



Evolución y tendencia de la temperatura y la velocidad del viento en superficie (1994 - 2014) en el Parque Nacional Doñana, España

Evolution and trend of surface temperature and wind speed (1994 - 2014) at the Parque Nacional Doñana, Spain

Evolução e tendência da temperatura e velocidade do vento em superfície (1994 - 2014) no Parque Nacional de Doñana, Espanha

Sheyla Casana Barrera^{1*} y Barlin Orlando Olivares²

¹Profesional Asociada a la Investigación. Universidad Internacional de Andalucía. Master de Tecnología Ambiental. España. Correo electrónico: sheygia@gmail.com,  ²Investigador. Universidad de Córdoba. Programa de Doctorado Iberoamericano en Ingeniería Agraria, Alimentaria, Forestal y del Desarrollo Rural Sostenible. España. Correo electrónico: barlinolivares@gmail.com, .

Resumen

Actualmente, la comunidad científica internacional ha demostrado que se está produciendo un fenómeno global conocido como cambio climático, el cual puede sentirse con mayor intensidad en aquellos lugares más sensibles y vulnerables. El Parque Nacional Doñana (PND), es un sitio donde se están realizando estudios que versan sobre el posible impacto y la vulnerabilidad de este fenómeno. Esta investigación tiene el objetivo de analizar la evolución y la tendencia de la temperatura y la velocidad del viento en la superficie en el PND durante el periodo 1994 - 2014. Para ello, se utilizaron datos del modelo meteorológico a escala global del European Centre for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) y se obtuvo la evolución del promedio mensual (EPM), la evolución y la tendencia interanual (ETI), y la evolución y la tendencia estacional (ETE). La EPM de ambas variables es típica del Hemisferio Norte, es decir meses cálidos con temperaturas suaves y menos ventosas, y meses fríos con temperaturas suaves y más ventosos. La ETI muestra diferentes fluctuaciones, en general se observó la tendencia al

Recibido el 14-05-2018 • Aceptado el 20-12-2019.

*Autor de correspondencia. Correo electrónico: sheygia@gmail.com

calentamiento (0,23 °C) y el ligero incremento del viento (0,1 m.s⁻¹) en las dos últimas décadas. La ETE para el invierno indica una tendencia a ser más fría y menos ventosa; mientras que para las otras estaciones una tendencia a ser más cálidas y ventosas. Se estima un incremento de temperatura en primavera (0,8 °C) y verano/otoño (1,5 °C) en los próximos 35 años. El aporte generado en este estudio representa un elemento orientador a diversas disciplinas relacionadas a la flora, la fauna, la inundación de marismas, entre otros.

Palabras clave: cambio climático, Doñana, meteorología, temperatura, tendencia.

Abstract

Currently, the international scientific community has shown that a global phenomenon known as Climate Change is taking place, which can be felt with greater intensity in those most sensitive and vulnerable places. The Parque Nacional Doñana (PND) is a site where studies are being carried out that deal with the possible impact and vulnerability of this phenomenon. This research aims to analyze the evolution and trend of the temperature and speed of the surface wind in the PND during the period 1994 - 2014. For this, data from the global scale meteorological model of the European Center for Medium Range Weather Forecasts (ECMWF) were used and the evolution of the monthly average (EPM), the evolution and interannual trend (ETI), and the evolution and seasonal trend were obtained (ETE). The EPM of both variables is typical of the Northern Hemisphere, that is, warm months with mild temperatures and less windy, and cold months with mild and windy temperatures. The ETI shows different fluctuations, in general a warming trend (0.23 °C) and a slight increase in the wind (0.1 m.s⁻¹) were observed in the last two decades. TEE for the winter indicates a tendency to be colder and less windy; while for the other seasons a tendency to be warmer and windier. A temperature increases in spring (0.8 °C) and summer / autumn (1.5 °C) is estimated in the next 35 years. The contribution generated in this study represents a guiding element for various disciplines related to flora, fauna, marsh flooding, among others.

Key words: climate change, Doñana, meteorology, temperature, trend.

Resumo

Atualmente, a comunidade científica internacional mostrou que está ocorrendo um fenômeno global conhecido como mudança climática, que pode ser sentido com maior intensidade nos locais mais sensíveis e vulneráveis. O Parque Nacional de Doñana (PND) é um local onde estão sendo realizados estudos que tratam do possível impacto e vulnerabilidade desse fenômeno. Esta pesquisa tem como objetivo analisar a evolução e a tendência da temperatura e velocidade do vento de superfície no PND durante o período 1994 - 2014. Para isso, foram utilizados

dados do modelo meteorológico em escala global do Centro Europeu de Previsões de Médio Prazo (ECMWF) e a evolução da média mensal (EPM), a evolução e a tendência interanual (ETI) e a evolução e tendência sazonal (TEE). A EPM de ambas as variáveis é típica do Hemisfério Norte, ou seja, meses quentes com temperaturas amenas e com menos vento, e meses frios com temperaturas amenas e com muito vento. A ETI mostra flutuações diferentes, em geral a tendência de aquecimento foi observada (0,23 °C) e o ligeiro aumento do vento (0,1 m.s⁻¹) nas últimas duas décadas. O ETE para o inverno indica uma tendência a ser mais frio e menos ventoso; enquanto nas outras estações o tempo é mais quente e ventoso. Estima-se um aumento de temperatura na primavera (0,8 °C) e no verão / outono (1,5 °C) nos próximos 35 anos. A contribuição gerada neste estudo representa um elemento norteador para diversas disciplinas relacionadas à flora, fauna, inundação de pântanos, entre outras.

Palavras-chave: mudança climática, Doñana, meteorologia, temperatura, tendência.

Introducción

Está demostrado por la comunidad científica internacional, que se está presentando un fenómeno a escala global, conocido como Cambio climático, el cual se pone de manifiesto en numerosos estudios (IPCC, 2007; Flörke *et al.*, 2018). Dicho fenómeno, se sitúa como el principal problema medioambiental del siglo XXI (Galán y Garrido, 2012; Smith *et al.*, 2012; Olivares y Zingaretti, 2018).

El cambio de clima es atribuido directa o indirectamente a la actividad humana que altera la composición de la atmósfera mundial y que se suma a la variabilidad natural del clima observado durante períodos de tiempo comparables (Schewe *et al.*, 2014; Olivares *et al.*, 2018). La superficie de la tierra se ha calentado más de 0,8 °C durante el siglo pasado, y en aproximadamente 0,6 °C en las últimas tres décadas (Campbell-Lendrum *et al.*, 2007).

A nivel mundial hay lugares más sensibles y vulnerables, en los que el

Introduction

The international scientific community has demonstrated that a global scale phenomenon known as climate change is actually occurring, which is revealed in numerous studies (IPCC, 2007; Flörke *et al.*, 2018). This phenomenon is situated as the main environmental problema of the XXI century (Galán and Garrido, 2012; Smith *et al.*, 2012; Olivares and Zingaretti, 2018).

Climate change is directly or indirectly attributed to human activity, that alters the composition of the global atmosphere and adds to the natural variability of the climate observed over comparable periods of time (Schewe *et al.*, 2014; Olivares *et al.*, 2018). Earth Surface has warmed over 0,8 °C in the past century, and about 0,6 °C in the past three decades (Campbell-Lendrum *et al.*, 2007).

Globally, there are more sensitive and vulnerable places, where climate change is perceived with greater intensity, and that can be used for

cambio climático se percibe con mayor intensidad, y que pueden ser utilizados para realizar un mayor seguimiento de este (Paredes-Trejo y Olivares, 2018). Entre estas regiones se encuentran las zonas polares (Turner *et al.*, 2015), las grandes reservas naturales como el Amazonas (Nobre *et al.*, 2015), o regiones naturales con un especial interés ecológico por los singulares ecosistemas que contienen (King *et al.*, 2015; Olivares, 2018; Cortez *et al.*, 2018; Parra *et al.*, 2018).

En el caso del Suroeste de España, se ubica el Parque Nacional de Doñana (PND), el cual es uno de los pocos sitios que reúne características de importancia internacional al igual que otros parques de Europa y del mundo por la diversidad de la flora y la fauna que alberga en sus ecosistemas, como las marismas, las playas, las dunas y corrales, los cotos y las veras (Oñate *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2013; Olivares y Zingaretti, 2019).

En la actualidad se han realizado algunos estudios para conocer la vulnerabilidad al cambio climático en el PND. En el estudio previo de Hulme y Sheard (1999), reportaron los impactos potenciales en la desecación de los humedales, teniendo un aumento de las temperaturas de entre 1,4 °C y 3,8 °C y una reducción de la precipitación anual entre el 5 y el 10 % para la década del 2050.

Por consiguiente, con el objeto de intensificar los estudios en el PND sobre esta temática, se ha creado el Observatorio de Cambio Global de Doñana (OCGD, 2016), el cual tiene como función recoger todos los datos ecológicos existentes con el

a higher tracing (Paredes-Trejo y Olivares, 2018). Among these regions are the polar zones (Turner *et al.*, 2015), big natural reservoir as the Amazonas (Nobre *et al.*, 2015), or natural regions with an special ecology interest because singular ecosystems contained in it (King *et al.*, 2015; Olivares, 2018; Cortez *et al.*, 2018; Parra *et al.*, 2018).

At Southwest Spain, the “Parque Nacional Doñana” (PND) is located, which is one of the few places that has characteristics of international importance, like other parks in Europe and the world due to diversity of flora and fauna that it houses in its ecosystems, such as marshes, beaches, dunes and corrals, the preserves and the veras (Oñate *et al.*, 2012; Rodríguez *et al.*, 2013; Olivares and Zingaretti, 2019).

Currently, some studies have demonstrated the vulnerability to climate change in the PND. In previous studies of Hulme and Sheard (1999), they reported potential impacts on wetland desiccation, having an increase in temperatures of between 1.4 °C and 3.8 °C and a reduction in annual precipitation between 5 and 10 % for 2050 decade.

Therefore, to intensify studies in PND on this subject, the “Observatorio de Cambio Global de Doñana” (OCGD, 2016) has been created, whose function is to collect all the existing ecological data in order to contribute to research, conservation and management of this natural space.

On the other hand, within the PND, the “Estación Biológica Doñana” (EBD), together with other

fin de contribuir a la investigación, conservación y gestión de este espacio natural.

Por otro lado, dentro del PND, la Estación Biológica de Doñana (EBD), junto con otros centros de investigación, están monitoreando los parámetros meteorológicos, fisicoquímicos, hidrológicos, datos sobre las comunidades vegetales, e invertebrados acuáticos y terrestres, entre otros. Sin embargo, en el ámbito puramente atmosférico, la información disponible de varias estaciones automáticas de meteorología ha sido poco utilizada en estudios a largo plazo para conocer la evolución de las variables meteorológicas en las últimas décadas.

En ese sentido, la monitorización meteorológica puede ser de utilidad en diversas disciplinas relacionadas con la flora, la fauna, la inundación de las marismas, entre otros. No obstante, existe una carencia de este tipo de trabajos en la actualidad.

Entre las variables meteorológicas que se pueden monitorear, la temperatura y la velocidad del viento son dos variables de gran interés. La temperatura la cual está implicada en numerosos procesos biológicos (Moyano *et al.*, 2018), desde la aridez del suelo, crecimiento de las plantas (Hernández *et al.*, 2017), formación de estratos atmosféricos, afección a comunidades de animales (Olivares *et al.*, 2013a), entre otros. La velocidad del viento es un indicador de la capacidad dispersiva que tiene la atmosfera, del transporte atmosférico, así como de influir en

research centers, are monitoring meteorological, physicochemical, hydrological parameters, data on plant communities, and aquatic and terrestrial invertebrates, among others. However, in the purely atmospheric field, the information available from various automatic meteorology stations has been little used in long-term studies to determine the evolution of meteorological variables in recent decades.

In this sense, meteorological monitoring can be useful in various disciplines related to flora, fauna, marsh flooding, among others. However, there is a lack of this kind of research at present.

Among the meteorological variables that can be monitored, temperature and wind speed are two variables of great interest. The temperature which is involved in numerous biological processes (Moyano *et al.*, 2018), from the aridity of the soil, plant growth (Hernández *et al.*, 2017), formation of atmospheric strata, affection to animal communities (Olivares *et al.*, 2013a), among others. Wind speed is an indicator of the dispersive capacity of the atmosphere, of atmospheric transport, as well as influencing processes such as dune mobility or desertification. Furthermore, both variables, together with precipitation, play an important role in the analysis and prediction of future climate change (IPCC, 2014).

The objective of this research was to analyze the evolution and trend of temperature and on-surface wind speed in the last two decades (1994-2014) in the Parque Nacional Doñana

procesos como la movilidad de duna o la desertización. Además, ambas variables, junto con la precipitación, juegan un rol importante en el análisis y la realización de predicciones sobre el cambio climático futuro (IPCC, 2014).

El objetivo de esta investigación fue analizar la evolución y la tendencia de la temperatura y la velocidad del viento en la superficie en las dos últimas décadas (1994 - 2014) en el Parque Nacional de Doñana (PND), para lo cual se estudió la evolución promedio mensual, interanual y estacional que presentan estas dos variables en ese periodo, así como las tendencias interanuales y estacionales para conocer si se han presentado cambios en estas variables atribuibles al cambio climático.

Materiales y Métodos

El área de estudio cubre el PND con una superficie de 54.251 ha diferenciada en tres ecosistemas naturales: humedales estacionales, matorrales y bosques de coníferas, que descansan sobre el acuífero Almonte-Marismas, extensos arrozales (Martín-López *et al.*, 2011) (figura 1). Posee más de 900 especies vegetales, 20 especies de peces de agua dulce, 10 de anfibios, 13 de reptiles, 37 de mamíferos no marinos y 360 aves (Green *et al.*, 2016). Se ubica en la zona climática del Mediterráneo subhúmedo, que se caracteriza por la acusada sequía estival que comprende desde el mes de junio a septiembre. Sus precipitaciones anuales oscilan entre los 500 a 600 mm, siendo sus

(PND), for which the monthly mean evolution, interannual and seasonal presented by these two variables in that period were studied, as well as interannual and seasonal trends to find out if there have been changes in these variables attributable to climate change.

Materials y methods

Study area covers the PND with an area of 54,251 ha differentiated into three natural ecosystems: seasonal wetlands, thickets and coniferous forests, which rest on the Almonte-Marismas aquifer, extensive rice fields (Martín-López *et al.*, 2011) (figure 1). It has more than 900 plant species, 20 species of freshwater fish, 10 amphibians, 13 reptiles, 37 non-marine mammals and 360 birds (Green *et al.*, 2016). It is located in the climatic zone of the sub-humid Mediterranean, which is characterized by the pronounced summer drought from June to September. Its annual rainfall ranges from 500 to 600 mm, very mild winters (due to sea-winds) and hot summers ($> 25^{\circ}\text{C}$) (Moyano *et al.*, 2018).

For this study, information from the global scale meteorological model of the European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF) was used, specifically for variables temperature and on-surface wind speed, during the period 1994 - 2014, in the region where PND is located. According to WMO (2011), the recent registration period used, which covers the last 21 years, has as much predictive value as a 30 year registration. The optimal duration

inviernos muy suaves (por los vientos provenientes del mar) y los veranos calurosos (>25 °C) (Moyano *et al.*, 2018).

of the record regarding the predictive use of normals varies depending on the element, geography and secular trend (Olivares *et al.*, 2013b).

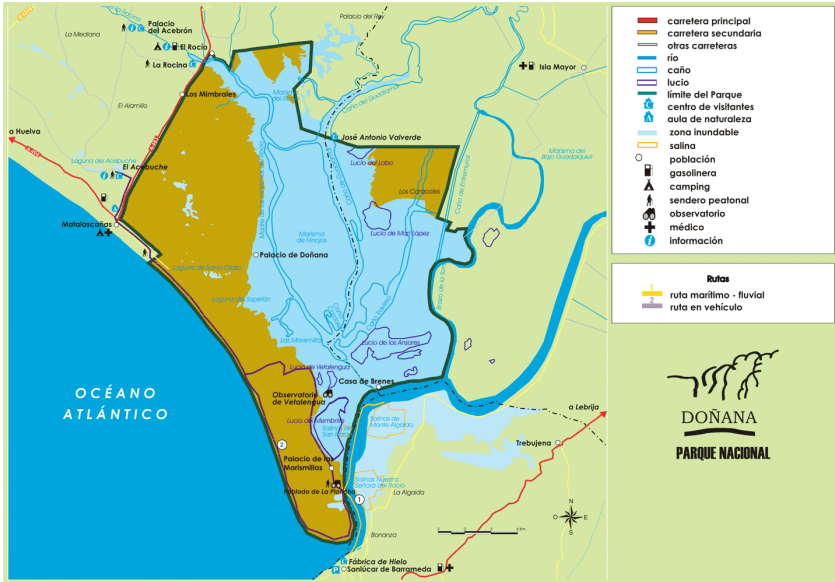


Figura 1. Croquis del Parque Nacional Doñana, España. Fuente: adaptado de OCGD (2016).

Figure 1. Sketch of the Parque Nacional Doñana, Spain. Source: adapted from OCGD (2016).

Para este estudio se utilizó información procedente del modelo meteorológico de escala global del Centro Europeo de Predicción a Medio Plazo (ECMWF, en inglés) específicamente de las variables temperatura y velocidad del viento en superficie, durante el periodo 1994 - 2014, en la región donde se ubica el PND. Según la OMM (2011) el período de registro reciente utilizado, el cual abarca los últimos 21 años, tiene tanto valor predictivo como un registro de 30 años. La duración óptima del

The ECMWF meteorological model generates different products in real time, such as operational and forecast data (Navascués *et al.*, 2013). While, afterwards, re-analysis meteorological fields are generated. The reanalysis is performed when experimental observations are already available and the model is “forced” to assimilate that experimental information. There are two large reanalysis databases, the ERA-40 and the ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011).

registro relativo al uso predictivo de las normales varía en función del elemento, la geografía y la tendencia secular (Olivares *et al.*, 2013b).

El modelo meteorológico ECMWF genera diferentes productos en tiempo real como los datos operacionales y de predicción (Navascués *et al.*, 2013). Mientras, que a posteriori, se generan campos meteorológicos de reanálisis. El reanálisis se realiza cuando ya se tienen observaciones experimentales y se “fuerza” al modelo a que asimile esa información experimental. Existen dos grandes bases de datos de reanálisis, él ERA-40 y ERA-Interim (Dee *et al.*, 2011).

Se utilizó la información de reanálisis ERA-Interim. Para ello fue necesario definir una región espacial, y descargar la información en formato netcdf (formulario de datos comunes en red), con una resolución espacial de 0,25 ° y temporal de 6 horas, es decir un dato por cada cuadrícula de 27 km de lado.

El ECMWF cuenta con una base de datos en formato netcdf de diferentes variables meteorológicas, por lo cual, para este estudio se utilizó el programa Matlab con el fin de poder leer las variables de interés en formato “.txt”, y luego convertirlas en formato “.xlsx” de Excel, que fue el programa que finalmente se utilizó para el procesamiento de la información. A partir de los cuatro valores diarios, se calculó la media diaria y se generó un fichero para cada año con los valores diarios con fecha juliana. En el caso de la temperatura se pudo obtener directamente este parámetro del ECMWF, pero en el caso de la velocidad

ERA-Interim reanalysis information was used. For this, it was necessary to define a spatial region, and download the information in netcdf format (common data form on network), with a spatial resolution of 0.25 ° and a temporal resolution of 6 hours, that is, one data for each 27 km grid. sideways.

The ECMWF has a database in netcdf format with different meteorological variables, therefore, for this study, the Matlab program was used in order to be able to read the variables of interest in “.txt” format, and then convert them into format “.xlsx” from MS-Excel®, which was the program finally used for information processing. From the four daily values, the daily average was calculated and a file was generated for each year with the daily values with a julian date. In the case of temperature, this parameter could be obtained directly from the ECMWF, but in the case of wind speed, the two Cartesian components had to be downloaded, and speed obtained from them.

Using the daily mean values as a basis, the monthly and annual means of variables were calculated, with their corresponding standard deviations, to finally determine the trend line. Thus, to establish the type of function that best fits the possible relationship between each variable and time (years), regression was used. In this sense, when using physical variables of temperature and wind speed with respect to a period of years, dependent quantitative variables are used with respect to an independent

del viento, hubo que descargar las dos componentes cartesianas, y a partir de ellas se obtuvo la velocidad.

Utilizando como base los valores medios diarios, se calcularon las medias mensuales y anuales de las variables, con sus correspondientes desviaciones estándar, para finalmente determinar la línea de tendencia. Es así, que para establecer el tipo de función que mejor se ajuste a la posible relación entre cada variable y el tiempo (años) se hizo uso de la regresión. En ese sentido, al utilizar variables físicas de temperatura y velocidad del viento respecto a un periodo de años, se utilizan variables cuantitativas dependientes respecto a una variable independiente (años), obteniendo una regresión simple al involucrar sólo dos variables.

Partiendo de los valores medios mensuales se determinó la evolución promedio mensual. Igualmente, utilizando los valores medios anuales, se obtuvo la evolución y tendencia interanual. Finalmente, seleccionando cuatro meses representativos de las estaciones del año, se obtuvo la evolución y la tendencia estacional. A continuación, se describe el procedimiento utilizado para determinar los parámetros mencionados en el cuadro 1.

Evolución promedio mensual (EPM)

Se calculó la media de las variables meteorológicas seleccionadas de cada mes del año en los 21 años, utilizando la ecuación (1), así como su respectiva desviación estándar, a través de la ecuación (2) descritas en el cuadro 1.

variable (years), obtaining a simple regression when only two variables are involved.

Starting from the monthly average values, the monthly average evolution was determined. Likewise, using the annual mean values, the evolution and interannual trend were obtained. Finally, selecting four representative months of the seasons, the evolution and seasonal trend were obtained. The procedure used to determine the parameters mentioned in table 1 is described below.

Monthly average evolution (EPM)

The mean of the selected meteorological variables for each month of the year in the 21 years was calculated, using equation (1), as well as their respective standard deviation, through equation (2) described in table 1.

The results were plotted on cartesian axes and scatter plots were made, where a line was drawn following the points of the mean values of the meteorological variables, to determine their trend.

Evolution and interannual trend (ETI)

The annual mean of the selected meteorological variables was calculated for each year of the period 1994 - 2014, using equation (1), as well as their respective standard deviation using equation (2).

The results were plotted on a Cartesian axis and the scatter plot was made, where the trend line was drawn and the type of regression function was determined, as well as its respective equation.

Cuadro 1. Funciones matemáticas utilizadas en el estudio.**Table 1. Mathematical functions used in the study.**

Función matemática	Ecuación	Descripción
Media aritmética	$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n}$	Es el valor de la variable para la muestra, y es el numero total de la muestra tomadas (Ecuación 1).
Desviación estándar	$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Xi - \bar{x})^2}{n}}$	Es la medida aritmética (Ecuación 1) de la variable estadia, y es numero total de muestras tomadas (Ecuación 2).

Los resultados se representaron en ejes cartesianos y se realizaron las gráficas de dispersión, donde se trazó una línea siguiendo los puntos de los valores de la media de las variables meteorológicas, para determinar su tendencia.

Evolución y tendencia interanual (ETI)

Se calculó la media anual de las variables meteorológicas seleccionadas para cada año del periodo 1994 - 2014, utilizando la ecuación (1), así como su respectiva desviación estándar utilizando la ecuación (2).

Los resultados se representaron en un eje cartesiano y se realizó la gráfica de dispersión, donde se trazó la línea de tendencia y se determinó el tipo de función de regresión, así como su ecuación respectiva.

Evolución y tendencia estacional (ETE)

En este caso se escogió un mes representativo de cada estación del año, siendo para invierno el mes de enero, para primavera abril, para verano julio y para otoño octubre.

Se calculó la media y la desviación estándar de las variables

Evolution and seasonal trend (TEE)

In this case, a representative month of each season of the year was chosen, being for winter the month of January, for spring April, for summer July and for autumn October.

The mean and standard deviation of the meteorological variables of each of the representative months were calculated using equation (1) and equation (2), respectively.

The results were plotted on cartesian axes and scatter plots were made, where the trend line was drawn and the type of regression function was determined, as well as its respective equation.

Results and discussion

Evolution of the monthly average (EPM)

As expected, the monthly mean temperature trends to increase as months of the year progress, from a minimum of 10.8 ± 0.5 °C in January to a maximum of 26.2 ± 0.4 °C in August. Subsequently, from that month, the temperature begins to

meteorológicas de cada uno de los meses representativos utilizando la ecuación (1) y la ecuación (2), respectivamente.

Los resultados se representaron en ejes cartesianos y se realizaron las gráficas de dispersión, donde se trazó la línea de tendencia y se determinó el tipo de función de regresión, así como su ecuación respectiva.

Resultados y discusión

Evolución del promedio mensual (EPM)

Como se esperaba la temperatura promedio mensual tiende a incrementarse conforme avanzan los meses del año, desde una mínima de $10,8 \pm 0,5$ °C en enero hasta llegar a una máxima de $26,2 \pm 0,4$ °C en agosto. Posteriormente, a partir de ese mes, la temperatura comienza a decrecer de nuevo hasta alcanzar los $11,6 \pm 0,5$ °C en diciembre (figura 2a). Este es un ciclo típico y representativo del Hemisferio Norte y latitudes medias. En cuanto a la amplitud térmica media anual, se obtuvo un valor de $15,3$ °C, el cual se califica como amplitud térmica media ($12 - 16$ °C) (IGN, 2015).

Los resultados obtenidos están asociados a que el PND se ubica en una zona costera y el Océano Atlántico actúa como un agente termorregulador, resultando temperaturas suaves en invierno y elevadas en verano, característico de un clima mediterráneo (Moyano *et al.*, 2018).

La evolución media mensual se obtuvo del promedio mensual de temperatura de 21 años, y es de

decrease again until reaching $11,6 \pm 0,5$ °C in December (figure 2a). This is a typical and representative cycle of the Northern Hemisphere and middle latitudes. Regarding the annual mean thermal amplitude, a value of $15,3$ °C was obtained, which is classified as mean thermal amplitude ($12 - 16$ °C) (IGN, 2015).

Results obtained are associated with the PND being located in a coastal area and the Atlantic Ocean acting as a thermoregulatory agent, resulting in mild temperatures in winter and high in summer, characteristic of a mediterranean climate (Moyano *et al.*, 2018).

The monthly average evolution was obtained from the monthly mean temperature of 21 years, and it is expected that the trend throughout a year will follow approximately the same pattern, that is, that temperatures trends to increase from January to July and August, and then decrease until December.

Similar analysis was performed with wind speed. Thus, the monthly average evolution of wind speed, unlike temperature, trends to decrease as months of the year progress, from 5.3 ± 0.5 m.s⁻¹ in January to a minimum of 3.9 ± 0.2 m.s⁻¹ in September. Then, it began to increase to a maximum of 5.6 ± 0.5 m.s⁻¹ in December (figure 2b). From this results, it can be inferred that the trend throughout a specific year follows the same monthly pattern, that is, that the wind speed begins to decrease from January to August and September, and then increase until December.

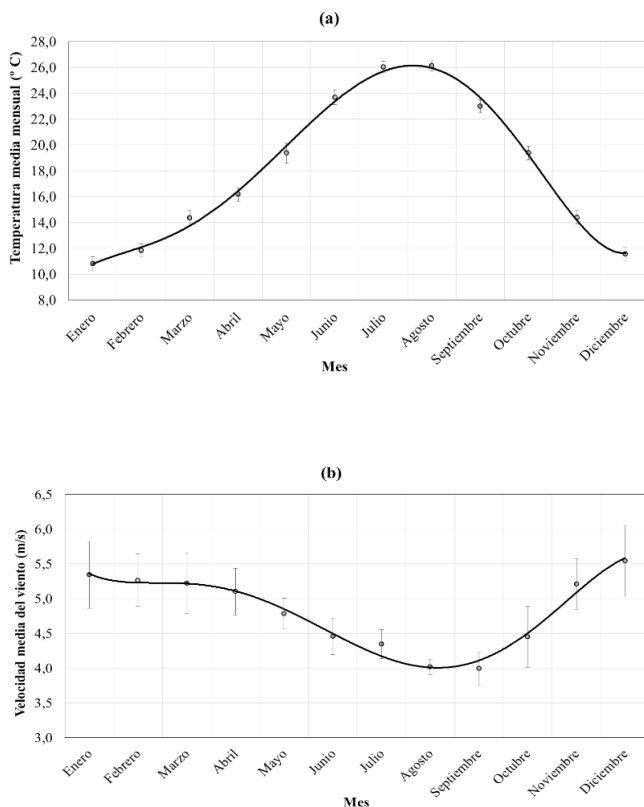


Figura 2. Evolución promedio mensual de la temperatura media (a) y velocidad del viento (b) en el Parque Nacional Doñana, España.

Figure 2. Average monthly evolution of mean temperature (a) and wind speed (b) in the Parque Nacional Doñana, Spain.

esperarse que la tendencia a lo largo de un año siga aproximadamente el mismo patrón, es decir, que las temperaturas tiendan a incrementarse desde el mes de enero hasta los meses de julio y agosto, para luego disminuir hasta el mes de diciembre.

Análisis similar se realizó con la velocidad del viento. Así la evolución promedio mensual de la velocidad del

The atmospheric dynamics presented by the lower layers of the atmosphere in the study region are governed in the cold months by movements of synoptic origin, that is, by the general circulation of the atmosphere (Estévez *et al.*, 2011). However, in the warmer months, atmospheric movements in this region are affected by meso-scalar

viento, a diferencia de la temperatura, tiende a descender conforme avanzan los meses de año, desde $5,3 \pm 0,5 \text{ m.s}^{-1}$ en enero hasta una mínima de $3,9 \pm 0,2 \text{ m.s}^{-1}$ en septiembre. Luego, empezó a incrementarse hasta una máxima de $5,6 \pm 0,5 \text{ m.s}^{-1}$ en diciembre (figura 2b). A partir de este resultado se puede inferir que la tendencia a lo largo de un año concreto siga el mismo patrón mensual, es decir, que la velocidad del viento comience a descender desde el mes de enero hasta los meses de agosto y septiembre, para luego incrementar hasta el mes de diciembre.

La dinámica atmosférica que presenta las capas bajas de la atmósfera en la región de estudio viene gobernada en los meses fríos por movimientos de origen sinóptico, es decir, por la circulación general de la atmósfera (Estévez *et al.*, 2011). Sin embargo, en los meses cálidos, los movimientos atmosféricos en esta región están afectados por circulaciones meso escalares como las brisas de la costa, las cuales presentan una velocidad del viento más débil que bajo situaciones sinópticas. Por esta razón se obtiene la variación mensual de viento mostrada.

Evolución y tendencia interanual (ETI)

En la figura 3a, se presenta la evolución de la temperatura media anual, así como su línea de tendencia. Se observa que, durante el periodo estudiado, la temperatura media anual presentó fluctuaciones, con un máximo de $18,6 \pm 6,2 \text{ }^\circ\text{C}$ en el año 2009 y un mínimo de $17,6 \pm 5,2 \text{ }^\circ\text{C}$ en el año 1996, característico de una zona cálida de España ($17,5 - 20,0 \text{ }^\circ\text{C}$) (IGN, 2015). La línea

circulaciones such as coastal breezes, which have a weaker wind speed than under synoptic situations. For this reason, the monthly variation of wind shown is obtained.

Evolution and year-on-year trend (ETI)

In figure 3a, the evolution of the annual mean temperature is presented, as well as its trend line. It is observed that, during the period studied, the annual average temperature fluctuated, with a maximum of $18.6 \pm 6.2 \text{ }^\circ\text{C}$ in 2009 and a minimum of $17.6 \pm 5.2 \text{ }^\circ\text{C}$ in 1996, characteristic from a warm area of Spain ($17.5 - 20.0 \text{ }^\circ\text{C}$) (IGN, 2015). The trend line, obtained as a linear function, presented a positive slope, indicating an annual increase. According to the results obtained, there has been an increase of $0,23 \text{ }^\circ\text{C}$ in the last two decades in the PND, that is, an increase of $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ per year ($0.11 \text{ }^\circ\text{C}$ per decade).

In the same way, figure 3b shows the interannual evolution of the mean wind speed, presenting interannual fluctuations with a maximum of $5.2 \pm 2.3 \text{ m.s}^{-1}$ in 1996 and a minimum of $4.4 \pm 1.7 \text{ m.s}^{-1}$ in 2007. The trend line shows a linear function with a positive slope, which would indicate an increase of 0.1 m.s^{-1} in the last two decades (0.05 m.s^{-1} per decade and 0.005 m.s^{-1} per year). This increase can be considered insignificant, since an increase of this magnitude practically does not modify the intensity of the heat or humidity transport processes, due to the effect of the wind in the region. Therefore, on an interannual scale, there have been no changes in the last two

de tendencia, obtenida como una función lineal, presentó una pendiente positiva, lo que indica un incremento anual. Según los resultados obtenidos, se ha producido un incremento de 0,23 °C en las últimas dos décadas en el PND, es decir, un incremento de 0,01 °C por año (0,11 °C por década).

decades, in the processes of transport and dispersion of chemical substances in the atmospheric environment of the PND.

Evolution and seasonal trend (TEE)

In order to deepen the interannual variation, four months were selected

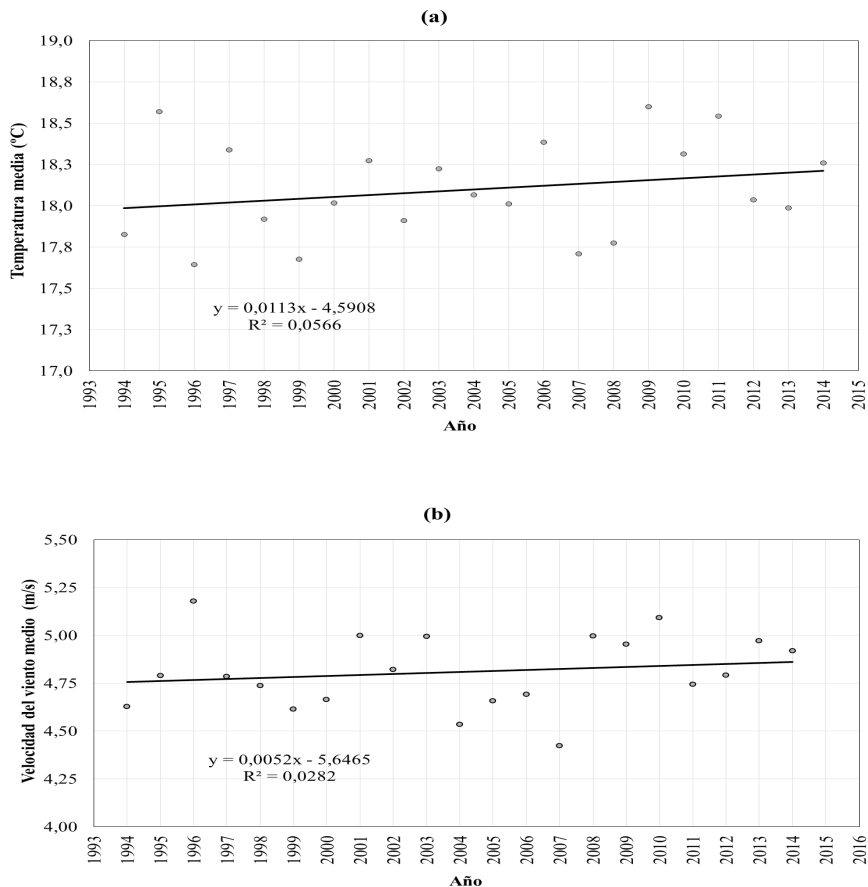


Figura 3. Evolución y tendencia interanual de la temperatura media (a) y velocidad del viento (b) en el Parque Nacional Doñana, España.

Figure 3. Evolution and interannual trend of the mean temperature (a) and wind speed (b) in the Parque Nacional Doñana, Spain.

De la misma forma, la figura 3b, muestra la evolución interanual de la velocidad media del viento, presentando fluctuaciones interanuales con una máxima de $5,2 \pm 2,3 \text{ m.s}^{-1}$ en el año 1996 y una mínima de $4,4 \pm 1,7 \text{ m.s}^{-1}$ en el año 2007. La línea de tendencia presentó una función también lineal con pendiente positiva, lo que indicaría un incremento de $0,1 \text{ m.s}^{-1}$ en las dos últimas décadas ($0,05 \text{ m.s}^{-1}$ por década y $0,005 \text{ m.s}^{-1}$ por año). Este incremento se puede considerar no significativo, puesto que un incremento de esta magnitud prácticamente no modifica la intensidad de los procesos de transporte del calor o la humedad, por efecto del viento en la región. Por tanto, a escala interanual no se están produciendo modificaciones en las últimas dos décadas, en los procesos de transporte y dispersión de sustancias químicas en el medio atmosférico del PND.

Evolución y tendencia estacional (ETE)

Con el objeto de profundizar en la variación interanual, se seleccionaron cuatro meses como representativos de las cuatro estaciones del año. Así, por ejemplo, lo que se representa en la figura 4 y figura 5, para cada uno de los meses representativos, se obtuvo del valor medio de todos esos meses (enero, abril, julio y octubre) de estas dos últimas décadas. Además, se aplicó la misma estrategia de análisis que en la evolución interanual y la línea de tendencia.

as representative of the four seasons of the year. Thus, for example, what is represented in figure 4 and figure 5, for each of the representative months, was obtained from the average value of all those months (January, April, July and October) of these last two decades. In addition, the same analysis strategy was applied as in the interannual evolution and the trend line.

Temperature

During the winter season, represented by the month of January (figure 4a), between the maximum of $12.8 \pm 1.9 \text{ }^\circ\text{C}$ in 1996 and the minimum of $8.9 \pm 2.3 \text{ }^\circ\text{C}$ in 2005, there was a temperature variation of $3.9 \text{ }^\circ\text{C}$. Likewise, it is observed that the trend line presented a negative slope, with a decrease of $0.26 \text{ }^\circ\text{C}$ in the last two decades ($0.13 \text{ }^\circ\text{C}$ per decade and $0.01 \text{ }^\circ\text{C}$ per year).

Regarding the spring season, represented by the month of April (figure 4b), it is observed that there was a temperature variation of $3.6 \text{ }^\circ\text{C}$ in the studied period, registering a maximum of $18 \pm 1.8 \text{ }^\circ\text{C}$ on 2011 and a minimum of $14.4 \pm 1.3 \text{ }^\circ\text{C}$ on 2000. The trend line presented a positive slope, with an increase in the last 21 years in the PND of $0.46 \text{ }^\circ\text{C}$ ($0.22 \text{ }^\circ\text{C}$ per decade and $0.02 \text{ }^\circ\text{C}$ per year). Regarding the summer season, represented by the month of July (figure 4c), it is observed that there was a temperature variation of $3,7 \text{ }^\circ\text{C}$, registering a maximum of $27.5 \pm 1.3 \text{ }^\circ\text{C}$ in 2010 and a minimum of $23.8 \pm 2.1 \text{ }^\circ\text{C}$ in 1997. The trend line presented a positive slope, with an increase of $0.04 \text{ }^\circ\text{C}$ per year, which indicates an increase in the last two

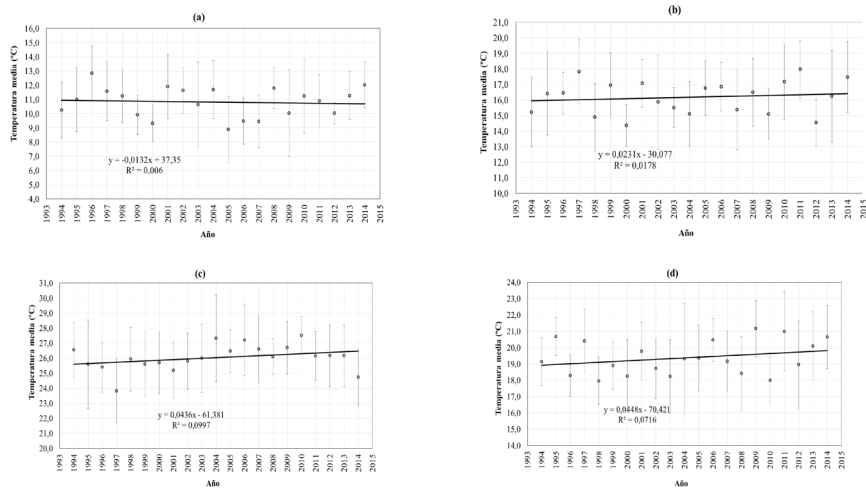


Figura 4. Evolución y tendencia estacional de la temperatura media en verano (a), primavera (b), verano (c) y otoño (d) en el Parque Nacional Doñana, España.

Figure 4. Evolution and seasonal trend of the average temperature in summer (a), spring (b), summer (c) and autumn (d) in the Parque Nacional Doñana, Spain.

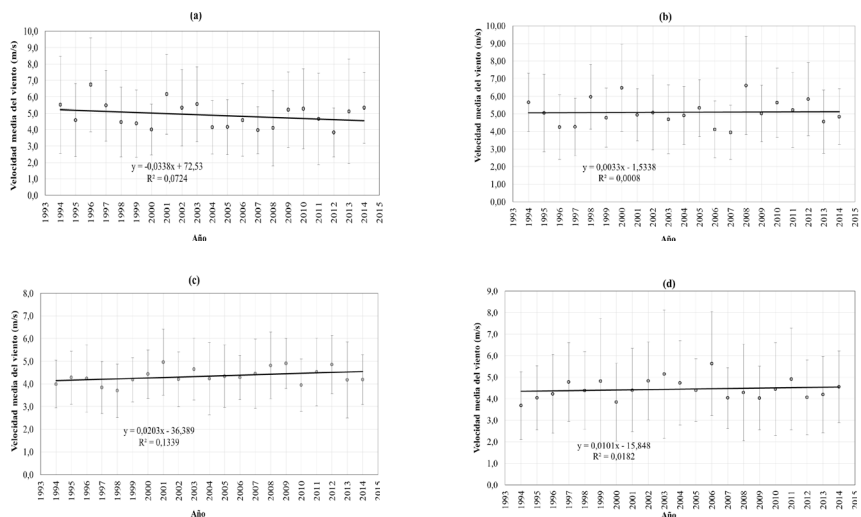


Figura 5. Evolución y tendencia estacional de la velocidad del viento en invierno (a), primavera (b), verano (c) y otoño (d) en el Parque Nacional Doñana, España.

Figure 5. Evolution and seasonal trend of wind speed in winter (a), spring (b), summer (c) and autumn (d) in the Parque Nacional Doñana, Spain.

Temperatura

Durante la estación de invierno, representado por el mes de enero (figura 4a), entre la máxima de $12,8 \pm 1,9$ °C en el año 1996 y el mínimo de $8,9 \pm 2,3$ °C en el año 2005, hubo una variación de temperatura de 3,9 °C. Asimismo, se observa que la línea de tendencia presentó una pendiente negativa, con un descenso de 0,26 °C en las dos últimas décadas (0,13 °C por década y 0,01 °C por año).

En cuanto a la estación de primavera, representado por el mes de abril (figura 4b), se observa que hubo una variación de temperatura de 3,6 °C en el periodo estudiado, registrándose una máxima de $18 \pm 1,8$ °C en el año 2011 y una mínima de $14,4 \pm 1,3$ °C en el año 2000. La línea de tendencia presentó una pendiente positiva, con un incremento en los últimos 21 años en el PND de 0,46°C (0,22 °C por década y 0,02 °C por año). Respecto a la estación de verano, representado por el mes de julio (figura 4c), se observa que hubo una variación de temperatura de 3,7 °C, registrándose una máxima de $27,5 \pm 1,3$ °C en el año 2010 y una mínima de $23,8 \pm 2,1$ °C en el año 1997. La línea de tendencia presentó una pendiente positiva, con un incremento de 0,04 °C por año, lo cual indica un incremento en las dos últimas décadas de casi un grado (0,87 °C) y 0,42 °C por década.

Durante la estación de otoño, representado por el mes de octubre (figura 4d), se observa que hubo una variación de temperatura de 3,2 °C durante el periodo estudiado, registrándose una máxima de $21,2 \pm 1,7$ °C en el año 2009 y una mínima de $18,0 \pm 1,4$ °C en el año 1998. Asimismo, de nuevo la línea de tendencia presenta una pendiente positiva, con

decades of almost one degree (0.87 °C) and 0.42 °C per decade.

During the autumn season, represented by the month of October (figure 4d), it is observed a variation in temperature of 3.2 °C during the studied period, registering a maximum of 21.2 ± 1.7 °C on 2009 and a minimum of 18.0 ± 1.4 °C on 1998. Likewise, again the trend line shows a positive slope, with an annual increase of 0.04 °C, per decade of 0.43 °C and almost one degree in the last two decades (0.91 °C).

The analysis of temperature interannual variation in the four seasons of year, showed different results. While winter had negative trend, that is, a cooling, the rest of the months showed a warming trend. This trend became more intense as the year progresses, obtaining increases in summer and autumn that doubled those of spring. If this trend were to continue in the coming decades, winters would be colder, but the drop in temperature could be mild, less than 0.5 °C until mid-century.

However, springs would be warmer with an overall increase of approximately 0.8 °C from now until 2050. The most notable increase would occur in summer and autumn, practically in the warmer seasons, period from June - July until October, with the trend obtained of 0.42 °C increase per decade. In addition, in the next 35 years (year 2050) the temperature in the PND could increase approximately 1.5 °C in these seasons. Value obtained agrees with increases of two studies for the same area and region, where a range of 1.4 °C to 3.8 °C

un incremento anual de 0,04 °C, por década de 0,43 °C y casi un grado en las dos últimas décadas (0,91 °C).

El análisis de la variación interanual de la temperatura en las cuatro estaciones del año, mostró resultados distintos. Mientras que, el invierno presentó una tendencia negativa, es decir, un enfriamiento, el resto de los meses muestra una tendencia al calentamiento. Esta tendencia se hizo más intensa conforme avanza el año, obteniéndose incrementos en verano y otoño que duplicaron a los de primavera. Si esta tendencia se mantuviera en las próximas décadas, los inviernos serían más fríos pero el descenso de temperatura pudiera ser suave, menor de 0,5 °C hasta mitad de siglo.

Sin embargo, las primaveras serían más cálidas, con un incremento general de aproximadamente 0,8 °C desde el presente hasta el año 2050. El incremento más notable se produciría en verano y otoño, prácticamente en las estaciones más cálidas, periodo desde junio-julio hasta octubre, con la tendencia obtenida de 0,42 °C de incremento por década. Además, en los próximos 35 años (año 2050) se pudiera incrementar la temperatura en el PND aproximadamente 1,5 °C en dichas estaciones. El valor obtenido concuerda con los incrementos de dos estudios para esa misma zona y región, donde se señala un rango de 1,4 °C a 3,8 °C (Hulme y Sheard, 1999) y 1,5 °C (Stucker y Lopez-Gunn, 2014) para la década del 2050. Por lo que la proyección resultante de este estudio no estaría lejos de la realidad que podría ocurrir en los próximos 35 años (2015 - 2050).

is indicated (Hulme and Sheard, 1999) and 1.5 °C (Stucker and Lopez-Gunn, 2014) for the 2050 decade. Therefore, the projection resulting from this study would not be far from the reality that could occur in the next 35 years (2015 - 2050).

According to Giannakopoulos *et al.* (2005), the fact that mean maximum temperatures are higher than mean of daily maximums, would mean that it is the higher temperature values that are increasing their frequency. This means that summer heat waves could spread to equinoctial seasons. According to Fernández and Borja (2006), the variation of climate predicted for the next century in the Doñana area shows a clear tendency to become arid. In respect to control mean, established for the period 1961 to 1990 in mentioned study, projections of the regional scenarios mainly translate into an increase in the average daily temperatures of around 2 - 3 °C, this being more pronounced increase in summer time.

Wind speed

During the winter season, represented by the month of January (figure 5a), there was a variation in wind speed of 3.2 m.s⁻¹, registering a maximum of 7.3 ± 2.9 m.s⁻¹ in the year 1996 and a minimum of 4.1 ± 1.5 m.s⁻¹ in 2012. Also, it is observed that the trend line presented a negative slope, with a decrease of 0.68 m.s⁻¹ in the last two decades (0.32 m.s⁻¹ per decade and 0.03 m.s⁻¹ per year).

Regarding the spring season, represented by the month of April (figure 5b), it is observed that there was a variation in the wind speed of 2.7 m.s⁻¹

Según Giannakopoulos *et al.* (2005), el hecho de que la media de las temperaturas máximas sea superior a la media de las máximas diarias, vendría a significar que son los valores más elevados de la temperatura los que están incrementando su frecuencia. De lo que se deriva que las olas de calor estivales podrían extenderse a las estaciones equinocciales. De acuerdo con Fernández y Borja (2006), la variación del clima prevista para el próximo siglo en el área de Doñana muestra una clara tendencia a convertirse en árido. Con respecto a la media de control, establecida para el periodo de 1961 a 1990 en el estudio citado, las proyecciones de los escenarios regionales se traducen, principalmente, en un aumento de las temperaturas medias diarias en torno a 2-3 °C, siendo este aumento más pronunciado en época estival.

Velocidad del viento

Durante la estación de invierno, representado por el mes de enero (figura 5a), hubo una variación de la velocidad del viento en 3,2 m.s⁻¹, registrándose una máxima de 7,3 ± 2,9 m.s⁻¹ en el año 1996 y una mínima de 4,1 ± 1,5 m.s⁻¹ en el año 2012. Asimismo, se observa que la línea de tendencia presentó una pendiente negativa, con un descenso de 0,68 m.s⁻¹ en las dos últimas décadas (0,32 m.s⁻¹ por década y 0,03 m.s⁻¹ por año).

En cuanto a la estación de primavera, representado por el mes de abril (figura 5b), se observa que hubo una variación de la velocidad del viento de 2,7 m.s⁻¹ durante el periodo estudiado, registrándose una máxima de 6,6 ± 2,8 m.s⁻¹ en el año 2008 y una

during the period studied, registering a maximum of 6.6 ± 2.8 m.s⁻¹ in 2008 and a minimum of 3.9 ± 1.5 m.s⁻¹ in 2007. The trend line presented a positive slope, with an increase over the last 21 years in the PND of 0.07 (0.03 m.s⁻¹ per decade and 0.003 m.s⁻¹ per year).

Regarding the summer season, represented by the month of July (figure 5c), it is observed that there was a variation in the wind speed of 1.26 m.s⁻¹, registering a maximum of 4.9 ± 1.5 m.s⁻¹ in 2001 and a minimum of 3.7 ± 1.2 m.s⁻¹ in 1998. The trend line presented a positive slope, with an increase of 0,02 m.s⁻¹ per year, which indicates a increase in the last two decades of 0.41 m.s⁻¹ and 0.20 m.s⁻¹ per decade.

Regarding the autumn season, represented by the month of October (figure 5d), it is observed that there was a variation of the wind speed in 1.95 m.s⁻¹ during the period studied, registering a maximum of 5.6 ± 2.4 m.s⁻¹ in 2006 and a minimum of 3.7 ± 1.6 m.s⁻¹ in 1994.

The analysis of interannual variation of wind speed in the four seasons of the year, showed, as in temperature, different results. While winter had negative trend, that is, less windy and reduced dispersive capacity, rest the of the months showed a trend to become more windy and with it, greater atmospheric circulation. This trend increased slightly as the year progresses, obtaining increases in summer and autumn, greater than those of spring. If this trend were to continue in the coming decades, it could be indicate that winters would be less windy, reaching a drop of 1.18 m.s⁻¹

mínima de $3,9 \pm 1,5 \text{ m.s}^{-1}$ en el año 2007. La línea de tendencia presentó una pendiente positiva, con un incremento en los últimos 21 años en el PND de 0,07 ($0,03 \text{ m.s}^{-1}$ por década y $0,003 \text{ m.s}^{-1}$ por año).

Respecto a la estación de verano, representado por el mes de julio (figura 5c), se observa que hubo una variación de la velocidad de viento de $1,26 \text{ m.s}^{-1}$, registrándose una máxima de $4,9 \pm 1,5 \text{ m.s}^{-1}$ en el año 2001 y una mínima de $3,7 \pm 1,2 \text{ m.s}^{-1}$ en el año 1998. La línea de tendencia presentó una pendiente positiva, con un incremento de $0,02 \text{ m.s}^{-1}$ por año, lo cual indica un incremento en las dos últimas décadas de $0,41 \text{ m.s}^{-1}$ y $0,20 \text{ m.s}^{-1}$ por década.

Respecto a la estación de otoño, representado por el mes de octubre (figura 5d), se observa que hubo una variación de la velocidad del viento en $1,95 \text{ m.s}^{-1}$ durante el lapso estudiado, registrándose una máxima de $5,6 \pm 2,4 \text{ m.s}^{-1}$ en el año 2006 y una mínima de $3,7 \pm 1,6 \text{ m.s}^{-1}$ en el año 1994.

El análisis de la variación interanual de la velocidad del viento en las cuatro estaciones del año, mostró, al igual que la temperatura, resultados distintos. Mientras que, el invierno presentó una tendencia negativa, es decir, menos ventosa y con capacidad de dispersión reducida, el resto de meses mostró una tendencia a tornarse más ventosa y con ello mayor circulación atmosférica. Esta tendencia se fue incrementando de forma leve conforme avanza el año, obteniéndose incrementos en verano y otoño mayores que los de primavera. Si esta tendencia se mantuviera en

until the middle of the century (2050), decreasing dispersive capacity at that time of year. However, the springs would be windier, with a general and smooth increase of approximately 0.12 m.s^{-1} from the present to the year 2050. The most notable increase would occur in summer and autumn, which would be the windiest seasons, having a trend of approximately 0.20 m.s^{-1} and 0.10 m.s^{-1} increase per decade, respectively. Also, in the next 35 years (2050) the wind speed in the PND could increase approximately to 0.71 m.s^{-1} in summer and 0.35 m.s^{-1} in autumn.

The results obtained in this section indicate that winters have a trend to be slightly colder and with lower wind speeds. In this season, the typical meteorological scenarios in the region are characterized by continental flows (interior of the Iberian Peninsula and European continent), channeled through the Guadalquivir valley; but mainly by oceanic flows (from the West), that is to say from the Atlantic Ocean (Giorgi and Lionello, 2008). In this sense, the trends that are obtained suggest the reduction of inflows from the west, which are windier and warmer, as well as the increase in continental air flows from northern Europe, colder and with less speed.

According to Fernández and Borja (2006), a reduction in rainfall is expected (for a rise in temperature of 2°C) that can reach $-110 \text{ mm.year}^{-1}$, as well as the number of rainy days that make it last the current dry season. And, for the last third of the century, a notable increase in evapotranspiration

las próximas décadas, se pudiera indicar que los inviernos serían menos ventosos pudiendo llegar a descender $1,18 \text{ m.s}^{-1}$ hasta la mitad del siglo (2050), disminuyendo la capacidad dispersiva en esa época del año. Sin embargo, las primaveras serían más ventosas, con un incremento general y suave de aproximadamente $0,12 \text{ m.s}^{-1}$ desde el presente hasta el año 2050. El incremento más notable se produciría en verano y otoño, las cuales serían las estaciones más ventosas, teniendo una tendencia de aproximadamente $0,20 \text{ m.s}^{-1}$ y $0,10 \text{ m.s}^{-1}$ de incremento por década, respectivamente. Asimismo, en los próximos 35 años (2050) se pudiera incrementar la velocidad del viento en el PND aproximadamente hasta $0,71 \text{ m.s}^{-1}$ en verano y $0,35 \text{ m.s}^{-1}$ en otoño.

Los resultados obtenidos en esta sección indican que los inviernos presentan una tendencia a ser ligeramente más fríos y con velocidades del viento menor. En esta estación, los escenarios meteorológicos típicos en la región se caracterizan por flujos continentales (interior de la Península Ibérica y continente Europeo), canalizados a través del valle del Guadalquivir; pero principalmente por flujos oceánicos (del Oeste), es decir del Océano Atlántico (Giorgi y Lionello, 2008). En ese sentido, las tendencias que se obtienen sugieren la reducción de la entrada de flujos del Oeste, más ventosos y cálidos, así como el incremento de los flujos de aire continental del norte de Europa, más fríos y con menor velocidad.

Según Fernández y Borja (2006),

in autumn, as well as, in general, an increase in wind speed of around 5 %.

The significant reduction in soil moisture expected for the area (derived, as already indicated, from the combination between a decrease in rainfall and an increase in temperatures and evapotranspiration) will cause an increase in periods potentially suitable for remobilization of the sand grains by the wind, which will be helped by the loss of vegetation and the foreseeable clearing of the scrub (Borja and Gómez-Ponce, 2002). If we add to this the 5 % increase in wind speed expected between now and 2100 for the Gulf of Cádiz area, everything points to the fact that the next century could witness a reactivation of wind processes in the Doñana ecosystems.

Conclusions

The monthly average evolution of temperature and wind speed, in the period 1994 - 2014, in the Parque Nacional Doñana, had a usual curve, that is, in the first and last months of the year, the temperature is lower and the wind speed is higher, compared to other months of the year, and vice versa.

The average annual temperature range was $15.3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, typical of a Mediterranean climate, and associated with the thermoregulatory effect of the Atlantic Ocean.

These variables showed an interannual evolution associated with the typical meteorological scenarios of each year, which are not always regular, resulting in temperatures

se prevé una reducción de las precipitaciones (para una subida de 2 °C de temperatura) que puede llegar hasta -110 mm.año^{-1} , así como del número de días de lluvia que hacen que se prolongue el actual periodo de estiaje. Y, para el último tercio del siglo, un incremento notable de la evapotranspiración en otoño, así como, en general, un incremento de la velocidad del viento en torno a un 5 %.

La importante reducción de la humedad del suelo prevista para la zona (derivada, como ya se indicó, de la combinación entre un descenso de las precipitaciones y un aumento de las temperaturas y la evapotranspiración) provocará un incremento de los periodos potencialmente aptos para la removilización de los granos de arena por el viento, lo cual se verá ayudado por la pérdida de vegetación y el previsible aclarado del matorral (Borja y Gómez-Ponce, 2002). Si a ello unimos el aumento del 5 % de la velocidad del viento previsto de aquí al 2100 para el área del Golfo de Cádiz, todo apunta a que el próximo siglo podría asistirse a una reactivación de los procesos eólicos en los ecosistemas de Doñana.

Conclusiones

La evolución promedio mensual de la temperatura y velocidad del viento, en el período 1994 - 2014, en el Parque Nacional de Doñana, presentó una curva habitual, es decir en los primeros y últimos meses del año, la temperatura es menor y la velocidad de viento es mayor, respecto a los demás meses del año, y viceversa.

between 17.6 to 18.6 °C and wind speeds between 4.4 to 5.2 m.s^{-1} . The linear adjustment of the interannual evolution shows positive trends of 0.11 °C and 0.05 m.s^{-1} per decade for the temperature and wind speed, respectively.

Seasonal analysis of the two studied variables shows a negative trend line in the colder winter months, indicating that it would become less warm as well as less windy. Specifically, there has been a reduction of 0.13 °C and 0,32 m.s^{-1} per decade in the last 21 years.

End of English Version

La amplitud térmica media anual de temperatura fue de 15,3 °C, típica de un clima Mediterráneo, y asociado al efecto termorregulador del Océano Atlántico.

Estas variables muestran una evolución interanual asociada a los escenarios meteorológicos típicos de cada año, los cuales no son siempre regulares, resultando temperaturas entre 17,6 a 18,6 °C y velocidades de viento entre 4,4 a 5,2 m.s^{-1} . El ajuste lineal de la evolución interanual, muestra tendencias positivas de 0,11 °C y 0,05 m.s^{-1} por década para la temperatura y velocidad de viento, respectivamente.

El análisis estacional de las dos variables estudiadas muestra en los meses más fríos de invierno, una línea de tendencia negativa, que indica que se tornaría menos cálida, así como menos ventosa. Concretamente se ha producido una reducción de 0,13 °C y 0,32 m.s^{-1} por década en los últimos 21 años.

Literatura citada

- Borja, F. y C. Gómez-Ponce. 2002. Cambios recientes de usos del suelo y respuestas morfohidrográficas en cuencas menores y marismas del sector NW del Parque Nacional de Doñana. p. 31-36. En: Pérez González, A., Vegas, J. y Machado, M.J. (Eds.). Aportaciones de la Geomorfología de España en el inicio del Tercer Milenio. SEG - IGME, Serie Geología nº 1. Madrid.
- Campbell-Lendrum, D., C. Corvalán y M. Neira. 2007. Global climate change: implications for international public health policy. *Bull. World Health Organ.* 85(3): 235-237.
- Cortez, A., B. Olivares, R. Parra, D. Lobo, M.F. Rodríguez y J.C. Rey. 2018. Descripción de los eventos de sequía meteorológica en localidades de la cordillera central, Venezuela. *Ciencia, Ingenierías y Aplicaciones.* I (1):22-44. Doi: <http://dx.doi.org/10.22206/cyap.2018.v1il.pp23-45>.
- Dee, D., S. Uppala, A. Simmons, P. Berrisford, P. Poli, S. Kobayashi y F. Vitart. 2011. The ERA-Interim re-analysis: Configuration and performance of the data assimilation system. *Q. J. R. Meteorol. Soc.* 137(656):553-597.
- Estévez, J., P. Gavilán y A. García-Marín. 2011. Data validation procedures in agricultural meteorology-A prerequisite for their use. *Adv. Sci. Res.* 6: 141 - 146.
- Fernández, M. y F. Borja. 2006. Doñana y cambio climático: Propuestas para la mitigación de los efectos. WWF/Adena, Madrid. 67 p.
- Flörke, M., C. Schneider y R.I. McDonald. 2018. Water competition between cities and agriculture driven by climate change and urban growth. *Nat. Sustain.* (1):51- 58.
- Galán, D., y J.L. Garrido. 2012. Cambio climático: Perspectivas Futuras. *Observatorio Ambiental.* 15(1):15-18. Disponible en <http://revistas.ucm.es/index.php/OBMD/article/viewFile/40329/38707>. Fecha de consulta: julio 2017.
- Giannakopoulos, C., M. Bindi, M. Moriondo, P. LeSager y T. Tin. 2005. Climate Change Impacts in the Mediterranean resulting from a 2 °C global temperature rise. *National Observatory of Athens.* Ed: WWF, Switzerland. 75 p.
- Giorgi, F. y P. Lionello. 2008. Climate change projections for the Mediterranean region. *Glob. Planet. Change.* 63:90-104.
- Green, A.J., J. Bustamante., G.F.E. Janss., R. Fernández-Zamudio y C. Díaz-Paniagua. 2016. Doñana Wetlands (Spain). p. 1-14. *In: The Wetland Book II: Distribution, Description and Conservation; Finlayson, C.M., Milton, R., Prentice, C., Davidson, N.C., Eds.; Springer: Dordrecht, The Netherlands.*
- Hernández, R., Y. Pereira., J.C. Molina, R. Coelho, B. Olivares y K. Rodríguez. 2017. Calendario de siembra para las zonas agrícolas del estado Carabobo en la República Bolivariana de Venezuela. Editorial Universidad Internacional de Andalucía, Sevilla, Spain. 247 p.
- Hulme, M. y N. Sheard. 1999. Climate change scenarios for the Iberian Peninsula. *Climate Research Unit.* Norwich, UK. 6 p. Disponible en: <http://whc.unesco.org/en/climatechange>
- Instituto Geográfico Nacional (IGN). 2015. Conceptos y diversidad Climática. Centro Nacional de Información Geográfica. Madrid, España. Disponible en <http://www.ign.es/ign/main/index.do>. Fecha de consulta: julio 2017.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2007. Cambio climático 2007: Informe de síntesis. Contribución de los Grupos de trabajo I, II y III al Cuarto Informe de evaluación del Grupo Intergubernamental de Expertos sobre el cambio climático. OMM. Ginebra, Suiza. 103 p.
- Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). 2014. Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate

Change. In: Core Writing Team, R.K. Pachauri and L.A. Meyer (Eds.). IPCC, Geneva, Switzerland.

King, D., D. Bachelet, A. Symstad, K. Ferschweiler y M. Hobbins. 2015. Estimation of potential evapotranspiration from extraterrestrial radiation, air temperature and humidity to assess future climate change effects on the vegetation of the Northern Great Plains. USA. *Ecol. Model.* 297: 86-97.

Martín-López, B., M. García-Llorente, I. Palomo y C. Montes. 2011. The conservation against development paradigm in protected areas: Valuation of ecosystem services in the Doñana social-ecological system (southwestern Spain). *Ecol. Econom.* (70): 1481-1491.

Moyano, M. C., M. García, A. Palacios-Orueta, L. Tornos, J. Fisher, N. Fernández, L. Recuero, y L. Juana. 2018. Vegetation Water Use Based on a Thermal and Optical Remote Sensing Model in the Mediterranean Region of Doñana. *Remote Sens.* 10: 1-23. Doi:10.3390/rs10071105.

Navascués, B., J. Calvo, G. Morales, C. Santos, A. Callado, A. Cansado, J. Cuxart, M. Díez, P. del Río, P. Escribà, O. García-Colombo, J.A. García-Moya, C. Geijo, E. Gutiérrez, M. Hortal, I. Martínez, B. Orfila, J. Parodi, E. Rodríguez, y J. Sánchez-Arriola. 2013. Long-term verification of HIRLAM and ECMWF forecasts over Southern Europe: History and perspectives of Numerical Weather Prediction at AEMET. *Atmos. Res.* 125-126: 20-33.

Nobre, C., P. Sellers y J. Shukla. 2015. Amazonian deforestation and regional climate change. *J. Clim.* 4(10): 957-988.

Observatorio de Cambio Global de Doñana (OCGD). 2016. Espacio Natural de Doñana. Gobierno de España. Disponible en: <http://www.ebd.csic.es/observatorio-cambio-global>. Fecha de consulta: julio 2017.

Olivares, B. 2018. Tropical conditions of seasonal rain in the dry-land agriculture of Carabobo, Venezuela. La Granja: *Life Sci.* 27(1):86-102.

Olivares, B. y M.L. Zingaretti. 2018. Análisis de la sequía meteorológica en cuatro localidades agrícolas de Venezuela mediante la combinación de métodos multivariados. *UNED Research Journal.* 10 (1):181-192.

Olivares, B., E. Guevara, Y. Oliveros y L. López. 2013a. Aplicación del índice de confort térmico como estimador del estrés calórico en la producción pecuaria de la Mesa de Guanipa, estado Anzoátegui. *Zootec. Trop.* 31 (3): 209-223.

Olivares, B., R. Hernández, R. Coelho, J.C. Molina y Y. Pereira. 2018. Analysis of climate types: Main strategies for sustainable decisions in agricultural areas of Carabobo, Venezuela. *Sci. Agropecu.* 9(3): 359-369. Doi: 10.17268/sci.agropecu.2018.03.07.

Olivares, B., R. Parra, A. Cortez y M.F. Rodríguez. 2013b. Application of statistics procedures for the quality control of the monthly rainfall series in the Venezuelan Oriental Plains. *Rev. Fac. Agron. (LUZ).* 30(3): 367-391.

Olivares, B. y M.L. Zingaretti. 2019. Aplicación de métodos multivariados para la caracterización de periodos de sequía meteorológica en Venezuela. *Revista Luna Azul.* 48 (2): 172-192.

Organización Meteorológica Mundial (OMM). 2011. Guía de prácticas climatológicas. OMM-N° 100. OMM, Suiza. 128 p. Disponible en http://www.wmo.int/pages/prog/wcp/ccl/guide/documents/wmo_100_es.pdf. Fecha de consulta: julio 2017.

Oñate, J., D. Pereira y F. Suárez. 2012. Strategic environmental assessment of the effects of european union regional development plans in Doñana National Park. *Environ. Manage.* 31(5):642-655 Doi: 10.1007/s00267-002-2932-z.

Paredes-Trejo, F. y B. Olivares. 2018. El desafío de la sequía en Venezuela. p. 127-136. En: Núñez Cobo, J. y Verbist, K. (Eds.). *Atlas de Sequía de América Latina y el Caribe*. Francia: UNESCO.

Parra, R., B. Olivares, A. Cortez, D. Lobo, M.F. Rodríguez y J.C. Rey. 2018. Características de la sequía

meteorológica (1980-2014) en dos localidades agrícolas de los andes venezolanos. *Revista de Investigación*. 42(95):38-55.

Rodríguez, M.F., A. Cortez, B. Olivares, J.C. Rey, R. Parra y D. Lobo. 2013. Análisis espacio temporal de la precipitación del estado Anzoátegui y sus alrededores. *Agron. Trop.* 63(1-2): 57-65.

Schewe, J., J. Heinke, D. Gerten, I. Haddeland, N.W. Arnell, D.B. Clark, R. Dankers, S. Eisner, B.M. Fekete, y F.J. Colón-González. 2014. Multimodel assessment of water scarcity under climate change. *Proc. Natl. Acad. Sci. USA*. 111: 3245-3250.

Smith, J., N. Bhatti, G. Menzhulin, R. Benioff, M. Campos, B. Jallow y R. Dixon. 2012. *Adapting to climate change: an international perspective*. Springer Science & Business Media. New York, USA. 475 p.

Stucker, D. y E. Lopez-Gunn. 2014. *Adaptation to Climate Change through Water Resources Management: Capacity, Equity and Sustainability*. Earthscan Studies in Water Resource Management. Routledge ed. Inglaterra, UK. 446 p.

Turner, J., S. Colwell, G. Marshall, T. Lachlan-Cope, A. Carleton, P. Jones y S. Iagovkina. 2015. Antarctic climate change during the last 50 years. *Int. J. Climatol.* 25(3):279-294.