



## APROXIMACIÓN A LAS TENDENCIAS PLUVIOMÉTRICAS SECULARES EN DOÑANA

Arturo Sousa<sup>1</sup>, Julia Morales<sup>1</sup>, Mónica Aguilar<sup>2</sup> y Leoncio García-Barrón<sup>3</sup>

Las variaciones y fluctuaciones climáticas juegan un papel clave en la alimentación y temporalidad de las lagunas. Estos cambios tienen mayor peso cuanto más sostenidos son en el tiempo. Por ello, las tendencias climáticas seculares deben ser consideradas como un elemento fundamental para entender no solo los cambios en las lagunas de Doñana, sino también cómo se ha generado su situación actual. Son muy escasos los trabajos que analizan con detalle la variación climática, a pesar de que son imprescindibles para entender el funcionamiento y para la gestión de los ecosistemas de Doñana (Custodio y col., 2009). Las razones de ello son diversas, una de las principales es la inexistencia de series meteorológicas que superen el siglo, y que puedan aportar un patrón a escala secular.

Esta limitación la hemos superado generando una serie pluviométrica de casi dos siglos a la que denominaremos “*Doñana Secular*”. Para obtener esta serie, que abarca el período 1817-2010, hemos tomado como referencia el observatorio Palacio de Doñana (1979-2010). Los huecos en los datos de esta serie (6 %) se han completado utilizando la relación lineal con las series mejor correlacionadas del entorno. Para ampliar el período temporal, desde 1920 a 1979, se han empleado regresiones lineales múltiples con las series meteorológicas próximas de Sanlúcar de Barrameda (Cádiz), Huelva y San Fernando (Cádiz). El período 1817-1920 se ha completado solo con las series mensuales homogeneizadas de San Fernando siguiendo un proceso análogo. De esta forma se ha generado la serie mensual unificada representativa del comportamiento pluviométrico del área de Doñana durante los dos últimos siglos. La correspondencia de los resultados, durante el periodo de simultaneidad, es muy alta lo que valida el procedimiento y además no se detectan inhomogeneidades en los años de conexión metodológica (1920 y 1979).

Aunque no existen en Andalucía series climáticas instrumentales que superen dos siglos, sí existen series generadas a partir de datos asimilados o proxy data (informes eclesiásticos, nobiliarios o capitulares, rogativas, inundaciones, etc.) que representan con bastante exactitud las tendencias de precipitación desde 1500 hasta nuestros días. Estos estudios (Rodrigo y col., 1994, 1999, 2000 y 2012) muestran que desde el S. XVI al XIX -durante el período conocido como *Pequeña Edad del Hielo* (PEH) o *Little Ice Age*- se alternaron en Andalucía los períodos húmedos (finales del S. XVI, comienzos del S. XVII y finales del S. XIX) y los períodos secos (mediados del S. XVI y del S. XVIII).

La Figura 1 representa el comportamiento de la precipitación anual en la serie “*Doñana Secular*” desde 1817 hasta 2010. La suavización obtenida por ajuste polinómico – línea azul- permite visualizar las correspondientes fluctuaciones temporales. El área en azul claro resalta los períodos que presentan una precipitación media superior al promedio de 1981-2010 destacando la presencia de dos pulsos húmedos (el primero y más destacado a finales del S. XIX, y el segundo a partir de los años 60 del S. XX). Esta figura muestra

1. Departamento de Biología Vegetal y Ecología, Universidad de Sevilla.
2. Departamento de Geografía Física y AGR, Universidad de Sevilla.
3. Departamento de Física Aplicada II, Universidad de Sevilla.



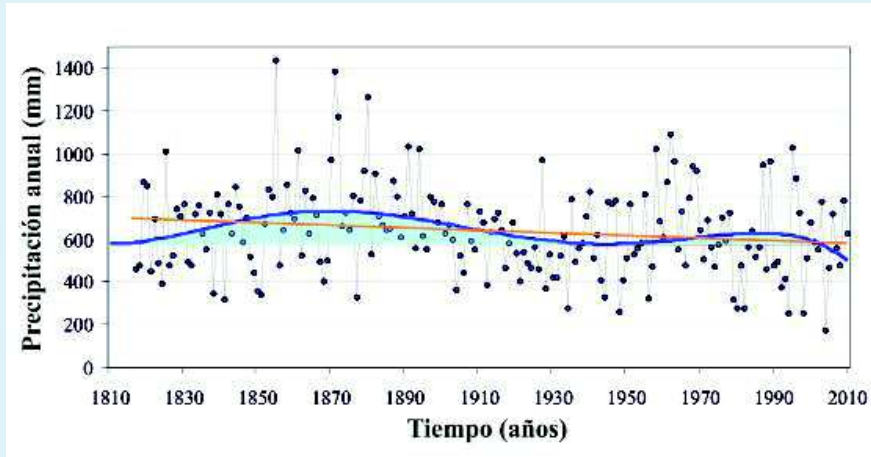


Figura 1. Tendencias seculares de la precipitación total anual en el Espacio Natural de Doñana.

que las precipitaciones disminuyeron progresivamente desde finales del S. XIX (tendencia lineal de color naranja), solo interrumpida por anomalías positivas en la década de los años 60 del S. XX. Sin embargo, debido a la gran irregularidad interanual el valor promedio no es indicador suficiente para establecer los efectos ambientales en periodos plurianuales.

Pero no solo es relevante cuánto llueve sino también cómo se distribuye esa precipitación a lo largo del año. En general, en Andalucía la precipitación está muy ligada a la posición e intensidad del anticiclón de las Azores y al valor de la oscilación del Atlántico Norte o NAO (Castro-Díez y col., 2007). En el caso de Doñana, la distribución pluviométrica intraanual muestra un perfil triangular asimétrico ascendente a partir de septiembre, con un máximo en diciembre-enero, y descendente hasta julio-agosto. En los dos últimos siglos la distribución estacional es: invierno (42 %), otoño (31%) y primavera (24 %), esta última de menor relevancia cuantitativa pero de gran importancia biológica. La contribución de las lluvias estivales con tormentas locales intensas y escaso aporte al total anual (< 2.5 %), no la consideramos relevante para el objeto de este estudio.

Este patrón pluviométrico corresponde a un clima típicamente mediterráneo suavizado por el efecto oceánico del Atlántico. Un incremento de precipitación de los primeros 6 meses del año hidrológico (otoño e invierno), repercute en el proceso de alimentación y llenado de las cubetas lagunares y, por tanto, en las especies que a ellas se asocian. Es destacable que en el suroeste de la península Ibérica se detecta una tendencia decreciente sostenida de la precipitación primaveral (sobre todo en el mes de marzo), de aproximadamente 1/3 del total estacional a lo largo del S. XX (Aguilar, 2007; García-Barrón, 2007). En la Figura 2 hemos representado las curvas de ajuste polinómico de quinto grado que marcan las tendencias en la serie "Doñana Secular".

En la Figura 2 se aprecia como el tercer y último pulso húmedo de la PEH supone un incremento de las precipitaciones otoñales, invernales y primaverales. En cambio en los años 60 del S. XX las precipitaciones primaverales no participan en esta pequeña fase húmeda. Resulta llamativo que las tendencias de cambio sean diferentes en las distintas estaciones del año, especialmente en el caso del patrón primaveral durante



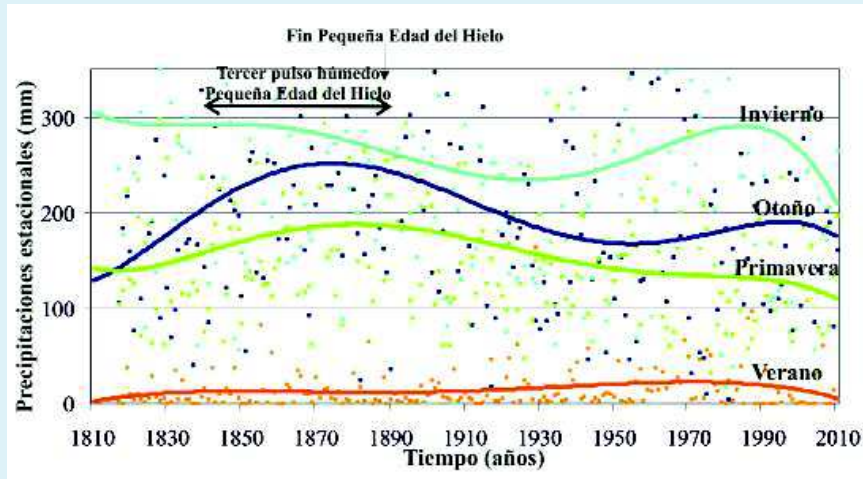


Figura 2. Tendencias seculares de la precipitación estacional representadas a través de las curvas de ajuste polinómico de quinto grado. La nube de puntos corresponde a los valores mensuales de precipitación estacional.

los S. XX-XXI, lo que nos hace pensar en la posible influencia de factores no naturales. Estos cambios se incluyen en el patrón general de irregularidad en la precipitación del suroeste de la península Ibérica (García-Barrón y col., 2011; Sousa y col., 2013). El área de Doñana ha tenido una gran variabilidad en la precipitación con una continua alternancia de períodos húmedos y secos de diferente duración temporal (Sousa y col., 2010). En el futuro parece probable que este patrón se mantenga e incluso se acentúe. Para visualizar esto hemos analizado las desviaciones acumuladas de la precipitación anual durante los últimos dos siglos (Figura 3a), junto con la frecuencia acumulada de años húmedos y secos (Figura 3b).

El patrón de alternancia de períodos húmedos y secos se mantiene durante los S. XIX y XX (Figura 3A), aunque con menor intensidad que en los siglos anteriores. Por tanto, la irregularidad interanual e intraanual de la precipitación es un rasgo intrínseco del clima de Doñana que los ecosistemas han internalizado paulatinamente. Esta irregularidad se puede apreciar muy bien si representamos (a través de los percentiles 60 y 40 de la distribución de la precipitación anual), la frecuencia acumulada de años húmedos y secos (Figura 3b). En esta gráfica se aprecia cómo la frecuencia de años secos se incrementa a partir del S. XX (tras el tercer y último pulso húmedo de la PEH en Andalucía). El análisis conjunto de las Figuras B3a y B3b permite reconocer un punto de inflexión asociado al cambio del S. XIX al XX (este punto de cambio todavía se acentúa más si se analizan las tendencias acumuladas respecto del promedio de la primera treintena de la serie 1820-1850).

Un análisis basado en la aportación de los modelos climáticos regionales, frente a los escenarios climáticos futuros, podría completar el significado de este proceso histórico descrito y el papel que puede estar jugando la influencia antropogénica en los forzamientos radiativos.



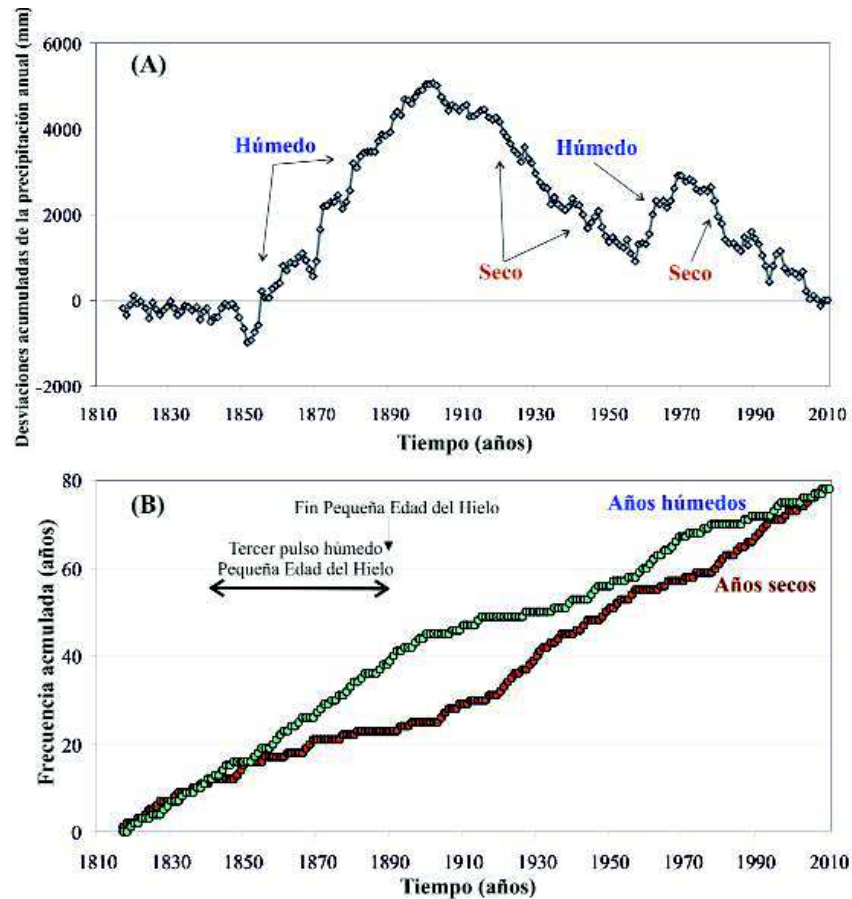


Figura 3. (A) Desviaciones acumuladas de la precipitación anual respecto a la serie completa (1817-2010). (B) Frecuencia acumulada de años húmedos y de años secos.

## REFERENCIAS

- Aguilar, M. (2007) Cambios y tendencias recientes en las precipitaciones de Andalucía. En: Sousa, A., García-Barrón, L., Jurado, V. (Coords.) *Climate Change in Andalusia: trends and environmental consequences*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla. Pp: 99-116.
- Castro-Díez, Y., Esteban-Parra, M.J., Staudt, M., Gámiz-Fortis, S. (2007) Temperature and precipitation changes in Andalusia in the Iberian Peninsula and Northern Hemisphere context. En: Sousa, A., García-Barrón, L., Jurado, V. (Coords.) *Climate Change in Andalusia: trends and environmental consequences*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla. Pp: 57-77.
- Custodio, E., Manzano, M., Montes, C. (2009). *Las aguas subterráneas en Doñana. Aspectos ecológicos y sociales*. Agencia Andaluza del Agua, consejería de Medio Ambiente, Sevilla.
- García-Barrón, L. (2007) La evolución climática del Suroeste de la Península Ibérica basada en registros instrumentales. En: Sousa, A., García-Barrón, L., Jurado, V. (Coords.) *Climate Change in Andalusia: trends and environmental consequences*. Consejería de Medio Ambiente, Sevilla. Pp 81-95.
- García-Barrón, L., Aguilar, M., Sousa, A. (2011). *Evolution of annual rainfall irregularity in the southwest of the Iberian Peninsula*. *Theoretical and Applied Climatology* 103, 13-26.





- Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J., Castro-Diez, Y. (1994). An Attempt to Reconstruct the Rainfall Regime of Andalusia (Southern Spain) from 1601 A.D. to 1650 A.D. Using Historical Documents. Climatic Change 27, 397-418.
- Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J., Pozo-Vázquez, D., Castro-Diez, Y. (1999). A 500 year precipitation record in Southern Spain. International Journal of Climatology 19, 1233-1253.
- Rodrigo, F.S., Esteban-Parra, M.J., Pozo-Vázquez, D., Castro-Diez, Y. (2000). Rainfall variability in Southern Spain on decadal to centennial times scales. International Journal of Climatology 20, 721-732.
- Rodrigo, F.S., Gómez-Navarro, J.J., Montávez, J.P. (2012). Climate variability in Andalusia (southern Spain) during the period 1701-1850 based on documentary sources: evaluation and comparison with climate model simulations. Climate of the Past 8, 117-133.
- Sousa, A., García-Murillo, P., Sahin, S., Morales, J., García-Barrón, L. (2010). Wetland place names as indicators of manifestations of recent climate change in SW Spain (Doñana Natural Park). Climatic Change 100, 525-557.
- Sousa, A., Morales, J., García-Barrón, L., García-Murillo, P. (2013). Changes in the Erica ciliaris Loeffl. ex L. peat bogs of southwestern Europe from the 17th to the 20th centuries AD. Holocene 23, 255-269.

