



## Estudio de la aridez y evolución de los valores ambientales en la Reserva de la Biosfera de Monfragüe, Extremadura (España)<sup>1</sup>

Virginia Alberdi Nieves<sup>2</sup>

Recibido: 25 de septiembre del 2023 / Enviado a evaluar: 28 de septiembre del 2023 / Aceptado: 19 de julio del 2024

**Resumen.** La aridez es un gran condicionante para el futuro de las áreas protegidas (APs) de Extremadura (España). Causada entre otros factores por el incremento de las temperaturas, la variabilidad y la escasez de las precipitaciones. En este estudio se evalúa la variación espacial y temporal de la aridez en el Parque Nacional de Monfragüe y se analiza el impacto del cambio climático en esta zona utilizando el índice de aridez de Martonne (IDM). Este índice se calculó a partir de los valores medios mensuales de precipitación y temperaturas máximas y mínimas de 108 estaciones meteorológicas durante un periodo de 30 años (1989-2018) y tiene como objetivo evaluar la aridez en la zona de reserva del parque y su área de influencia, además de visualizar los patrones de aridez utilizando técnicas de análisis espacial y de correlación mediante un sistema de información geográfica (SIG) y un algoritmo geoestadístico (krigeado ordinario) para la estimación. En tres periodos futuros (2006-2035, 2036-2065 y 2066-2095). Se determinaron las proyecciones de la aridez utilizando un conjunto de 10 combinaciones de modelos climáticos globales (MCG) y modelos climáticos regionales (MCR) en dos escenarios distintos (RCP), RCP 4,5 y RCP 8,5. Los resultados reflejaron que las condiciones de aridez aumentarían en el futuro.

**Palabras clave:** Índice de Aridez de Martonne; krigeado ordinario; análisis espacial; modelos climáticos; área protegidas.

### [en] Study of aridity and the evolution of environmental values in the Monfragüe Biosphere Reserves in Extremadura (Spain)

**Abstract.** Aridity is a major constraint for the future of protected areas (Pas) in Extremadura (Spain) caused among other factors by increasing temperatures, variability and scarcity of precipitation. This study evaluates the spatial and temporal variation of aridity in Monfragüe National Park and analyses the

<sup>1</sup> Esta investigación fue financiada por la Junta de Extremadura y el Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER) a través de los proyectos GR21022 (RMN028) “Investigación en Climatología Agroforestal” e IB18001 (“Análisis y modelización del impacto del cambio climático sobre la distribución de zonas vitícolas en Extremadura”).

<sup>2</sup> Departamento de Didáctica de las Ciencias Sociales. Universidad de Extremadura (España).  
E-mail: virginiaan@unex.es

impact of climate change in this area using the De Martonne Aridity Index (IDM). This index was calculated from monthly mean values of precipitation and maximum and minimum temperatures from 108 meteorological stations over a 30-year period (1989-2018) and aims to 1) assess aridity in the reserve area of the park and its area of influence, and 2) visualise aridity patterns using spatial analysis and correlation techniques using a geographic information system (GIS) and a geostatistical algorithm (Ordinary Kriging) for estimation. In three future periods (2006-2035, 2036-2065 and 2066-2095). The projections were calculated using a set of 10 combinations of global climate models (GCMs) and regional climate models (RCMs) under two representative concentration pathway (RCP) scenarios, RCP 4.5 and RCP 8.5. The results showed that aridity conditions increased at different De Martonne stages.

**Keywords:** De Martonne Aridity Index; Kriging Ordinary; Spatial Analysis; Climate models; protected areas.

## [fr] Etude de l'aridité et de l'évolution des valeurs environnementales dans la Réserve de biosphère de Mofragüe, Estrémadure (Espagne)

**Résumé.** L'aridité est une excellente condition pour l'avenir des zones protégées (AP) d'Estrémadure (Espagne). Causée entre autres facteurs par l'augmentation des températures, la variabilité et le manque de précipitations. Cette étude évalue la variation spatiale et temporelle de l'aridité dans le parc national de Monfragüe et analyse l'impact du changement climatique dans cette zone à l'aide de l'indice d'aridité de Martonne (MDI). Cet indice a été calculé à partir des valeurs moyennes mensuelles des précipitations et des températures maximales et minimales de 108 stations météorologiques sur une période de 30 ans (1989-2018) et vise à évaluer l'aridité dans la zone de réserve du parc et son territoire. d'influence, en plus de visualiser les modèles d'aridité à l'aide de techniques d'analyse spatiale et de corrélation utilisant un système d'information géographique (SIG) et un algorithme géostatistique (krigeage ordinaire) pour l'estimation. Dans trois périodes futures (2006-2035, 2036-2065 et 2066-2095). Les projections d'aridité ont été déterminées à l'aide d'un ensemble de 10 combinaisons de modèles climatiques mondiaux (GCM) et de modèles climatiques régionaux (RCM) dans deux scénarios différents (RCP), RCP 4.5 et RCP 8.5. Les résultats ont montré que les conditions arides allaient augmenter à l'avenir.

**Mots-clés:** Indice d'aridité de Martonne; krigeage ordinaire; analyse spatiale; modèles climatiques; zone protégée.

**Cómo citar.** Alberdi Nieves, V. (2024): Estudio de la aridez y evolución de los valores ambientales en la Reserva de la Biosfera de Monfragüe, Extremadura (España). *Anales de Geografía de la Universidad Complutense*, 44(2), 343-355.

**Sumario.** 1. Introducción. 1.1. Área de Estudio. 2. Metodología. 2.2. Datos climáticos. 2.3. Índice de aridez de Martonne. 2.4. Método de interpolación. 3. Resultados y discusión. 4. Conclusiones. 5. Referencias.

## 1. Introducción

Las áreas protegidas (APs) de Extremadura (España) ocupan el 30% de superficie lo que suponen 317.251 ha. Estas APs engloban los Espacios Naturales Protegidos de Extremadura (RENPEX) y las zonas de la Red Natura 2000 (ZEPA, ZEC y LIC). Están compuestas por diferentes figuras de protección y características biológicas diferentes recogidas en la Ley 42/2007 de Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. Estas APs comenzaron a declararse en el año 1979 hasta la actualidad donde únicamente se realizan pequeñas modificaciones que atienen a la gestión y

conservación de sus singularidades. Estas declaraciones se basaron en normativas, acuerdos y recomendaciones de tipo estatal, autonómico e internacional (Alvarado, E. et al. 2007).

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. Una preservación que afectó, con diferentes modalidades de figuras de protección, indistintamente a las especies vegetales o faunísticas en sí mismas y a los territorios.

La conservación y el mantenimiento de los valores ambientales de las APs será clave ante el impacto del cambio climático directamente relacionado con la reducción de las precipitaciones, el aumento de las temperaturas y en consecuencia con la aridez (Wilson et al. 2015). Las APs desempeñan un papel clave ante la pérdida de la biodiversidad (UNEP-WCMC et al. 2018), y existen numerosos estudios donde se constata el crecimiento económico asociado las APs (Sala E., 2020; Palfrey, et al., 2022), pero también un comportamiento aislado de las APs en la Península Ibérica (Mingarro and Lobo, 2021) en las que será difícil predecir cómo se comportarán estas áreas en condiciones ambientales cambiantes.

Los espacios de las Reservas de la Biosfera también están incluidos como superficie protegida, se trata de una tipología incluida en las Aps. La Reserva de la Biosfera de Monfragüe fue declarada en 2003 (Ley 1998, de Conservación de la Naturaleza), cuyo objetivo es fortalecer la protección y el mantenimiento de la diversidad biológica, los recursos naturales y culturales, cuyos valores son de relevancia internacional, incluidos en el Programa el Hombre y la Biosfera de la Organización de las Naciones Unidas para la Educación, la Ciencia y la Cultura (ONU, 2017).

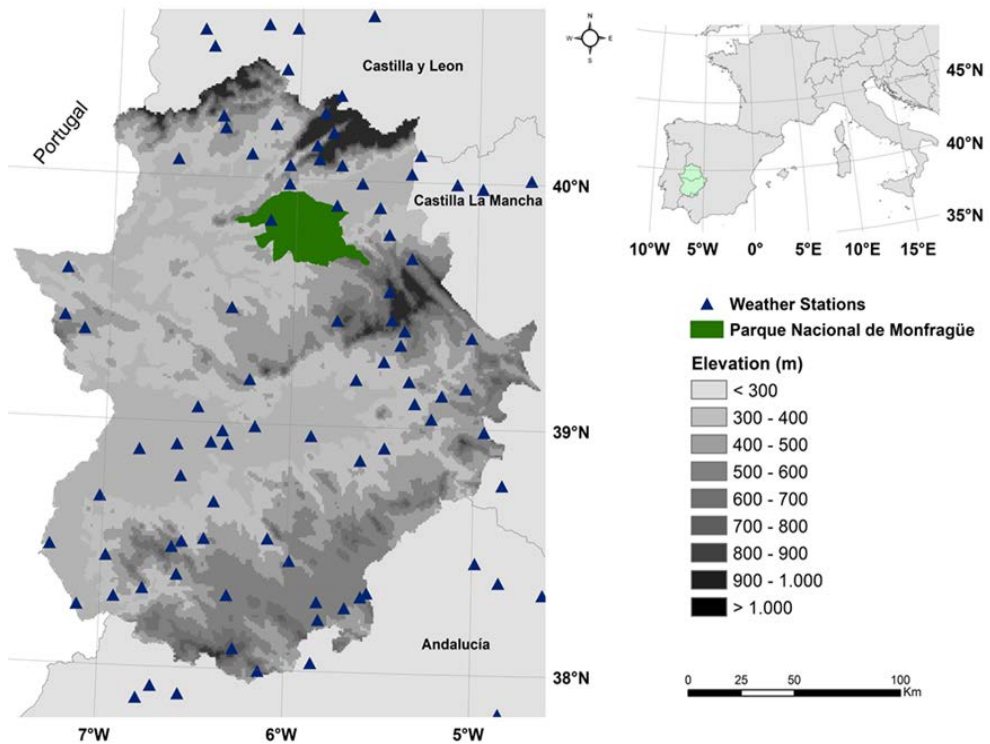
A medida que las condiciones climáticas pueden cambiar en la Reserva de la Biosfera puede producirse una pérdida de poblaciones e incluso especies asociadas a las condiciones existentes, resultando muy difícil de predecir debido a la complejidad de los factores que las afectan (Warren et al, 2001). Por ello, la salvaguarda de las condiciones ambientales en las que este espacio fue declarado resulta fundamental para la gestión de los valores naturales que podrían reducir o cambiar a medida que aumentan las condiciones de aridez (Jingyi et al., 2019).

### **1.1. Área de Estudio**

La Reserva de la Biosfera de Monfragüe está localizada al noreste de Extremadura (Latitud 38-40° N y Longitud 5-7° W), región de la Península Ibérica que se caracteriza por una gran variedad de ecosistemas junto a una diversidad topográfica y climática que se extiende sobre un territorio que abarca 41.634 km<sup>2</sup>. Está considerada como uno de los enclaves ecológicos más importantes de Europa y muestra un gran contraste, con amplias zonas agrícolas y forestales (Moral et al. 2016).

Las APs cuentan con una legislación española con grandes restricciones ambientales (Ley 42/2007) y en el caso de las APs de Extremadura con una legislación autonómica (Ley 9/2006, de 23 de

Figura 1. Mapa de localización de Extremadura, se muestra la Reserva de la Biosfera de Monfragüe, el modelo digital de elevaciones y las estaciones climáticas empleadas en el estudio.



Fuente. Datos AEMET. Elaboración propia

La Reserva de la Biosfera de Monfragüe fue declarada en 2003. Se trata de un espacio natural que ocupa 116,160 ha y representa uno de los enclaves más extensos y representativos de bosque y matorral mediterráneo (Decreto 209/2009), siendo la sexta en superficie de las reservas existentes en España. Está dividida en diferentes zonas (Figura 2). Su área central tiene una superficie de 12.830 ha, su orografía es abrupta y de relieves que no superan los 800 m de altitud, con grandes manchas de matorral mediterráneo y extensas dehesas que la rodean (Leco F. y Mateos B. 2021). La zona tampón ocupa una superficie de 15.360 ha., abarcando también parte del actual Parque Nacional y parte del área de influjo socioeconómico del mismo. Esta zona coincide con las solanas del sur, cubiertas de vegetación xerófila, matorral pobre y arbolado disperso de encinas y acebuches en las sierras, y encinares adhesionados en los llanos. Por el norte, encontramos umbrías de vegetación puramente mediterránea y

la existencia de especies faunísticas y de flora autóctona. Por último, la zona de transición abarca una superficie total de 87.970 ha, englobando parte de área de influjo socioeconómico del Parque Nacional y parte de otros términos municipales.

Figura 2. Mapa de zonificación de la Reserva de la Biosfera de Monfragüe de la Junta de Extremadura.



Fuente. Extremaambiente. Junta de Extremadura.

El clima de Extremadura es típicamente mediterráneo, caracterizado por una variación interanual tanto de la temperatura como de las precipitaciones. La influencia atlántica, la ubicación meridional y la baja altitud de gran parte de su territorio favorecen unas temperaturas invernales moderadas (Roig et al., 2009), generalmente superiores a los 6 °C de media en enero y en grandes zonas por encima de los 8 °C (Clemente, 2017). Las elevadas temperaturas estivales, que superan los 26 °C en promedio, y es común que las temperaturas máximas superen los 40 °C (Labajo et al., 2014).

## 2. Metodología

### 2.2. Datos climáticos

A partir de los datos diarios de temperatura máxima (Tx) y mínima (Tn) y precipitación (Rr) correspondientes al periodo 1989-2020, proporcionados por la Agencia Estatal de Meteorología (AEMET), registrados en 108 estaciones meteorológicas situadas en Extremadura y su entorno (Figura 1), se construyó una base de datos homogénea. La base de datos superó los controles de calidad establecidos por la Organización Meteorológica Mundial (OMM,1967). A partir de los datos iniciales se calculó el índice de aridez, y se realizaron simulaciones (Carroll C., 2015) con varios modelos climáticos regionales (RCMs) y Modelos Climáticos Globales (GCMs) derivados del Proyecto (CMIP5). Estas simulaciones fueron realizadas para el periodo histórico (1971-2005) y tres escenarios futuros (E1: 2006-2035; E2: 2036-2065 y E3: 2066-2095), con una resolución de 12,5km, fueron utilizadas dos Trayectorias de Concentración Representativas RCP4.5, y RCP8.5., de las cuatro (RCPs) (RCP2.0, RCP4.5, RCP6.0 y RCP8.5.) (Moss et al. 2010), que presentó el Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el Cambio Climático (IPCC).

### 2.3. Índice de aridez de Martonne

En este estudio, se hace uso del índice De Martonne puesto que, es un índice que muestra buenos resultados al caracterizar las condiciones áridas/húmedas de un territorio (Baltas 2007, Moral et al. 2016, Şarlak and Mahmood Agha 2018b). Éste se define como:

$$I_{DM} = \frac{P_a}{T_a + 10}$$

Donde Pa es la precipitación media anual (en mm) y Ta es la temperatura media anual (en °C). De acuerdo con los valores obtenidos del cálculo del IDM, el clima de una región puede clasificarse como se muestra en la tabla 1. En el caso de la Reserva de la Biosfera de Monfragüe no presenta valores de clima árido ni extremadamente húmedo.

Tabla 1. Clasificación del clima de acuerdo con el índice De Martonne

Tipo de clima	Valores IDM
Árido	$I_{DM} < 10$
Semi-árido	$10 \leq I_{DM} < 20$
Mediterráneo	$20 \leq I_{DM} < 24$
Semihúmedo	$24 \leq I_{DM} < 28$
Húmedo	$28 \leq I_{DM} < 35$
Muy húmedo	$35 \leq I_{DM} \leq 55$
Extremadamente húmedo	$I_{DM} > 55$

Además el índice De Martonne puede calcularse para un periodo de tiempo, como una estación o un mes, con el siguiente ajuste.

$$I_{SDM} = \frac{4P_s}{T_s + 10}$$

donde  $P_s$  y  $T_s$  es la cantidad de precipitación y la temperatura media del aire de una estación. Para un mes en concreto se puede calcular como:

$$I_{mDM} = \frac{12P_m}{T_m + 10}$$

donde  $P_m$  y  $T_m$  es la cantidad de precipitación y la temperatura media del aire de un mes respectivamente.

#### 2.4. Método de interpolación

En la actualidad existen muchos tipos de algoritmos que permiten estimar el valor de alguna variable en una determinada ubicación donde no hay medidas disponibles. En este contexto, los algoritmos geoestadísticos permiten modelar la variación espacial de cualquier variable continua. Dicha variación espacial se describe a través de una superficie estocástica, es decir, la variable de estudio toma valores en todas partes del área de estudio y se considera aleatoria, esto es, puede tomar una serie de valores acorde con una cierta distribución de probabilidad.

Dentro de los algoritmos geoestadísticos destaca el kriging, que proporciona buenas estimaciones para lugares donde no existen datos. Este método se desarrolló originalmente para el análisis espacial de las reservas de mineral (Matheron 1971). Desde entonces se ha aplicado en otros ámbitos, incluida la interpolación espacial de las precipitaciones (Dingman et al. 1988, Hevesi et al. 1992, Tabios and Salas 1985).

El algoritmo geoestadístico del Krigeado Ordinario (OK), utilizado en esta investigación, presenta muchas ventajas en comparación con otras técnicas de interpolación (Goovaerts 1997, Phillips et al. 1992).

Las predicciones realizadas con la técnica regression-kriging se separan en dos componentes. Una componente para la tendencia y otra, para los residuos sumándolas más tarde. Esto es, cualquier variable climática,  $Z_{RK}^*(x)$ , índice de aridez De Martonne en esta investigación, se estima en un punto donde no hay datos haciendo uso de la regression-kriging de la siguiente forma:

$$Z_{RK}^*(x) = m(x) + r(x)$$

donde  $m(x)$  es la tendencia ajustada obtenida gracias al análisis de regresión lineal y  $r(x)$  los residuos, que se estiman haciendo uso del algoritmo de kringing ordinary.

Por tanto, la predicción queda como:

$$Z_{RK}^*(x) = \sum_{j=0}^p c_j v_j(x) + \sum_{i=1}^n w_i(x) r(x_i) \quad \text{con } v_0(x) = 1$$

donde  $c_j$  son los coeficientes del modelo de tendencia estimado,  $v_j(x)$  es el  $j$ th predictor en  $x$ ,  $p$  es el número de predictores y  $w_i(x)$  son los pesos determinados por la resolución del sistema de kriging-ordinary para los residuos  $r(x_i)$  para los  $n$  puntos muestrales.

En esta investigación, se ha usado como predictor la elevación ( $h$ ) y la latitud, por tanto,  $m(x) = a + b h(x)$  y, en consecuencia, se tiene que

$$Z_{RK}^* = a + b h(x) + \sum_{i=1}^n w_i(x) r(x_i)$$

Cabe decir que el residuo en cada punto,  $r(x_i)$ , se calcula como la diferencia entre el valor de la propiedad del suelo y la estimación dada por la tendencia, es decir,  $r(x_i) = Z(x_i) - m(x_i)$ .

La altura fue calculada con el modelo de elevaciones de Extremadura en formato ráster de 1000x1000 de resolución (Figura 1). A partir de los datos de las estaciones meteorológicas el modelo proporciona estimaciones para otro lugar no muestreado con el fin de generar una superficie continua que cubra toda la región, en este caso los valores del IDM para cada punto son determinados con una resolución mínima (pixel). Todo el proceso incluye la representación gráfica en los diferentes escenarios del IDM, fue realizado con ArcGIS v.10.1. El análisis geoestadístico se realizó con la extensión Geostatistical Analyst de ArcGIS.

### 3. Resultados y discusión

Los valores medios del índice De Martonne obtenidos para los diferentes escenarios son prácticamente idénticos, correspondiéndose con un clima semiárido (tabla 2). Sin embargo, se puede apreciar que durante los diferentes escenarios, la aridez varía considerablemente, desde etapas con una elevada aridez hasta otras semihúmedas.

La distribución espacial del índice de aridez muestra los diferentes escenarios pasando del periodo histórico (1971-2005) con un clima para la Reserva de la Biosfera predominantemente húmedo (72%) al tercer escenario, que abarca el periodo 2066-2095 y más restrictivo para las condiciones climáticas el E3\_RCP8.5 en el que predomina un clima mediterráneo (92%) y semiárido (6,5%) como muestra la Tabla 3 y Figura 2.



Tabla 2. Estadística descriptiva del índice De Martonne para los diferentes escenarios climáticos partir de los datos de las 108 estaciones de Extremadura y alrededores.

	Mean	Tipo de Clima	Max	Min	CV%	Skewness	STD.Dev
<b>Histórico</b>	15,25	Semiárido	26	8	50,62	0,69	7,72
<b>E1_45</b>	12,66	Semiárido	15	10	19,88	-0,24	2,52
<b>E1_85</b>	11,33	Semiárido	13	9	18,37	-0,53	2,08
<b>E2_45</b>	10,4	Semiárido	19	5	50,67	0,88	5,27
<b>E2_85</b>	18,75	Semiárido	22	15	17,62	-0,13	3,30
<b>E3_45</b>	17,25	Semiárido	20	14	15,96	-0,19	2,75
<b>E3_85</b>	12,5	Semiárido	18	7	37,24	0,00	4,65

Fuente: Elaboración propia.

En el primer escenario (E1) la mayor parte del territorio de la Reserva de la Biosfera estaría comprendida en un 74% y 70% en clima semihúmedo en las dos Trayectorias de Concentración Representativas (RCP4.5 y RCP8,5), este corresponde con el periodo 2006 a 2035, lo que indica que ya en la actualidad se están produciendo cambios significativos con respecto al periodo histórico en el que el bosque y matorral mediterráneo está pasando por un proceso de incremento de la aridez con aumento de las temperaturas (Herrero A., 2015; Cruz P. et al. 2021), se verá afectada sobretudo la zona núcleo de la reserva constituida principalmente por quercus encinas y alcornoques.

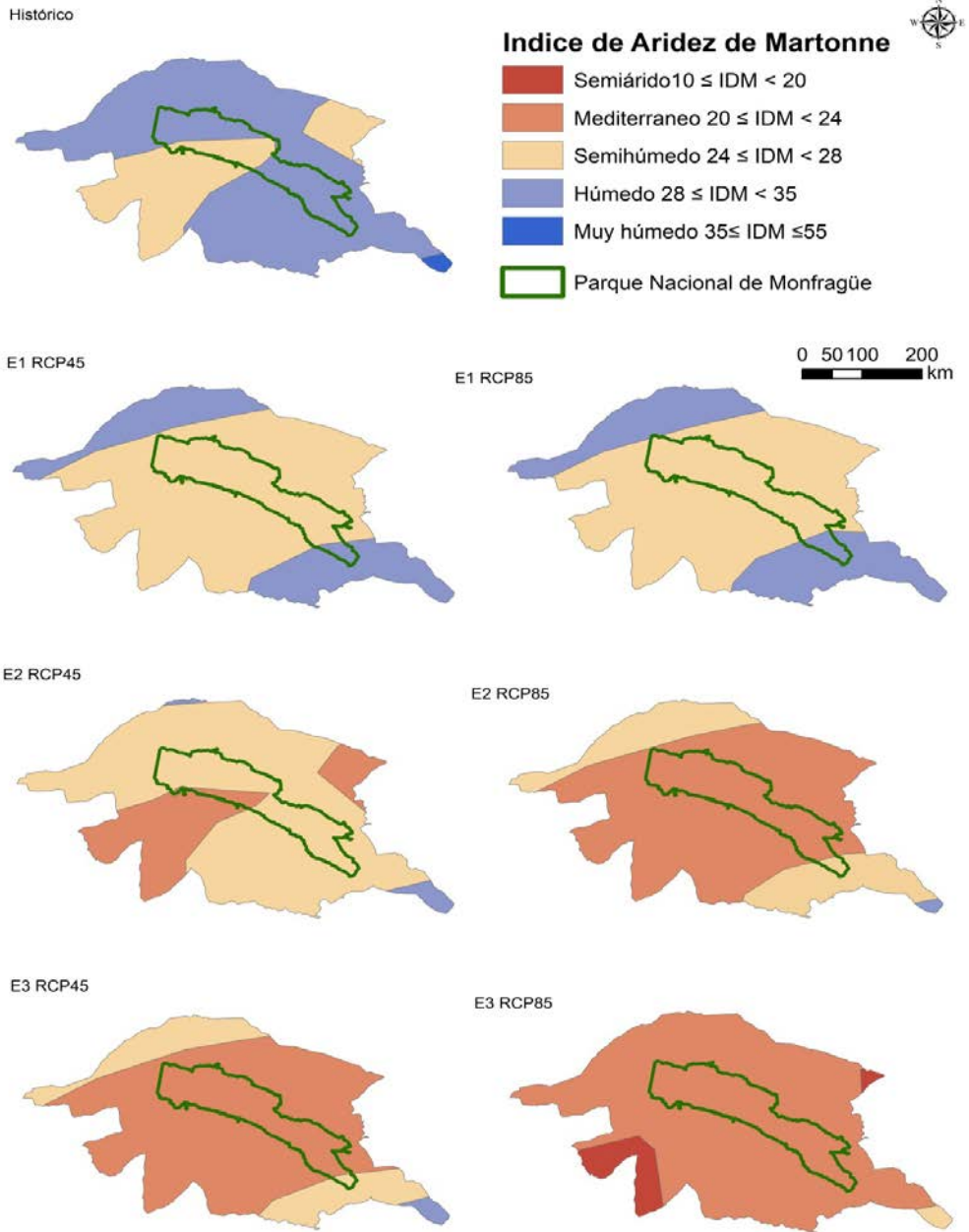
Tabla 3. Distribución espacial del Índice de Aridez de Martonne en la Reserva de la Biosfera de Monfragüe.

Clima	Histórico	E1_45	E1_85	E2_45	E2_85	E3_45	E3_85
<b>Semiárido</b>	0	0	0	0	0	0	6,5
<b>Mediterráneo</b>	0	0	0	21,8	74,4	78,2	92,5
<b>Semihúmedo</b>	27,1	73,8	69,1	76,2	25,1	20,5	1,0
<b>Húmedo</b>	72,2	26,2	30,9	2,0	0,5	1,3	0
<b>Muy Húmedo</b>	0,7	0	0	0	0	0	0

Fuente: Elaboración propia.

En el escenario E2 el clima predominante para RCP4.5. correspondería con semihúmedo en un 76% de la superficie, mientras que para la trayectoria RCP8.5 con condiciones más restrictivas y aumento de los GEI según se indica en el Informe del Panel Intergubernamental sobre el Cambio Climático (IPCC), el clima predominante en la Reserva de la Biosfera correspondería con el mediterráneo en un 74%, hasta llegar al 92% en el escenario E3 RCP8.5 (Figura 2).

Figura 3. Distribución espacial del Índice de Aridez De Martonne bajo los diferentes escenarios de emisión, desde el histórico 1971-2005, E1 2006-2035, E2 2036-2065 hasta E3 2066-2095.



Fuente: Elaboración propia.

Previa a la elaboración de los mapas en los que se muestra la distribución espacial de la aridez, fue evaluada la fiabilidad del proceso de kriging ordinario mediante la validación cruzada, para ello se realizó una estimación la variabilidad de las predicciones a partir de valores reales. Alguno de los estadísticos de predicción del error (Tabla 4 ) son el error cuadrático medio con valores comprendidos entre 0,07 y 0,12; el error medio estándar fue inferior a -0,0001; el error medio estandarizado que se situó entre valores comprendidos 0,19 y 0,49; además del error medio normalizado al cuadrado con valores entre 0,24 y 0,38.

Tabla 4. Estadísticas para la validación de los modelos

<b>Predicción Errores</b>	<b>Histórico</b>	<b>E1 45</b>	<b>E1 85</b>	<b>E2 45</b>	<b>E2 85</b>	<b>E3 45</b>	<b>E3 85</b>
<b>Error cuadrático medio</b>	0,12	0,11	0,11	0,10	0,09	0,09	0,07
<b>Media Estandarizada</b>	-0,0001	-0,0003	-0,0003	-0,0005	-0,0005	-0,0005	-0,0006
<b>Error medio normalizado al cuadrado</b>	0,24	0,29	0,28	0,33	0,33	0,33	0,38
<b>Error Medio Normalizado</b>	0,49	0,37	0,38	0,29	0,27	0,28	0,19

Fuente: Elaboración propia.

Todas las estadísticas nos indican valores muy pequeños para los diferentes errores lo que indica que el proceso de Kriging Ordinario es el apropiado. Además la evaluación de la incertidumbre fue completada con información adicional donde el error medio estandarizado arrojan valores próximos a 0 y el error cuadráticos medios y los errores medios normalizados son inferiores a 1, lo que nos indica que el proceso de validación de los modelos se ha realizado correctamente y están bien ajustados. Por otro lado, la estimación de la variabilidad de las predicciones es correcta.

## 5. Conclusiones

Las condiciones de aridez medias anuales de Extremadura para la Reserva de la Biosfera de Monfragüe son de media semiáridas como indican los valores estadísticos, en cambio según el tercer escenario E3 se correspondería con el tipo de clima mediterráneo en su mayoría, caracterizado por un gran contraste entre la etapa del periodo histórico (semihúmedo) hasta E3 mediterráneo o semiárido. Dicho contraste se verá reflejado en la vegetación predominante en la zona que sufrirá un incremento de temperaturas y reducción de las precipitaciones. El aumento como consecuencia puede llegar a transformar estos bosques que encontraran menos disponibilidad de agua

Las especies arbóreas predominantes en la reserva son las encinas (*Quercus ilex*) y alcornoque (*Quercus suber*), además de las dehesas donde predominan piruétanos o galaperos (*Pyrus bourgaeana*), majuelos o espinos albares (*Crataegus monogyna*), retamas (*Retama sphaerocarpa*), escobones blancos y amarillos (*Cytisus multiflorus*),

serían entre otras afectadas por el incremento de la aridez en el escenario E2, además de las especies de fauna que se desarrollan gracias a las protección que le aportan estos bosques.

## 5. Referencias

- Alvarado Corrales E., Flores Coletto E., Lopez Caballero A. Alberdi Nieves V. (2007). Red Natura-2000 y espacios naturales protegidos en Extremadura: La geografía en la frontera de los conocimientos. Universidad Pablo de Olavide (aut.), 2007, ISBN 978-84-690-8234-8
- Baltas, E. A. (2008). Climatic conditions and availability of water resources in Greece. *International Journal of Water Resources Development*, 24, 635–649
- Carroll C, Lawler JJ, Roberts DR, Hamann A (2015) Biotic and climatic velocity identify contrasting areas of vulnerability to climate change. *PLoS ONE* 10: e0142024
- Clemente Jul, María del Carmen; Sánchez, M.; Amores, E. y Rodríguez, L. (2017). Modelado y simulación de sistemas de producción de hidrógeno vía electrolisis alcalina a partir de energías renovables. En: "IBERCONAPPICE 2017: III Congreso Iberoamericano de Hidrógeno y Pilas de Combustible 2017", 17-20 octubre 2017, Huesca. pp. 15-18.
- Cruz P., Carrasco B., Bustos G. (2021). Análisis de los Efectos de la Ordenación Forestal en 30 Años. Caso del Bosque Mediterráneo. *Ciencia e Investigación Forestal* V. 27, 1. <https://doi.org/10.52904/0718-4646.2017.469>
- DECRETO 209/2009, Diario Oficial de Extremadura N° 176, por el que se regula la organización y funcionamiento de la Reserva de la Biosfera de Monfragüe, de 11 de septiembre de 2009. <http://doe.juntaex.es/pdfs/doe/2009/1760o/09040233.pdf>
- Sala E. (2020). *Nature of Nature: Why we need the wild*. National Geographic. ISBN 13: 9781426221019.
- Goovaerts, P. (1997). *Geostatistics for natural resources evaluation*. New York, NY: Oxford University Press.
- Herrero A & Zavala MA, editores (2015) *Los Bosques y la Biodiversidad frente al Cambio Climático: Impactos, Vulnerabilidad y Adaptación en España*. Ministerio de Agricultura, Alimentación y Medio Ambiente, Madrid. [https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informecompletoconentradilla2\\_tcm30-70199.pdf](https://www.miteco.gob.es/es/cambio-climatico/temas/impactos-vulnerabilidad-y-adaptacion/informecompletoconentradilla2_tcm30-70199.pdf)
- Hole DG, Willis SG, Pain DJ, Fishpool LD, Butchart SH, Collingham YC et al. (2009) Projected impacts of climate change on a continent-wide protected area network. *Ecology Letters* 12: 420–431.
- Jingyi Yang, Jun Yang, Xiangyu Luo, Conghong Huang,(2019). Impacts by expansion of human settlements on nature reserves in China, *Journal of Environmental Management*, Volume 248, <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.07.004>
- Labajo J.L., Labajo A.L., Egido M., (2014). Análisis of the maximum daily temperatura evolutio on the Spanish Central Plateau. *Atmósfera* 25(3): 235-252.
- Leco F. y Mateos A. B. (2021). Espacios naturales protegidos, reto demográfico y turismo.El ejemplo de la reserva de la biosfera y parque nacional de Monfragüe (Extremadura, España). *Cuadernos de Turismo* N° 48, 369–400. <https://doi.org/10.6018/turismo.493001>
- Ley 42/2007, del Patrimonio Natural y de la Biodiversidad. 13/12/2007. BOE num. 299 A 2007/21490. <https://www.boe.es/eli/es/l/2007/12/13/42/con>
- Ley 8/1998, de 26 de junio, de Conservación de la Naturaleza y de Espacios Naturales de Extremadura. <https://www.boe.es/buscar/doc.php?id=BOE-A-1998-20256>

- Mingarro M, Lobo JM. (2021). Connecting protected areas in the Iberian peninsula to facilitate climate change tracking. *Environmental Conservation*. <https://doi.org/10.1017/S037689292100014X>
- Moral, F.J., Rebollo, F.J., Paniagua, L.L. et al. Integración de índices climáticos en un modelo probabilístico objetivo para establecer y cartografiar zonas climáticas vitivinícolas en una región. *Theor Appl Climatol* 124, 1033–1043 (2016). <https://doi.org/10.1007/s00704-015-1484-0>
- Moss, R., Edmonds, J., Hibbard, K. (2010). The next generation of scenarios for climate change research and assessment. *Nature* 463, 747–756 (2010). <https://doi.org/10.1038/nature08823>
- ONU 2017. A New Roadmap for the Man and the Biosphere (MAB) Programme and its World Network of Biosphere Reserves. MAB Strategy (2015-2025), Lima Action Plan (2016-2025), Lima Declaration.
- Parks SA, Carroll C, Dobrowski SZ, Allred BW (2020) Human land uses reduce climate connectivity across North America. *Global Change Biology* 26: 2944–2955.
- Palfrey, R., Oldekop, J.A. & Holmes, G. (2022). Privately protected areas increase global protected area coverage and connectivity. *Nat Ecol Evol* 6, 730–737. <https://doi.org/10.1038/s41559-022-01715-0>
- Donald L Phillips, Jayne Dolph, Danny Marks, (1992). A comparison of geostatistical procedures for spatial analysis of precipitation in mountainous terrain, *Agricultural and Forest Meteorology*, Volume 58, 119-141. [https://doi.org/10.1016/0168-1923\(92\)90114-J](https://doi.org/10.1016/0168-1923(92)90114-J).
- Roig M, O'Brien K, Kirk G, (2009) The effects of eccentric versus concentric resistance training on muscle strength and mass in healthy adults: a systematic review with meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine* 43:556-568.
- Şarlak, N., Mahmood Agha, O. M. A. (2018). Spatial and temporal variations of aridity indices in Iraq. *Theoretical and Applied Climatology*, 133, 89–99
- UNEP-WCMC, IUCN, NGS (2018) Protected Planet Report 2018. Cambridge, UK, Gland, Switzerland and Washington, DC, USA: UNEP-WCMC, IUCN and NGS.
- Warren, M., Hill, J., Thomas, J. et al. Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* 414, 65–69 (2001). <https://doi.org/10.1038/35102054>
- Wilson TS, Sleeter BM, Davis AW (2015) Potential future land use threats to California's protected areas. *Regional Environmental Change* 15: 1051–1064.
- WMO World Meteorological Organization. Annual Report of the World Meteorological Organization 1966; WMO: Geneva, Switzerland, 1967.