

LA DESAPARICIÓN DE LAS LAGUNAS DEL ENTORNO DE DOÑANA (HUELVA, ESPAÑA) Y SU RELACIÓN CON CAMBIOS CLIMÁTICOS RECIENTES

Arturo SOUSA MARTÍN*; Pablo GARCÍA MURILLO*;
Maribel GONZÁLEZ PÉREZ** y Leoncio GARCÍA BARRÓN**

* *Departamento de Biología Vegetal y Ecología*

** *Departamento de Física Aplicada II*

Universidad de Sevilla

RESUMEN

En este estudio se trata de poner de manifiesto si existe relación entre la desaparición de un amplio número de lagunas en el litoral oriental onubense y cambios recientes en el clima. Para ello se ha realizado una reconstrucción de la superficie ocupada por estos humedales, aproximadamente desde principios del siglo XVII, empleando fotos aéreas, imágenes de satélite, microrelieve y fuentes históricas. Estos datos son comparados con la actividad humana en la zona, y con las series de precipitación más largas disponibles en el entorno. De esta forma se revela el impacto de la actividad antrópica sobre estos humedales desde la segunda mitad del siglo XX, pero no se explica la reducción de las lagunas de carácter turboso y de algunas grandes lagunas temporales desde finales del siglo XIX.

El análisis de las series de precipitación, con ayuda de los quintiles de la distribución, pone en evidencia la disminución -justo en este período- del número de años húmedos, y en cambio se incrementa el número de años secos. De manera que se detecta un punto de inflexión climático, concretamente a finales del siglo XIX, coincidiendo con la finalización de la Pequeña Edad del Hielo.

Palabras clave: Cambio climático, Pequeña Edad del Hielo, Doñana, lagunas, turberas.

ABSTRACT

The main objective of this study is to make clear if there exists a relationship between the disappearance of a great number of lagoons in the eastern coast of the province of Huelva and the recent climate changes. For that reason a reconstruction of the reduction of the surface occupied by these wetlands since around the beginning of 17th century has been made, using aerial photos data, satellite images, microrelieve studies and historical sources. These data are compared with the human activity in this zone, and with the longest available environmental rainfall series, so that the antropic activity impact upon these wetlands since the middle of 20th century is revealed, but the peat bogs and large temporary lagoons reduction since the end of 19th century is not explained.

However the rainfall series analysis along with the distribution quintiles emphasizes the diminution of the number of wet years in that period. On the other hand, the number of dry years is increased, so that a climate inflexion point is detected at the end of 19th century, coinciding in our opinion with the end of the Little Ice Age.

Key words: Climatic change, Little Ice Age, Doñana, lagoon, peat bogs.

1. INTRODUCCIÓN

Los humedales son ecosistemas que, por su propia naturaleza, tienden a desaparecer en un proceso evolutivo de colmatación (PÉREZ GAGO, 2001). Pero la acción del hombre ha provocado en las últimas décadas la aceleración de este proceso y otros efectos igualmente negativos, de forma que se ha perdido una gran parte de su superficie original.

GONZÁLEZ BERNÁLDEZ (1992) considera que los humedales son probablemente el tipo de ecosistema que ha sufrido mayores y más profundas transformaciones por las acciones humanas. De hecho las estimaciones existentes en la actualidad consideran que ha desaparecido entre el 75% y el 80% de la superficie de humedales europeos (GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, 1992; CUSTODIO, 2001).

Es posible que los efectos de cambios climáticos recientes sobre los humedales queden enmascarados por el impacto más reciente de la actividad del hombre. Por tanto, si se quiere realizar un análisis completo de la evolución de los humedales, y de las causas que han intervenido en su desaparición y regresión, es necesario elegir un período de tiempo de varios siglos atrás. De esta forma se puede intentar analizar hasta qué punto la regresión de estos ecosistemas tan importantes se debe al hombre, o tienen su génesis en alteraciones de las variables climáticas (como la precipitación), que hayan repercutido de manera irreversible en los ciclos de llenado y alimentación.

Para ello es importante seleccionar una zona de estudio lo menos alterada posible por el impacto de las actividades humanas, y donde existan diferentes tipos de humedales que puedan responder de manera distinta al impacto de la actividad antrópica y a cambios naturales, como los vinculados al clima.

En este sentido el sector oeste del Parque Natural de Doñana (Abalario), es una zona ideal ya que se trata de un espacio muy poco alterado por la actividad del hombre hasta mediados del siglo XX, y donde se encuentran un gran número de pequeñas lagunas, tanto de carácter temporal, como de origen turboso (y con un ciclo más permanente).

2. ÁREA DE ESTUDIO

El ámbito de estudio se circunscribe a las lagunas turbosas, permanentes y temporales de El Abalario, que se localizan en el litoral onubense oriental (entre las desembocaduras de los ríos Tinto y Guadalquivir), en el sector oeste del Parque Natural de Doñana. En total el espacio estudiado ocupa unas 25.000 ha situadas íntegramente dentro del Manto Eólico Litoral onubense (LEYVA y PASTOR, 1976), dentro de los municipios de Almonte, Moguer y Lucena del Puerto.

Los numerosos complejos lagunares que se sitúan en la zona han sido alterados durante la segunda mitad del siglo XX, debido fundamentalmente a la intensa reforestación de la zona con pinos y eucaliptos.

Climáticamente el área de estudio participa del dominio de los climas mediterráneos definidos por la isoterma de 18°C, con matices de meridionalidad y marcada influencia oceánica (BORJA y

DÍAZ DEL OLMO, 1987). Esta influencia oceánica se manifiesta por inviernos templados (temperatura media de las mínimas del mes más frío 4,4° C), veranos más suaves [temperatura media del mes más cálido 31,8 °C; (ALLUE, 1990)], y un mayor volumen de precipitaciones. De acuerdo a los datos de la estación meteorológica de Bodegonos (que se sitúa en el límite del área estudiada), la temperatura media anual para el período 1951-1980 fue de 16,3 °C, y la media anual de precipitaciones 678,4 mm.

3. MATERIAL Y MÉTODO

Dentro de la metodología hay que distinguir entre aquella que se ha empleado para obtener datos sobre la evolución histórica de la superficie ocupada por las lagunas, y la que hace referencia al análisis de las series pluviométricas más largas existentes en el entorno de la zona.

3.1. Datos de evolución de las lagunas

Para la reconstrucción de la superficie ocupada por las lagunas de la zona ha sido necesario emplear una metodología diversa, en función de la fuente de información disponible en cada época histórica. En la tabla 1 se presenta la cronología de las diferentes fuentes empleadas para reconstruir la superficie ocupada por las lagunas.

Tabla 1. Fuentes de datos empleadas para reconstruir las lagunas desaparecidas

Fecha	Imágenes de Satélite	Fotografía aérea	Fuentes documentales y cartografía histórica	Microrelieve
Situación original (≅ siglo XVII)	No	No	Si	Si
Finales siglo XIX	No	No	Si	Si
1956	LANSAT-TM (1986)	Si	No	No
1987	LANSAT-TM (1990) y SPOT (1989)	Si	No	No

De esta forma se cartografió en primer lugar la superficie ocupada por las lagunas (temporales y permanentes), del área estudiada en 1987 sobre la base del Mapa Topográfico de Andalucía a E. 1:10.000. Sobre este mismo soporte cartográfico se delineó posteriormente la superficie ocupada en 1956, a finales del siglo XIX, y a principios del siglo XVII. Posteriormente, en estos mapas, se midió la superficie que ocupaban las diferentes lagunas en cada período, empleándose para ello un planímetro *PLANIX 5000*.

La eficacia y posibilidades de esta metodología para la reconstrucción de grandes áreas húmedas desaparecidas ya ha sido puesta de manifiesto por SOUSA y GARCÍA-MURILLO (2002 y 2003).

3.2. Datos climáticos

Por otro lado se ha realizado una prospección de las series climáticas más largas del entorno del espacio objeto de estudio. Concretamente se han tomado en consideración los datos de precipitación de los observatorios recogidos en la tabla 2.

Tabla 2. Estaciones con las series pluviométricas más largas en el entorno de las lagunas estudiadas

Observatorio	Serie	Serie completa más larga
Sanlúcar de Barrameda "INM" (5906)	1888-2000	1913-1987
Huelva (4605)	1903-1984	1903-1983
Palos de la Frontera (4645)	1955-2000	1956-1975
Almonte "Los Bodegones" (5851)	1951-1983	1951-1981
Almonte "La Mediana" (5856)	1952-1983	1962-1977
Trebujena (5900)	1911-2000	1912-1957
Cádiz "Cortadura" (5973)	1839-2000	1853-1892
San Fernando (5972)	1805-2000	1838-1985
Jerez de la Frontera "Base Aérea" (5960)	1912-2000	1912-1985
Jerez de la Frontera "Pantano Guadalquivir" (5950)	1909-2000	1910-1978

Puesto que el objetivo no es completar las series (interpolando por cualquiera de las metodologías existentes las lagunas existentes), se han desestimado aquellas estaciones con series largas pero incompletas, o con numerosas lagunas en los datos. Lo mismo ocurre con aquellas que son más completas, pero con series de datos más cortas o más alejadas del área de estudio.

Por todo ello se han elegido sólo las tres estaciones que presentan las series de datos más completas (sin lagunas) y que se solapan entre ellas durante el último período de 30 años disponible (1951-1980): San Fernando, Sanlúcar de Barrameda y Huelva.

4. RESULTADOS

4.1. Evolución de la superficie ocupada por las lagunas

Los resultados del análisis de la evolución de la superficie ocupada por las lagunas, como se puede ver en la figura 1, ponen de manifiesto una regresión desde principios del siglo XVII.

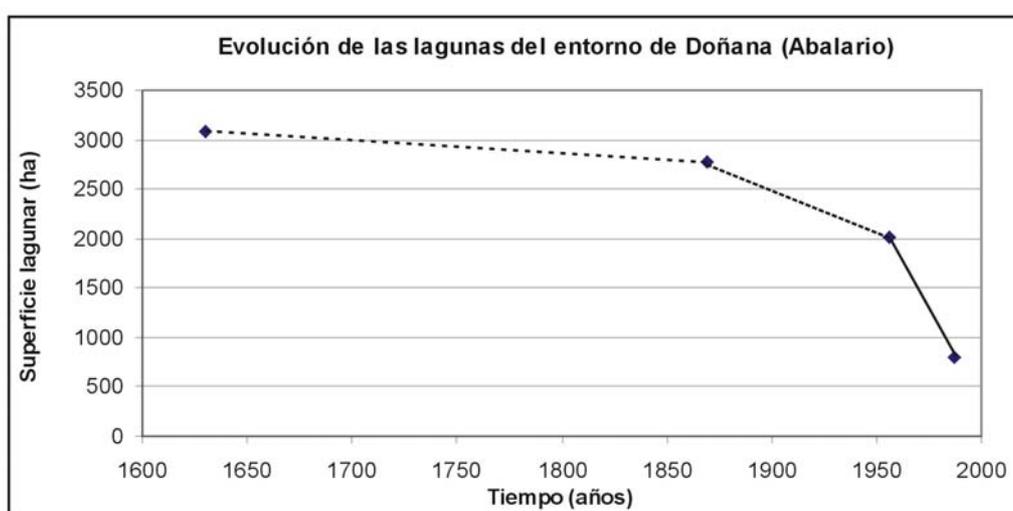


Fig. 1. Superficie ocupada por las lagunas de Abalarío desde el siglo XVII al XX

Esta disminución de la superficie ocupada por las lagunas se acentúa desde finales del siglo XIX, y se hace todavía más marcada durante la primera mitad del siglo XX, coincidiendo con la intensa actividad antrópica en la zona. En la figura 1 se marca con trazo más o menos continuo, en función de la precisión y exactitud de la fuente de datos empleada en cada momento (Tabla 1).

4.2. Evolución de la secuencia de años secos y húmedos, de acuerdo a la precipitación

Si se representan de manera conjunta los datos de la evolución de la precipitación en las tres estaciones seleccionadas, se aprecia que las gaditanas son más húmedas que la onubense. Por otro lado existe una correlación aceptable entre todas ellas (lo que indica una evolución similar a lo largo del tiempo). Concretamente para el período 1951-1980 el Coeficiente de Correlación de Pearson sube hasta 0,60 y 0,61 entre la estación de Huelva y las de Cádiz (Sanlúcar y San Fernando, respectivamente), para un $p < 0,05$. Esta correlación aumenta hasta 0,92 entre las dos estaciones gaditanas (siempre con $n = 30$ y $p < 0,05$).

Aunque se han realizado todos los cálculos para las tres estaciones, los resultados más interesantes, al objeto de este trabajo, corresponden a la estación de San Fernando por ser la única de las tres que abarca el siglo XX, y gran parte del siglo XIX.

En la evolución anual de la precipitación en la estación de San Fernando, con los datos disponibles, no resulta fácil reconocer tendencias visualmente. Sin embargo si estos mismos datos se presentan suavizando las tendencias -mediante el empleo de medias móviles cada 10 años- el resultado cambia notoriamente. Lo que sí resulta muy útil para marcar las tendencias de períodos más secos y más húmedos. Para resaltar y caracterizar estas tendencias se calcula la media aritmética de precipitación anual durante el último período disponible de 30 años (1951-1980), y se traza una línea a partir de ella. De forma que los valores (y años) que queden por encima de esta línea corresponderán a períodos húmedos en relación con la precipitación media de los últimos 30 años, y los que queden por debajo corresponderán a períodos secos. La salida gráfica de todo ello se puede ver en la figura 2.



Fig. 2. Evolución suavizada de las tendencias en la precipitación de la estación de San Fernando

La figura 2 muestra claramente dos picos húmedos coincidiendo el más importante y amplio con el período climático denominado Pequeña Edad del Hielo. Por tanto se observa un importante punto de inflexión climático a finales del siglo XIX (en coincidencia con las tendencias que marcan los trabajos de GARCÍA BARRÓN -2000, 2002a y 2000b-), para los observatorios del suroeste de España.

Revisando la bibliografía se destaca que esta fase húmeda -que finalizó con el siglo XIX- corresponde a uno de los tres picos húmedos, de un período climático más amplio, denominado Pequeña Edad del Hielo. BARRIENDOS y MARTÍN VIDE (1998) datan este último pico para la España mediterránea entre 1830-1870, y RODRIGO *et al.* (1994 y 1999) a finales del siglo XIX para Andalucía.

Dado que el objetivo de este análisis es tratar de discernir el efecto que estos cambios han podido tener sobre las lagunas, y la vegetación higrofitica asociada a ellas en el Manto Eólico Litoral onubense, resulta conveniente representar estos datos de otra forma. Concretamente se va a calcular la evolución del número de años Muy secos, Secos, Normal, Húmedos y Muy húmedos, de manera que se pueda representar su tendencia a lo largo de los dos últimos siglos.

Para ello es necesario establecer un criterio que permita clasificar cada año como Muy seco, Seco, Normal, Húmedo o Muy húmedo. Con este objeto se ha empleado -al igual que hace el Instituto Nacional de Meteorología (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1995) o recomienda ARLÉRY *et al.*, 1973-, el uso de quintiles que dividen la distribución entre 5 intervalos, de acuerdo al período de referencia (en este caso 1951-1980). El Instituto Nacional de Meteorología español utiliza el método de los quintiles para clasificar los meses o años en cinco categorías como se recoge en la tabla 3.

Tabla 3. Tipos de años según la precipitación empleando el análisis de los quintiles

Calificación	Precipitación	Quintila
Muy seco	0-20 %	Inferior al 1º
Seco	20-40 %	Entre el 1º y 2º
Normal	40-60 %	Entre el 2º y 3º
Húmedo	60-80 %	Entre el 3º y 4º
Muy húmedo	80-100 %	Superior al 4º

Este método tiene la ventaja de que puede obviar las lagunas de datos, ya que el cálculo del tipo de año hidrológico se realiza en función de la precipitación total de cada año (para la media del período de referencia), independientemente de la precipitación de los años anteriores y posteriores. Al aplicar esto a la serie del observatorio de San Fernando se obtiene la figura 3.

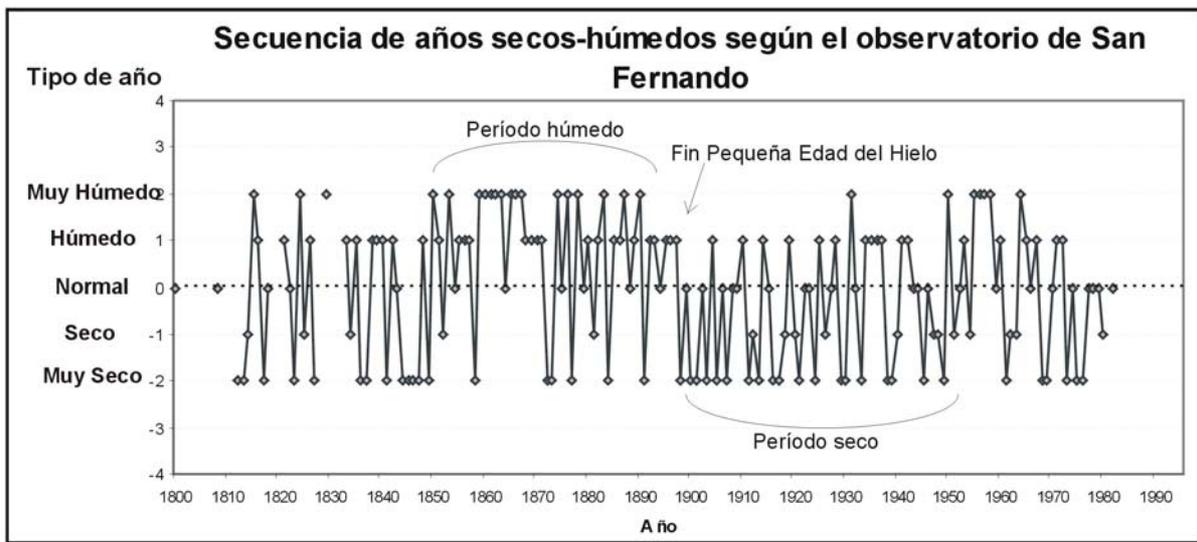


Fig. 3. Principales períodos de años húmedos y secos, de acuerdo a la serie de precipitación

Esta gráfica confirma la idea de que a finales del siglo XIX disminuye el número de años húmedos, y en cambio se incrementa el número de años secos o muy secos. Este cambio de tendencia coincide con la finalización de la Pequeña Edad Hielo, y pone de manifiesto un punto de inflexión o de cambio climático que aparece reflejado en la vegetación de brezo ciliado y tojo pinchado asociada a las cubetas de carácter turboso de las lagunas de Rivatehilos (SOUSA y GARCÍA MURILLO, 2003). Si estos mismos datos se representan de manera acumulada se obtiene la figura 4.

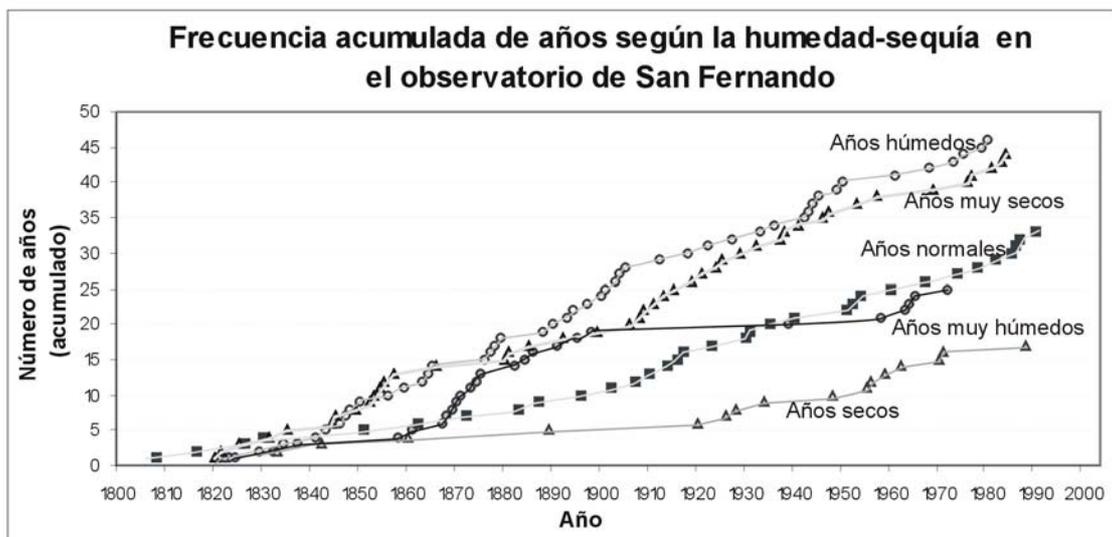


Fig. 4. Evolución de los años Muy secos, Secos, Normales, Húmedos y Muy húmedos, en la estación de San Fernando (Cádiz)

El análisis de los quintiles de la serie de precipitación de San Fernando permite representar la frecuencia acumulada de años Muy secos, Secos, Normales, Húmedos y Muy húmedos, de manera que se aprecia un incremento en la pendiente de los años húmedos a finales del siglo XIX. En esta figura se puede ver como la pendiente de los años húmedos aumenta coincidiendo con el último pico de la Pequeña Edad del Hielo (a mayor pendiente esto indica una serie de años húmedos, al ser una frecuencia acumulada), y en cambio la de los años Secos apenas se incrementa.

Para clarificar aún más esta tendencia se agrupó la frecuencia acumulada de años Húmedos y Muy húmedos por un lado, y la frecuencia acumulada de años Secos y Muy secos por otro. En la figura 5 se muestra el resultado de este análisis, marcando además con flechas aquellas zonas donde los cambios de pendiente indican puntos de inflexión en la secuencia general de años secos y húmedos.

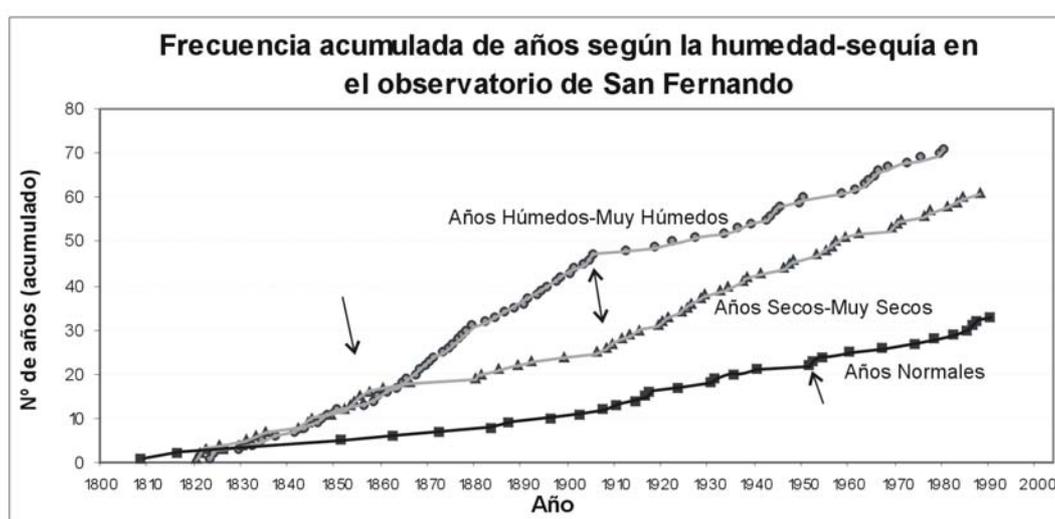


Fig. 5. Se marcan más claramente las tendencias ya explicadas en la figura anterior, destacando especialmente los puntos de inflexión en la última mitad del siglo XIX

En la figura 5 se aprecia cómo se incrementa la pendiente de años Húmedos/Muy húmedos (marcados con círculos) desde mediados del siglo XIX hasta principios del siglo XX, y de forma paralela disminuye para el mismo período la pendiente de años Secos/Muy secos. Se trata por tanto de un período especialmente húmedo a finales del siglo XIX.

Revisando la bibliografía se destaca que este período coincide aproximadamente con la última fase húmeda de la Pequeña Edad del Hielo. En cambio con el inicio del siglo XX se incrementa el número de años Secos/Muy secos (marcados con triángulos).

5. DISCUSIÓN. LA DESAPARICIÓN DE LAS LAGUNAS DEL ENTORNO DE DOÑANA Y EL FINAL DE LA PEQUEÑA EDAD DEL HIELO

Los resultados ponen de manifiesto que a finales del siglo XIX se inició un proceso de desecación de las formaciones palustres de la zona objeto de estudio. Este proceso de desecación conduce a la

drástica desaparición de las formaciones lagunares más extensas (SOUSA y GARCÍA MURILLO, 1999), así como la limitación a núcleos relicticos de la vegetación más sensible a un incremento en la aridez del clima. La coincidencia de este punto de inflexión con la finalización del último período húmedo de la Pequeña Edad del Hielo (1830-1870), resulta muy significativa.

Por tanto se detecta una pérdida de la suavidad climática o de atlanticidad, en la zona estudiada. Esta idea resulta muy coherente con el análisis de la Pequeña Edad del Hielo en el macizo de La Maladeta (Pirineos españoles), donde LAMPRE (1994) llega a la conclusión que desde el final de la Pequeña Edad del Hielo las temperaturas se han incrementado entre 0,56 y 0,86°C (en consonancia con estudios similares llevados a cabo en los Alpes). Por su parte RODRIGO *et al.* (2000), señalan que en Andalucía la precipitación disminuyó progresivamente desde finales del siglo XIX (salvo la anomalía de los años sesenta).

Este conjunto de opiniones y datos coinciden, a su vez, con los resultados de los análisis de las series de los observatorios onubenses obtenidos por GARCÍA BARRÓN (2000, 2002a y 2002b), que apuntan a una disminución de las precipitaciones primaverales y un incremento de las temperaturas mínimas, durante el siglo XX. Asimismo explican la presencia del último pico húmedo de la Pequeña Edad del Hielo a finales del siglo XIX, y el incremento de los años secos, de acuerdo con la serie de datos pluviométricos del observatorio de San Fernando (Cádiz).

Por tanto la desecación y desaparición de gran parte de las lagunas del entorno de Doñana parece estar vinculada con el fin de la Pequeña Edad del Hielo (siglo XIX). Posteriormente la actividad antrópica en la zona intensifica de manera exponencial este proceso regresivo, especialmente durante la segunda mitad del siglo XX (Fig. 1). Esto se debe fundamentalmente a la reforestación con eucalipto blanco (*Eucalyptus globulus*), y eucalipto rojo (*Eucalyptus camaldulensis*) de acuerdo a lo que establecen SOUSA y GARCÍA MURILLO (1998, 2000 y 2001).

6. CONCLUSIONES

La desaparición de la mayor parte de las lagunas del entorno de Doñana, y de algunas grandes lagunas temporales, parece vinculada a la finalización de la Pequeña Edad del Hielo. De manera que los efectos que tuvo este período climático sobre las latitudes mediterráneas, en comparación con latitudes más septentrionales, fueron claramente diferentes. La severidad de inviernos, que apuntan la mayoría de los trabajos realizados en latitudes más frías, se convierte, probablemente, en inviernos más suaves y húmedos en latitudes meridionales.

7. REFERENCIAS

- ALLUE, J.L. (1990). *Atlas fitoclimático de España. Taxonomías*. Instituto Nacional de Investigaciones Agrarias, Madrid.
- ARLERY, R.; GRISOLLET, H. and GUILMET, B. (1973). *Climatology. Méthodes et Pratiques*. Gauthier-Villars, París.
- BARRIENDOS, M. and MARTÍN VIDE, J. (1998). "Secular climatic oscillations as indicated by catastrophic floods in the Spanish mediterranean coastal area (14th-19th centuries)". *Climatic Change*, 38, pp. 473-491.
- BORJA, F. y DÍAZ DEL OLMO, F. (1987). "Complejos húmedos del Abalarío (Entorno de Doñana, Huelva)". *Oxyura*, 4 (1), pp. 27-44.

- CUSTODIO, E. (2001). Aguas subterráneas y humedales. En: FERNÁNDEZ URÍA, A. (Ed.). *VII Simposio de Hidrogeología*. Murcia, pp. 3-30.
- FERNÁNDEZ GARCÍA, F. (1995). *Manual de climatología aplicada*. Editorial Síntesis, Madrid.
- GARCÍA BARRÓN, L. (2000). *Análisis de series termoplúviométricas para la elaboración de modelos climáticos en el suroeste de España*. Tesis doctoral, Universidad de Sevilla.
- GARCÍA BARRÓN, L. (2002a). "Evolución del régimen de precipitaciones en el oeste de Andalucía". *Aestuarina*, 8, pp. 219-240.
- GARCÍA BARRÓN, L. (2002b). "Un modèle pour l'analyse de la sécheresse dans les climats méditerranéens". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 14, pp. 67-73.
- GONZÁLEZ BERNÁLDEZ, F. (1992). *Los Paisajes del Agua. Terminología popular de los humedales*. Revero Editores, Madrid.
- LAMPRE, F. (1994). La línea de equilibrio glacial y los suelos helados en el macizo de La Maladeta (Pirineo Aragonés): evolución desde la Pequeña Edad del Hielo y situación actual. En: MARTÍ BONO, C. & GARCÍA-RUIZ, J. M. (Eds.). *El glaciario surpirenaico: nuevas aportaciones*. Geoforma ediciones, pp. 125-142.
- LEYVA, F. y PASTOR, F. (1976). *Mapa Geológico Nacional. Hoja Moguer (1000). Memoria y mapa 1:50.000*. Instituto Geológico y Minero de España, Madrid.
- PÉREZ GAGO, M. (2001). Análisis de los trabajos publicados en revistas y congresos nacionales en relación con humedales españoles durante el período 1989-1999. En: FERNÁNDEZ URÍA, A. (Ed.). *VII Simposio de Hidrogeología*. Asociación Española de Hidrogeólogos, pp. 31-41.
- RODRIGO, F.S., ESTEBAN-PARRA, M.J. y 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, pp. 397-418.
- RODRIGO, F.S. et al. (1999). "A 500 year precipitation record in Southern Spain". *International Journal of Climatology*, 19, pp.1233-1253.
- RODRIGO, F.S. et al. (2000). "Rainfall variability in Southern Spain on decadal to centennial times scales". *International Journal of Climatology*, 20, pp. 721-732.
- SOUSA, A. y GARCÍA MURILLO, P. (1998). "Cambios históricos en el avenamiento superficial y la vegetación del Parque Natural de Doñana (Sector Abalarío, Huelva)". *Ería*, 46, pp. 165-182.
- SOUSA, A. and GARCÍA MURILLO, P. (1999). "Historical evolution of the Abalarío lagoon complex (Doñana Natural Park, SW Spain)". *Limnética*, 16, pp. 85-98.
- SOUSA, A. y GARCÍA MURILLO, P. (2000). *Los topónimos como indicadores de los cambios territoriales y la percepción del paisaje: el caso del Abalarío (Parque Natural de Doñana, Huelva)*. Colección Cuadernos de Almonte, 49, Almonte (Huelva).
- SOUSA, A. and GARCÍA-MURILLO, P. (2001). "Can place names be used as indicators of landscape changes?. Application to the Doñana Natural Park (Spain)". *Landscape Ecology*, 16(5), pp. 391-406.
- SOUSA, A. et GARCÍA MURILLO, P. (2002). "Méthodologie pour l'étude des effets du Petit Age Glaciaire dans le Parc Naturel de Doñana (Huelva, Espagne). Essai de reconstitution des formations palustres et du drainage superficiel". *Publications de l'Association Internationale de Climatologie*, 14, pp. 359-367.
- SOUSA, A. and GARCÍA-MURILLO, P. (2003). "Changes in the Wetlands of Andalusia (Doñana Natural Park, SW Spain) at the End of the Little Ice Age". *Climatic Change*, 58, pp. 193-217.