	8,21	-0,65	4,35	11,11
Marzo	17,83	18,05	1,66	21,32	11,40	-0,83	4,58	9,30
Abril	20,00	20,27	1,78	23,84	13,06	-0,90	4,61	8,91
Mayo	24,56	24,91	1,79	27,95	17,42	-1,04	4,74	7,29
Junio	30,51	30,97	1,80	33,68	23,22	-1,19	4,92	5,90
Julio	34,40	34,76	1,75	37,77	27,51	-1,07	4,69	5,09
Agosto	34,10	34,45	1,71	37,47	27,55	-1,05	4,65	5,03
Septiembre	28,85	29,21	1,69	31,75	22,12	-1,11	4,80	5,87
Octubre	22,36	22,52	1,72	25,71	16,00	-0,83	4,20	7,69
Noviembre	15,98	16,08	1,68	19,31	10,16	-0,73	3,99	10,49
Diciembre	12,66	12,81	1,52	15,96	8,13	-0,31	3,34	12,03
Anual	22,29	22,49	1,62	25,38	15,98	-1,01	4,68	7,28

Nota: sd = desviación estándar; MXV = valores máximos; MNV = valores mínimos; SK = coeficiente de Skewness; KU = Kurtosis; cv = coeficiente de variación.

Análisis de las precipitaciones, temperaturas y tendencias

La mayor parte del territorio de Extremadura presenta Tx superiores a 21 °C. Solo las sierras del norte, Campo Arañuelo y la zona de Villuercas-Ibores registran valores inferiores a 19 °C. En los espacios protegidos, el 59,5 % se caracteriza por tener Tx entre 21 °C y 23 °C. Asimismo, únicamente cinco estaciones muestran tendencias

significativas, todas ellas crecientes, en tres clases de Tx y a distintas altitudes.

En cuanto a las Tn, el 80 % del territorio registra valores superiores a 10 °C, salvo en Villuercas-Ibores y sierras del norte (Campo Arañuelo), donde se observan Tn debajo de 9 °C. Dentro de los espacios protegidos, el 76,1 % presenta Tn entre 10 °C y 11 °C, mientras que el 15,9 % supera los 11 °C (Tabla 4).

Tabla 4. Distribución de los espacios naturales protegidos con respecto a Tx, Tn y Rr anuales de Extremadura durante el periodo (1989-2018)

RR (mm)	< 500	500-600	600-700	700-800	800-900	900-1.400
ha	25.445	223.289	43.668	13.075	691	7.508
%	8,1	71,2	13,9	4,2	0,2	2,4
TX (°C)	< 17	17-19	19-21	21-23	>24	
ha	4.632	2.361	14.079	186.990	106.443	
%	1,5	0,8	4,5	59,5	33,8	
TN (°C)	<8	8-9	9-10	10-11	>11	
ha	6.672	1.020	17.437	238.814	49.957	
%	2,1	0,0	5,6	76,1	15,9	

El análisis espacial de las precipitaciones (Rr) evidencia una clara correlación con la altitud y la latitud (Figura 3). Las zonas montañosas del norte —Sierra de Gata, Hurdes y Campo Arañuelo— superan los 900 mm anuales. Sin embargo, el 71,2 % de los espacios protegidos se ubica en la franja con precipitaciones de 500-600 mm anuales

(223.289 ha), es decir, en la zona menos lluviosa de la región. En contraste, los espacios con precipitaciones entre 900 y 1.450 mm ocupan solo 7.508 ha (2,4 %), mientras que aquellos con valores de 700-800 mm representan el 4,2 %. No se identificaron estaciones con tendencias significativas en las precipitaciones.

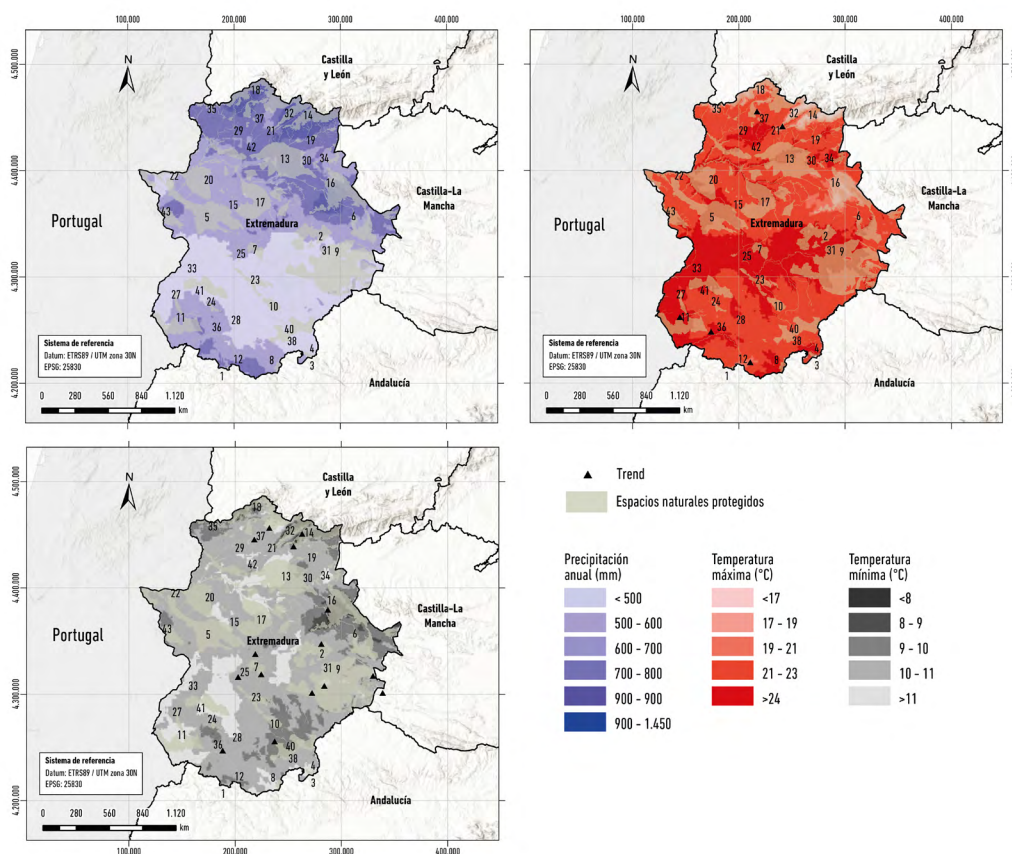


Figura 3. Distribución de precipitaciones anuales (Rr), temperaturas máximas (Tx) y mínimas (Tn) anuales de Extremadura (1989-2018), junto a tendencias significativas y Áreas Protegidas de Extremadura (APS). Datos: elaboración propia a partir de datos climáticos de AEMET (2022).

en las zonas más secas, con precipitaciones inferiores a 500 mm, como Tierras de Badajoz, La Serena, Tierra de Barros y Vegas Altas y Bajas (véanse Figuras 1 y 3), se encuentran espacios como la ZIR Sierra Grande de Hornachos (41,4 %) y el Embalse de Orellana y Sierra de Pela (39,2 %), con Tx superiores a 24 °C y Tn por encima de 11 °C (Tabla 5).

Tabla 5. Distribución de los espacios naturales protegidos con respecto a los intervalos de precipitaciones (Rr) anuales de Extremadura durante el periodo (1989-2018)

	< 500			500–600			600–700	
APS	%	ha	APS	%	ha	APS	%	ha
10	41,4	10.533	5	45,1	100.764	17	34,7	15.152,0
9	39,2	9.980	17	24,6	54.869	5	33,0	14.413,0
3	8,4	2.130	9	14,6	32.629	13	22,8	9.939,4
7	7,9	2.003	22	9,5	21.169	6	4,1	1.804,2
38	1,0	250	7	4,2	9.360	22	2,4	1.037,4
33	0,9	238	10	0,7	1.657	1	1,1	496,4
4	0,6	157	11	0,6	1.403	43	1,1	466,1
11	0,3	71	3	0,2	463	34	0,6	256,7
41	0,2	39	15	0,1	3.178	20	0,2	67,7
23	0,1	14	1	0,1	2.656	30	0,0	17,6
39	0,1	14	2	0,1	157	42	0,0	15,5
40	0,0	7	8	0,0	88	12	0,0	2,0
25	0,0	4	36	0,0	63		13,9	43.668
	8,1	25.445	28	0,0	53			
			24	0,0	21			
			27	0,0	6			
			31	0,0	1			
				71,2	223.289			
	700–800		800–900		900–1.450			
APS	%	ha	APS	%	ha	APS	%	ha
13	61,7	8.070	21	94,2	651,4	14	96,1	7.218,3
19	18,3	2.395	6	5,1	35,5	32	3,7	275,2
29	8,0	1.051	35	0,6	4,2	18	0,1	9,7
37	5,9	770	37	0,0	0,2	35	0,1	4,5
21	4,1	533		0,2	691,4		2,4	7.507,6
6	1,8	236						
26	0,1	9						
16	0,1	9						
	4,2	13.075						

En términos generales, la mayoría de los espacios protegidos (71,2 %) se sitúan en zonas con precipitaciones de 500-600 mm y, en menor medida, de 600-700 mm (13,9 %). Estos coinciden con Tx entre 19 °C y 23 °C y Tn entre 9 °C y 10 °C, distribuyéndose principalmente en las comarcas de Llanos de Olivenza, Sierras del Suroeste, Tentudía, Sierra de San Pedro, Tajo-Salor y las comarcas de Cáceres y Trujillo, donde se localizan espacios como el Parque Natural Tajo Internacional y la Sierra de San Pedro.

Finalmente, los espacios ubicados en áreas con precipitaciones entre 700 mm y 1.450 mm, Tx inferiores a 19 °C y Tn menores de 9 °C, se concentran en la Vera y el Valle del Jerte.

Conclusiones

Las condiciones climáticas de Extremadura muestran cambios notorios en las últimas décadas. Se ha registrado un aumento significativo en la tendencia general para la Tn anual, especialmente en las zonas del interior y del norte de la región. En cuanto a la Rr anual y a la Tx anual, ambas presentan una tendencia al alza, aunque el aumento resulta significativo únicamente en el caso de la temperatura.

La mayoría de las áreas protegidas, el 71,2 %, se localiza en una franja de 500-600 mm anuales de precipitación (223.289 ha), lo que las ubica en la zona menos lluviosa. Hacia el norte de Extremadura las Rr son mayores, con valores que oscilan entre 900 mm–1.450 mm, correspondientes a un total de 7.508 ha. El rango de 700 mm–800 mm representa el 4,2 % de los espacios protegidos. En este estudio no se detectaron estaciones con tendencias significativas en la precipitación.

La metodología aplicada arrojó resultados satisfactorios, particularmente mediante el uso de técnicas geoestadísticas. El *kriging* ordinario permitió obtener estimaciones espacialmente distribuidas de la precipitación, considerando las relaciones entre precipitación y elevación, así como entre espacio y temperatura.

Finalmente, el análisis espacial de la precipitación confirma una alta correlación con la altitud y la latitud, de manera que las zonas de mayor elevación —Sierra de Gata, Hurdes y Campo Arañuelo— registran los valores más elevados, superiores a los 900 mm anuales.

Referencias

AEMET (Agencia Estatal de Meteorología). 2022. Servicio de datos climáticos, valores climatológicos normales. <https://www.aemet.es>

- Ancín, María, Angie L. Gámez, Ivan Jauregui, Jeroni Galmes, Robert E. Sharwood, Gorka Erice, Elizabeth A. Ainsworth, David T. Tissue, Alvaro Sanz-Sáez e Iker Aranjuelo. 2021. "Does the Response of Rubisco and Photosynthesis to Elevated [CO₂] Change with Unfavourable Environmental Conditions?" *Journal of Experimental Botany*, 75 (22): 7351-7364. <https://doi.org/10.1093/jxb/erae379>
- Alashan Sadik. 2020. "Combination of Modified Mann-Kendall Method and Sen Innovative Trend Analysis". *Engineering Reports* 2 (3). <https://doi.org/10.1002/eng2.12131>
- Alberdi Nieves, Virginia. 2024. "Estudio de la aridez y evolución de los valores ambientales en la Reserva de la Biosfera de Monfragüe, Extremadura". *Anales de Geografía de la Universidad Complutense* 44 (2): 343-355. <https://doi.org/10.5209/aguc.88999>
- Alberdi Virginia, Francisco J. Moral, Francisco J. Rebollo, Luis L. Paniagua, Abelardo García-Martín, Cristina Aguirado y Fulgencio Honorio. 2022. "Nueva base de datos de precipitaciones y temperaturas para Extremadura en el periodo (1989-2018)". Ponencia presentada en el XII Congreso Internacional de la Asociación Española de Climatología (AEC): Retos del cambio climático: impactos, mitigación y adaptación, Santiago de Compostela, España. Del 19 al 21 de octubre de 2022. <http://hdl.handle.net/20.500.11765/14045>
- Balarabe Usman, Bello y Yakubu Gambo Hamza. 2020. "Climate Change: Media Coverage and Perspectives of Climate Change in kano, Nigeria". *Journal of Energy Research and Reviews* 6 (2): 11-19. <https://doi.org/10.9734/jenrr/2020/v6i230163>
- Cislaghi, Matteo, Carlo De Michele, Antonio Ghezzi y Renzo Rosso. 2005. "Statistical Assessment of Trends and Oscillations in Rainfall Dynamics: Analysis of Long Daily Italian Series". *Atmospheric Research* 77 (1-4): 188-202. <https://doi.org/10.1016/j.atmosres.2004.12.014>
- Coulibaly, Paulin. 2006. "Spatial and Temporal Variability of Canadian Seasonal Precipitation (1900-2000)". *Advances in Water Resources* 29 (12): 1846-1865. <https://doi.org/10.1016/j.advwatres.2005.12.013>
- Croitoru, Adina-Eliza, Adrian Piticar, Alexandru Mircea Imbroane y Doina Cristina Burada. 2013. "Spatiotemporal Distribution of Aridity Indices Based on Temperature and Precipitation in the Extra-Carpathian Regions of Romania". *Theoretical and Applied Climatology* 112 (3-4): 597-607. <https://doi.org/10.1007/s00704-012-0755-2>
- Douvis, Kostas, John Kapsomenakis, Stavros Solomos, Anastasia Poupkou, Theodora Stavvaka, Panagiotis Nastos y Christos Zerefos. 2023. "Change in Aridity Index in the Mediterranean Region under Different Emission Scenarios". *Environmental Sciences Proceedings* 26 (1): 171. <https://doi.org/10.3390/envirosci2023026171>

- González Tagle, Marco Aurelio, Marcos González Cásares, Wibke Himmelsbach y Homero Alejandro Gárate-Escamilla. 2024. "Diferencias en la respuesta de indicadores dendrocronológicos a Condiciones climáticas y topográficas". *Revista Mexicana De Ciencias Forestales* 15 (81): 59-82. <https://doi.org/10.29298/rmcf.v15i81.1435>
- González-Hidalgo, José Carlos, Dhais Peña-Angulo, Santiago Beguería y Michele Brunetti. 2020. "MOTEDAS Century: A New High-resolution Secular Monthly Maximum and Minimum Temperature Grid for the Spanish Mainland (1916-2015)". *International Journal of Climatology* 40 (12): 5308-5328. <https://doi.org/10.1002/joc.6520>
- Goovaerts, Pierre. 1997. "Kriging vs Stochastic Simulation for Risk Analysis in Soil Contamination". En *geoENVI-Geostatistics for Environmental Applications*, editado por Amílcar Soares, Jaime Gómez-Hernández y Roland Froidevaux, 247-258. Dordrecht: Springer. https://doi.org/10.1007/978-94-017-1675-8_21
- Huaman-Arque, Wilfredo, P. Joser Atauchí, Joaquín Clavijo-Manuttupa, Gina V. Amampa-Mena y Yulisa S. Soto-Quispe. 2022. "Distribución potencial de la especie Puya raimondii e importancia de las áreas naturales protegidas frente al cambio climático". *Ecología Austral* 32 (3): 1007-1018. <https://doi.org/10.25260/EA.22.32.3.0.1943>
- OECC (Oficina Española de Cambio Climático). 2022. *Mitigación del cambio climático: Guía resumida del sexto informe de evaluación del IPCC, Grupo de trabajo III*. Madrid: Ministerio para la Transición Ecológica y el Reto Demográfico. https://www.miteco.gob.es/content/dam/miteco/es/cambio-climatico/temas/el-proceso-internacional-de-lucha-contra-el-cambio-climatico/ipcc-guia-resumida-gt3-mitigacion-ar6_tcm30-549165.pdf
- IPCC (Inter-Governmental Panel on Climate Change). 2023. *Climate Change (2023). "Summary for Policymakers"*. En *Climate Change 2023: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Sixth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. Editado por The Core Writing Team, Hoesung Lee y José Romero, 1-34. Ginebra: IPCC. <https://doi.org/10.59327/ipcc/ar6-9789291691647.001>
- Kumar Vijay, Sharad K. Jain y Yatveer Singh. 2010. "Analysis of long-term rainfall trends in India". *Hydrological Sciences Journal* 55 (4): 484-496. <https://doi.org/10.1080/02626667.2010.481373>
- Labajo, Ángel L., Moisés Egido, Quintín Martín, Juan Labajo y José Luis Labajo. 2014. "Definition and Temporal Evolution of the Heat and Cold Waves over the Spanish Central Plateau from 1961 to 2010". *Atmósfera* 27 (3): 273-286. [https://doi.org/10.1016/s0187-6236\(14\)71116-6](https://doi.org/10.1016/s0187-6236(14)71116-6)
- Liu, Qiang, Zhifeng Yang y Baoshan Cui. 2018. "Spatial and Temporal Variability of Annual Precipitation During 1961-2006 in Yellow River Basin, China". *Journal of Hydrology* 361 (3-4): 330-338. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2008.08.002>
- Matheron Georges. 1971. *The Theory of Regionalized Variables and Its Applications*. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleau, no. 5. Fontainebleau: École Nationale Supérieure des Mines de Paris. https://cg.enscm.fr/bibliotheque/public/MATHERON_Ouvrage_00167.pdf
- Molitor, Daniel, Mareike Schultz, Robert Mannes, Marine Pallez-Barthel, Lucien Hoffmann y Marco Beyer. 2019. "Semi-Minimal Pruned Hedge: A Potential Climate Change Adaptation Strategy in Viticulture". *Agronomy* 9 (4): 173. <https://doi.org/10.3390/agronomy9040173>
- Moral, Francisco J. y João M. Serrano. 2019. "Using Low-Cost Geophysical Survey to Map Soil Properties and Delineate Management Zones on Grazed Permanent Pastures". *Precision Agriculture* 20: 1000-1014. <https://doi.org/10.1007/s11119-018-09631-9>
- Phillips, Donald L, Jayne Dolph y Danny Marks. 1992. "A Comparison of Geostatistical Procedures for Spatial Analysis of Precipitation in Mountainous Terrain". *Agricultural and Forest Meteorology* 58 (1-2): 119-141. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(92\)90114-j](https://doi.org/10.1016/0168-1923(92)90114-j)
- Photiadou, Christiana, Natacha Fontes, Antonio Rocha Graça, and Gerard van der Schrier. 2017. "ECA&D and E-OBS: High-Resolution Datasets for Monitoring Climate Change and Effects on Viticulture in Europe". *BIO Web of Conferences* 9: 01002. <https://doi.org/10.1051/bioconf/20170901002>
- Praveenkumar Ch. y V. Jothiprakash. 2020. "Spatio-Temporal Trend and Homogeneity Analysis of Gridded and Gauge Precipitation in Indravati River Basin". *Journal of Water and Climate Change* 11 (1): 178-199. <https://doi.org/10.2166/wcc.2018.183>
- Róig, Ramon Salas 2009. *Geologia i clima: una aproximació a la reconstrucció dels climes antics des del registre geològic*. Reial Acadèmia de Doctors. Ediciones Gráficas Rey, S.L.
- Salmi, Timo, Anu Määttä, Pia Anttila, Tuija Ruoho-Airola y Toni Amnell. 2002. *Detecting Trends of Annual Values of Atmospheric Pollutants by the Mann-Kendall Test and Sen's Slope Estimates – The Excel Template Application Makesens*. Helsinki: Finnish Meteorological Institute, Publications on Air Quality.
- Segarra-Jiménez, Estefanía y Demmy Mora-Silva. 2023. "Cambio climático, sostenibilidad y áreas naturales protegidas". *Green World Journal* 6 (2): 82. <https://doi.org/10.53313/gwj62082>
- Sen, Pranab Kumar. 1968. "Estimates of the Regression Coefficient Based on Kendall's Tau". *Journal of the American*

- Statistical Association* 63 (324): 1379-1389. <https://doi.org/10.1080/01621459.1968.10480934>
- Shadmani, Mojtaba, Safar Marofi y Majid Roknian. 2012. "Trend Analysis in Reference Evapotranspiration Using Mann-Kendall and Spearman's Rho Tests in Arid Regions of Iran". *Water Resources Management* 26 (1): 211-224. <https://doi.org/10.1007/s11269-011-9913-z>
- Shi Peng, Xinxin Ma, Xi Chen, Simin Qu y Zhicai Zhang. 2013. "Analysis of Variation Trends in an Upstream Catchment of Huai River". *Mathematical Problems in Engineering* 2013: 1-11. <https://doi.org/10.1155/2013/929383>
- Szynkowska, Małgorzata Iwona y Aleksandra Pawlaczyk. 2014. "Environmental & Health Laws, Europe". *Encyclopedia of Toxicology*, 348-352. <https://doi.org/10.1016/b978-0-12-386454-3.00582-0>
- Xu, Wenhui, Qingxiang Li, Phil Jones, Xiaolan L. Wang, Blair Trewin, Su Yang, Chen Zhu, Zhai, Panmao Zhai, Jinfeng Wang, Lucie Vincent, Aiguo Dai, Yun Gao y Yihui Ding. 2017. "A New Integrated and Homogenized Global Monthly Land Surface Air Temperature Dataset for the Period since 1900". *Climate Dynamic* 50 (7-8): 2513-2536. <https://doi.org/10.1007/s00382-017-3755-1>

Virginia Alberdi Nieves

Profesora en la Universidad de Extremadura. Doctora en Geografía y Ordenación del Territorio (2011) en el área de Análisis Geográfico Regional. Ingeniero en Geodesia y Cartografía (2013) por la Universidad de Extremadura. Entre los intereses de investigación, la gestión de las áreas protegidas, la sostenibilidad y los efectos del cambio climático.