

EULÀLIA SANJAUME*
FRANCESCA SEGURA*
M^a JOSÉ LÓPEZ*
JOSEP PARDO**

TASAS DE SEDIMENTACIÓN EN L'ALBUFERA DE VALÈNCIA

RESUMEN

L'Albufera de València es uno de los ecosistemas más interesantes de la costa valenciana. Su perímetro se ha visto reducido por procesos naturales, pero sobre todo por acción antrópica. El presente trabajo trata de las características de los sedimentos y de las tasas de sedimentación en el lago de l'Albufera de València, basándose en análisis sedimentológicos de los sondeos realizados y en las dataciones radiométricas de algunas muestras. El análisis sedimentológico confirma el cambio que se ha producido en el medio albufereño desde un ambiente salobre hasta la actual situación de agua dulce. El aumento de tamaño de las conchas en las partes inferiores de los testigos de los sondeos, acompañado por el incremento en contenido de arcilla hacia la base y de los restos vegetales a medida que las conchas se hacen menos abundantes, apoyan la hipótesis de cambio de un medio salobre a uno dulceacuícola, conforme nos acercamos a la actualidad. Los resultados de las dataciones de C^{14} de los niveles ricos en conchas establece una tasa de sedimentación más baja que las estimaciones realizadas previamente y nos llevan a concluir que una gran cantidad de sedimentos quedan atrapados en las marjales periféricas y, por tanto, no alcanzan el lago propiamente dicho.

ABSTRACT

The Valencia lagoon is one of the most interesting ecosystems on the Valencian coast. Historically it has undergone a considerable reduction in surface area due to natural processes and mostly to human impact. Studies about lagoon sedimentation are of increasing scientific and economic value. This work concerns the sediment characteristics and the rates of sedimentation within the Valencia lagoon based on sedimentological analyses and ^{14}C dates from cores. The sedimentological analyses confirm the change in the lagoonal environment from a brackish situation to that of a freshwater situation. The lower quantities of plant remains in the cores at the same levels where shells are more abundant, as well as the increase in the shell size, and accompanying increase in clay content support the hypothesis of a change from brackish to a continental environment as the present is approached. The results of the carbon-dating of shell-rich layers establish a sedimentation rate lower than previous estimates and lead us to the conclusion that a great quantity of sediments are being trapped in the peripheral marshy area and do not reach the aquatic lagoon.

* Departament de Geografia. Universitat de València

** Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodesia y Fotogrametría, Universidad Politécnica de Valencia

INTRODUCCIÓN

El objetivo del presente trabajo es comprobar los modelos de relleno de l'Albufera de València a partir de las características sedimentológicas de sus materiales y obtener las tasas de acumulación en época histórica.

L'Albufera de València, una de las zonas húmedas más importantes de la costa mediterránea española por su valor ecológico, presenta una superficie de 2.350 ha y una profundidad que oscila entre 0,5 y 2,0 m. Una restinga, de unos 30 km de longitud y con una anchura de 500-1.000 m, separa la albufera del mar (SANJAUME, 1985). Tiene tres golos, dos de ellas naturales (la del Perelló y la del Perellonet) y una artificial (la del Pujol Nou), que conectan la albufera con el mar. Todas ellas tienen compuertas que controlan el intercambio de agua y el nivel de la superficie del lago (fig. 1).

Actualmente, la albufera recibe caudales de varias procedencias: barrancos periféricos (Massanassa, Picassent, Fondo, etc), acequias (Dreta, Overa, etc), manantiales locales - *ullals*-, así como de los ríos Túria y Xúquer durante los momentos de avenida. La albufera pierde agua por irrigación, evaporación y a través de las golos cuando las compuertas permanecen abiertas. El nivel de agua se controla para drenar e inundar los campos de arroz que se encuentran en su periferia, en la zona de marjal (fig. 2).

Históricamente, la albufera ha tenido muchos problemas. Uno de ellos ha sido las bonificaciones que se han producido en los últimos siglos y que han reducido considerablemente su superficie (Cuadro 1). La contaminación es otro de los problemas que actualmente amenaza la ecología natural del lago.

Desde el punto de vista biológico, algunos estudios de calidad del agua (MIRACLE *et al.*, 1984; SORIA, 1987) han revelado que l'Albufera es un sistema hipereutrófico, caracterizado por:

- escasa profundidad y circulación del agua limitada;
- excesivos nutrientes y un reducido régimen de oxígeno; y
- una productividad muy elevada (la biomasa puede exceder los 150 mg/l y la clorofila los 600 mg/m³).

Cuadro 1
REDUCCIÓN HISTÓRICA DE LA SUPERFICIE
DE L'ALBUFERA DE VALÈNCIA

Periodo	Superficie reducida (ha) (ha/año)	
1579-1761	2.038	11,2
1761-1820	3.960	67,1
1820-1863	1.186	42,1
1863-1877	3.180	227,1
1877-1903	1.619	62,3
1903-1927	277	11,5
1927-1988	765	12,5

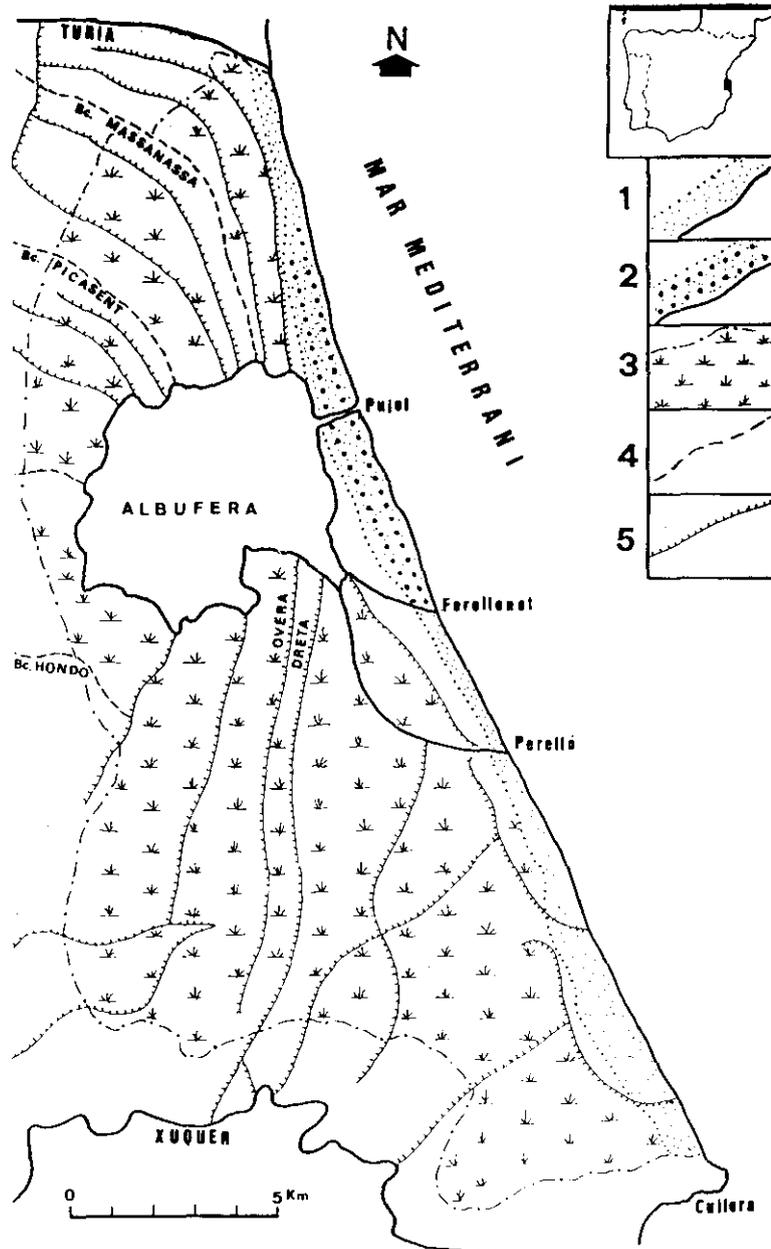


Fig. 1. Àrea de estudi. 1. Restinga; 2. Campo de dunas; 3. Marjal; 4. Barrancos; 5. Acequias

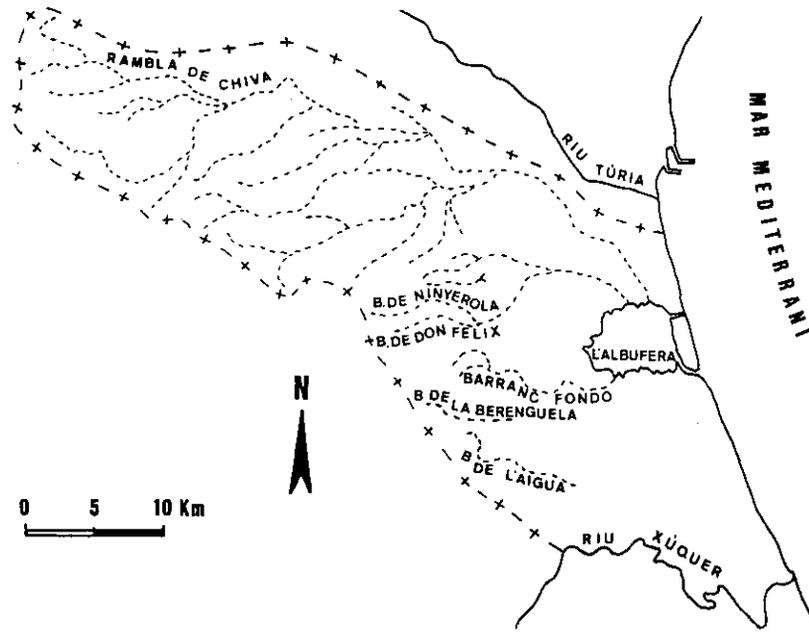


Fig. 2. Cuenca de drenaje de l'Albufera

Estudios recientes basados en imágenes de satélite Landsat 5 (TM) (LÓPEZ GARCÍA y CASELLES, 1987, 1990) confirman la distribución de las masas de agua en la albufera presentadas por Soria (1987). Pueden identificarse dos tipos de aguas: 1) las aportadas por los sistemas de drenaje, que generalmente presentan un bajo contenido en biomasa y niveles altos de nutrientes, y 2) agua de la albufera que utiliza la carga de nutrientes y consecuentemente tiene un alto valor de biomasa. A partir de esas imágenes se ha determinado que las entradas más importantes de agua a la albufera –en condiciones regulares– se producen por los canales del sur (Séquia de l'Overa y Séquia Dreta), seguidos por los de la zona norte (Barranc de Massanassa y Barranc de Picassent). Ocasionalmente, hay alguna entrada por el SW. Los flujos que penetran en l'Albufera crean una circulación de norte a sur a lo largo de la parte oriental del lago. Este modelo de circulación, junto con las salidas de agua al mar a través de las golas, es el responsable de que las mayores concentraciones de clorofila aparezcan en la parte W y SW del lago, donde las tasas de intercambio son más bajas.

EVOLUCIÓN HISTÓRICA DE L'ALBUFERA DE VALÈNCIA

El área de l'Albufera de València se ha reducido drásticamente en época histórica. Rosselló (1972, 1976) ha realizado una recopilación sistemática de la documentación existente, presentando un detallado resumen de su evolución histórica.

Muchos son los factores naturales que han contribuido al relleno de la albufera a lo largo de los años:

- los sedimentos traídos por el viento procedentes tanto de los relieves del postpaís como de la playa y de la restinga;
- la vegetación acuática que crece en la albufera;
- los materiales depositados por los barrancos que desembocan en el lago.

Sin embargo, la reducción más importante de la superficie de la albufera se ha producido durante los últimos 125 años –por *aterraments*– debido a la expansión de los campos de arroz. El relleno máximo se produjo a finales del siglo pasado, especialmente entre 1863 y 1903. Las formas rectilíneas de las orillas de l'Albufera serían reflejo de dichas bonificaciones, que finalizaron hace algunas décadas (Cuadro 1).

Nuestras mediciones de la actual superficie de l'Albufera fueron tomadas de las imágenes Thematic Mapper del Landsat. Se utilizó la banda 4, con una banda de longitud de onda de 0,76-0,90 μm , para discriminar los límites del lago de los campos de arroz. Utilizando seis imágenes distintas (16 de marzo, 29 de junio, 22 de julio, 17 de septiembre y 20 de noviembre de 1985 y 17 de enero de 1987), el área calculada fue de 2.394 ha \pm 70, oscilación producida, en parte, por la variación del nivel del agua en el lago a lo largo del año.

Cuadro 2
TASAS DE SEDIMENTACIÓN ESTIMADA POR DISTINTOS AUTORES

	tasas de sedimentación ($\text{m}^3/\text{año}$)	año de colmatación completa
GARCÍA LABRANDERO (1959)	758.500	2012
ALONSO PASCUAL <i>et al.</i> (1974)	160.000	2108
DAFAUCE (1975)	275.000	2053-2108
MINTEGUI <i>et al.</i> (1986)	151.134-357.419	2066-2195

APROXIMACIÓN AL PROBLEMA DE LA SEDIMENTACIÓN

La reducción del perímetro de l'Albufera en los últimos siglos, ha suscitado el interés de numerosos investigadores. Sin embargo, el conocimiento actual de las tasas de sedimentación es escaso debido a la falta de medidas directas. El balance hidrológico no puede ser calculado fácilmente debido a que no hay estaciones de aforo en el área. Además, el intercambio de agua y sedimentos entre la albufera y el mar es muy difícil de determinar. Actualmente, no existen datos disponibles sobre la cantidad de material que pierde la albufera a través de sus golgas cuando las compuertas están abiertas para facilitar el drenaje de los campos de arroz. Finalmente, la cantidad de sedimentos aportados por los barrancos y ríos (Túria y Xúquer) durante sus avenidas no ha sido medida.

Durante los últimos años han aparecido varios trabajos que hacen referencia a los problemas de contaminación y colmatación que sufre l'Albufera. La mayoría de ellos están basados en modelos teóricos, donde se estiman los *inputs* de agua y sedimentos que aportan al lago los numerosos ríos y acequias afluentes.

Algunos de estos trabajos sugieren que las tasas de sedimentación son muy altas, lo que provocaría la colmatación del lago en menos de 200 años. García Labrandero (1959) indicó que l'Albufera recibe 758.500 m³/año de sedimentos. Con este volumen tan elevado de materiales el relleno sería muy rápido y la colmatación total se produciría en torno al año 2012. Algunos años más tarde Alonso Pascual *et al.* (1974), estimaron que la cantidad de sedimentos aportados en suspensión por las acequias alcanzaba la cifra de 160.000 m³/año.

Dafauce (1975), por su parte, calculó que la degradación de la cuenca no protegida de l'Albufera era de 859.054 tm/año. Estos datos se obtuvieron aplicando el modelo de Fournier (1960) para averiguar la degradación específica de toda la cuenca de drenaje de l'Albufera. Considerando que al lago sólo llegan los sedimentos finos (limos y arcillas) y suponiendo que estos representan sólo el 40 % del total de materiales, el volumen de sedimentos disponible se estima en 359.000 tm/año. Si se admite que el peso específico es de 1.250 kg/m³, el volumen de sedimentos que llegaría al lago sería de 275.000 m³/año. El autor considera que el desfase entre esta cifra y la obtenida por Alonso Pascual *et al.* (1974) se explicaría porque una parte de los materiales queda retenida en los campos de la marjal. Por otro lado, Dafauce (1975), a partir de sus estimaciones y de las de Alonso Pascual *et al.* (1974) indica que el relleno de l'Albufera se producirá en un intervalo que oscila entre 134 años (considerando unos aportes de 160.000 m³/año) y 78 años (si el volumen de sedimentos es de 275.000 m³/año).

Minteguí *et al.* (1986) simulan la erosión, el transporte y la sedimentación en l'Albufera usando modelos teóricos de producción de sedimentos como la U.S.L.E. (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo), M.U.S.L.E. (Ecuación Universal de Pérdidas de Suelo Modificada) y modelos hidrológicos como el Número Hidrológico del U.S.D.A. o el Hidrograma Unitario H.Y.M.O. A partir de estos modelos los autores deducen que el sedimento aportado al lago se ha incrementado desde una cifra de 151.134 m³/año, valor obtenido durante el período comprendido entre 1903 y 1976, a un valor medio de 357.419 m³/año, calculado entre 1976 y 1982. Los autores consideran, por tanto, que el lago se rellenará entre el año 2066 y el 2195, si las tendencias recientes se mantienen.

En nuestra opinión se pueden criticar algunos aspectos de la metodología utilizada por estos autores, así como algunos de los resultados obtenidos por la aplicación de dichos modelos:

- 1) La mayoría de los modelos de erosión empleados utilizan los valores de precipitación media y no toman en consideración las precipitaciones extremas. Sin embargo, tales sucesos extraordinarios, característicos del clima mediterráneo, tienen un significado geomorfológico relevante en el área.

2) El uso del coeficiente de escorrentía utilizado en alguno de estos trabajos, no es una metodología adecuada para el cálculo de los aportes de agua a l'Albufera a causa del predominio de los materiales calcáreos en su cuenca. Segura (1990) demostró que las cuencas calcáreas muestran una capacidad de infiltración alta y variable, dependiendo de la intensidad de las precipitaciones y de los rasgos litológicos. Consecuentemente, el coeficiente de escorrentía podría tener una gran variabilidad espacial y temporal que invalidaría su uso para ramblas y barrancos.

3) La mayoría de estos trabajos tienen un marcado carácter teórico y adolecen de falta de experimentación de campo. Alonso Pascual *et al.* (1974) son los únicos que intentaron cuantificar el material sólido transportado en suspensión por las acequias a partir de muestras de agua tomadas periódicamente. Sin embargo, en ningún caso se midió la carga de sedimentos que llega al lago durante las crecidas, aunque todos los autores reconocen que éstas constituyen la mayor fuente de suministros de materiales sólidos al lago.

4) Ningunos de estos estudios que predicen el relleno más o menos inmediato del lago, tienen en consideración el papel de la propia compactación de los sedimentos.

Por su parte, Rosselló (1976) presentando un punto de vista diferente, sugirió que buena parte de los aportes de los barrancos quedarán retenidos en las márgenes de l'Albufera, en las áreas afectadas por las bonificaciones. Sin embargo, la profundidad del lago probablemente permanece estable, debido a los procesos de subsidencia y/o compactación de los sedimentos acumulados, por lo que las predicciones de colmatación inmediata probablemente no se cumplirían.

El presente trabajo trata de verificar estas hipótesis a partir del estudio de los sedimentos realmente depositados en el lago en tiempo histórico.

METODOLOGÍA

La metodología aplicada se basa en la realización de sondeos. El análisis de las muestras de los testigos obtenidos proporciona un amplio rango de información. En primer lugar, es posible determinar las características de los materiales de la albufera, lo que permitirá identificar las condiciones de sedimentación. Los resultados derivados del sondeo serán útiles en la comprobación de afirmaciones referidas a la textura de los sedimentos de l'Albufera (GARCÍA LABRANDERO, 1959; BENET, 1983). Algunas muestras, además, han podido ser utilizadas para dataciones isotópicas. Las conchas contenidas en algunos niveles se han empleado para obtener dataciones por C^{14} , mientras que los sedimentos de la parte superior del testigo se han analizado mediante Cs^{137} , lo que proporcionará las tasas de sedimentación de las últimas décadas.

La realización del sondeo por los procedimientos habituales era bastante difícil a causa de las características de la albufera (escasa profundidad y vegetación de marjal). Por tanto, las muestras fueron extraídas por «sondeo manual»

desde pequeñas embarcaciones utilizando tubos de PVC de 7 cm de diámetro y 5 m de largo. Se hicieron un total de siete sondeos (Fig. 3) que alcanzaron una profundidad máxima de 3,87 m por debajo de la superficie del agua del lago. La potencia de los sedimentos sólidos extraídos osciló entre 0,8 y 2,08 m. De los siete testigos obtenidos se tomaron 68 muestras, realizándose en todas ellas los análisis granulométricos correspondientes en el laboratorio. Los 50 cm superiores de sedimento de la columna Colomera han sido sometidos al análisis de Cs¹³⁷. De este mismo testigo, se seleccionaron todas las conchas enteras para someterlas al análisis de C¹⁴.

RESULTADOS

Aunque se han analizado siete sondeos el presente artículo se basa en los resultados sedimentológicos de los cuatro que se han considerado más representativos (los números 3, 4, 6 y 7). Los materiales del sondeo 6 se han utilizado para la obtención de las dataciones con Cs¹³⁷, así como los análisis de C¹⁴, debido a que es el más profundo y contiene la mayor cantidad de conchas.

A) Características sedimentológicas

Los cuatro testigos estudiados son muy similares tanto en su textura como en su color. El tamaño de partícula más abundante es la arcilla, predominando los colores grises. Sin embargo, atendiendo a la mayor o menor presencia de restos de plantas, color y cantidad de conchas, se han podido distinguir varios niveles en cada columna.

El testigo número 3 (Xicorro) comienza a 1,24 m por debajo del nivel del agua y tiene una potencia de 0,935 m (fig. 3). Se han distinguido doce niveles que se han agrupado de acuerdo con sus semejanzas:

- De 0 a 24,9 cm de profundidad (nivel 1). Los sedimentos presentan una gran cantidad de restos vegetales, textura limosa y color gris.
- De 25 a 60,9 cm (niveles 2, 3, 4, 5 y 6). La cantidad de restos de plantas es menor. El color es también gris y la textura limosa, excepto en los últimos 10 cm. Aquí la cantidad de arcilla aumenta y aparecen fragmentos de conchas.
- De 61 a 66,4 cm (niveles 7 y 8). El color es marrón rojizo. La textura del nivel 8 es arcillosa, mientras que en el nivel 7 la arena es más abundante. El color y el incremento en el tamaño de partícula sugieren la probable influencia de una avenida.
- De 65,5 a 93,5 (niveles 9, 10, 11 y 12). Alternan los colores grises y marrón. La textura es, de nuevo, limosa y existen fragmentos de conchas.

El número 4 (Colomera) (fig. 3) comienza a 1,72 m de profundidad, tiene 2,15 m de potencia y nueve niveles:

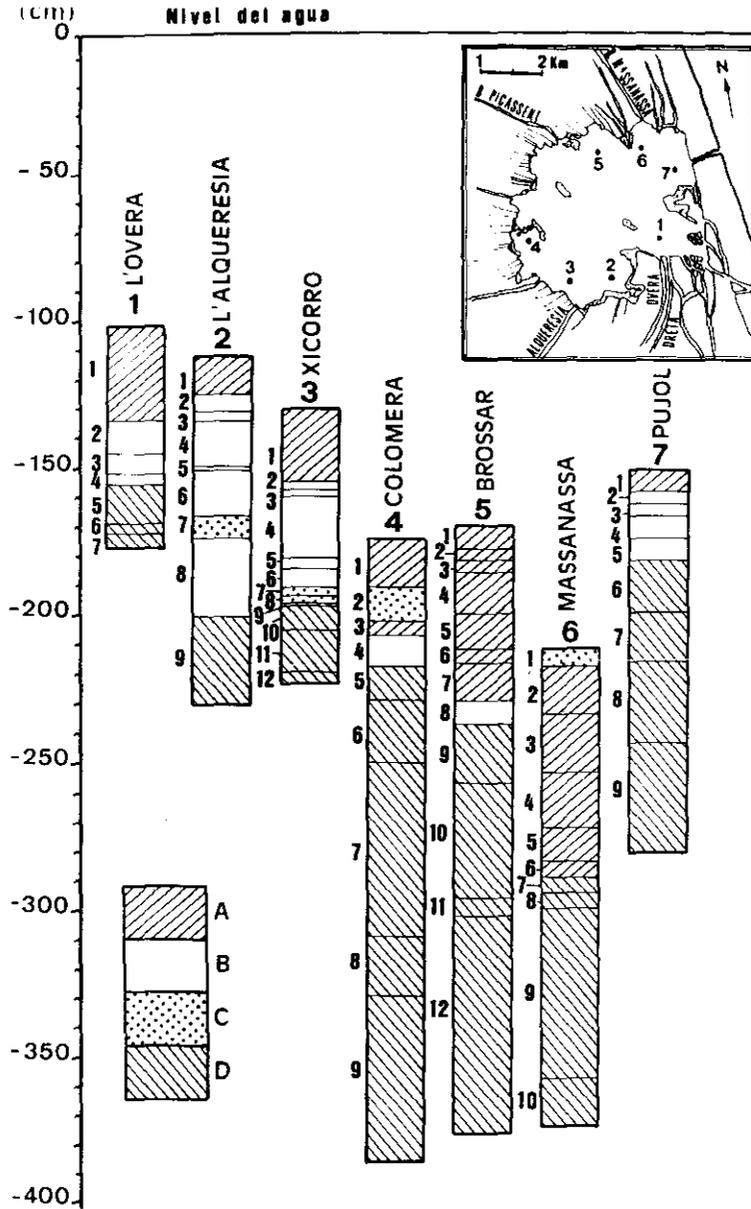


Fig. 3. Características de los distintos niveles de los sondeos realizados en l'Albufera de València. A. Nivel con gran cantidad de restos de vegetación. B. Nivel con gran cantidad de restos de vegetación. C. Nivel donde los restos de vegetación son menos abundantes. D. Nivel oxidado. D. Nivel con conchas

- De 0 a 32,9 cm (niveles 1, 2 y 3). La textura es limoarcillosa, abundan los restos de plantas y el color alterna entre gris (nivel 1 y 3) y marrón (nivel 2). Este último nivel tiene algunas conchas.
- De 33 a 215 cm (niveles 4, 5, 6, 7, 8 y 9). Predomina la arcilla, aunque existe cierta cantidad de arena. El color es gris y los restos de vegetación prácticamente han desaparecido. Existen fragmentos de conchas en los niveles 4 y 5. Se han encontrado valvas enteras en los otros niveles, cuyo tamaño aumenta hacia el fondo.

El número 6 (Massanassa) comienza a 2,09 m de profundidad (fig. 3). Su espesor es de 1,675 m, y se observan diez niveles:

- De 0 a 6,9 cm (nivel 1). Predomina la arena, posiblemente debido a una avenida del Barranc de Massanassa. El color es marrón.
- De 7 a 82,4 cm (niveles 2, 3, 4, 5 y 6). Aquí el color es gris y los restos de plantas muy abundantes. La textura es limosa (mínimo en el nivel 3 y máximo en los niveles 2 y 4).
- De 82,5 a 167,5 cm (niveles 7, 8, 9 y 10). El color también es gris y las conchas muy abundantes, especialmente en el nivel 8.

El número 7 (Pujol) comienza a 1,48 m de la línea de agua y presenta una potencia de 1,29 m (fig. 3). Se han diferenciado nueve niveles:

- De 0 a 7,9 cm (nivel 1). La textura es limoarcillosa con muchos restos de vegetación y su color es gris claro.
- De 8 a 31,9 (niveles 2, 3, 4 y 5). Presenta las mismas características que el anterior, aunque aumenta la proporción de arcilla. En el nivel 5 hay menos restos de plantas y aparecen algunas conchas.
- De 32 a 129 cm (niveles 6, 7, 8 y 9). El color es aún gris y la textura es también arcillosa. La materia orgánica decrece hacia el fondo mientras la cantidad de conchas aumenta. En los niveles 7, 8 y 9 aparecen algunas arenas.

Los parámetros texturales (FOLK y WARD, 1957) son similares en todas las muestras analizadas. Todas ellas están pobremente clasificadas y su tamaño medio está entre 6 y 8,5 phi. La skewness oscila siempre alrededor de cero, siendo ligeramente positiva en los niveles superiores –donde predominan los limos– y llega a ser negativa hacia la base, donde predomina la arcilla (figs. 4, 5, 6 y 7). En conjunto, los histogramas son bimodales o polimodales. Las curvas de Visher (VISHER, 1969) confirman que estos sedimentos han sido transportados principalmente en suspensión.

En cada uno de los testigos analizados se pueden diferenciar dos secciones principales:

- La sección superior incluye los sedimentos desde la superficie a una profundidad que varía entre 60 y 95 cm. Sus principales características podrían ser: textura limosa, skewness ligeramente positiva o cero y gran cantidad de restos vegetales. Normalmente no hay conchas, pero en algunos niveles aparecen fragmentos.

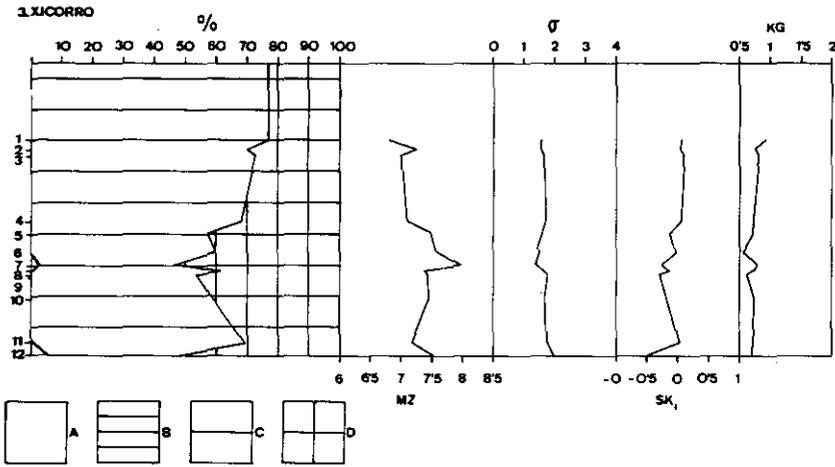


Fig. 4. Características texturales e índices granulométricos (media, desviación estándar, skewness, kurtosis) del sondeo Xicorro. A. Material grueso. B. Arena. C. Limo. D. Arcilla

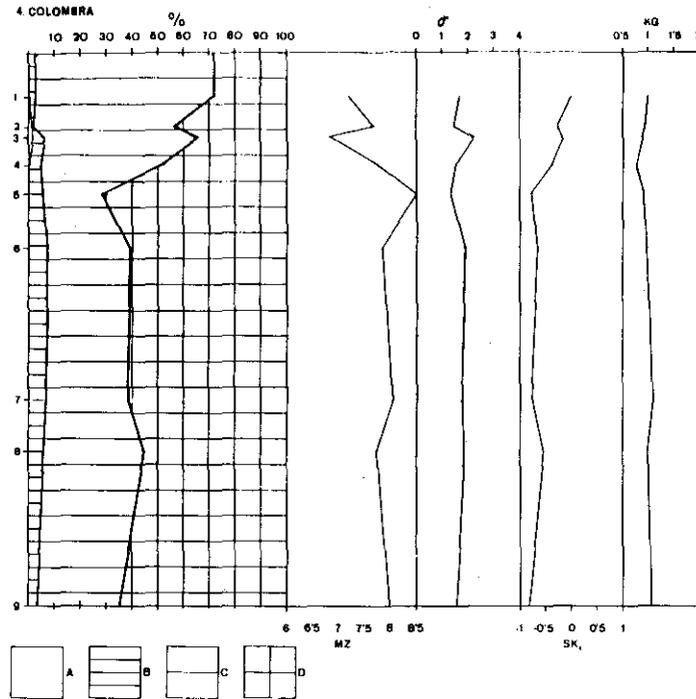


Fig. 5. Características texturales e índices granulométricos (media, desviación estándar, skewness, kurtosis) del sondeo Colomera. A. Material grueso. B. Arena. C. Limo. D. Arcilla

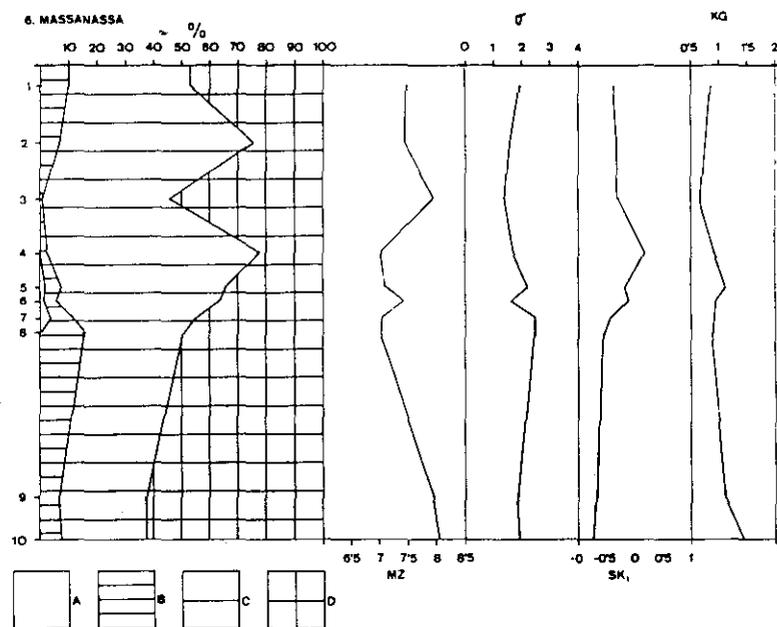


Fig. 6. Características texturales e índices granulométricos (media, desviación estándar, skewness, kurtosis) del sondeo Massanassa. A. Material grueso. B. Arena. C. Limo. D. Arcilla

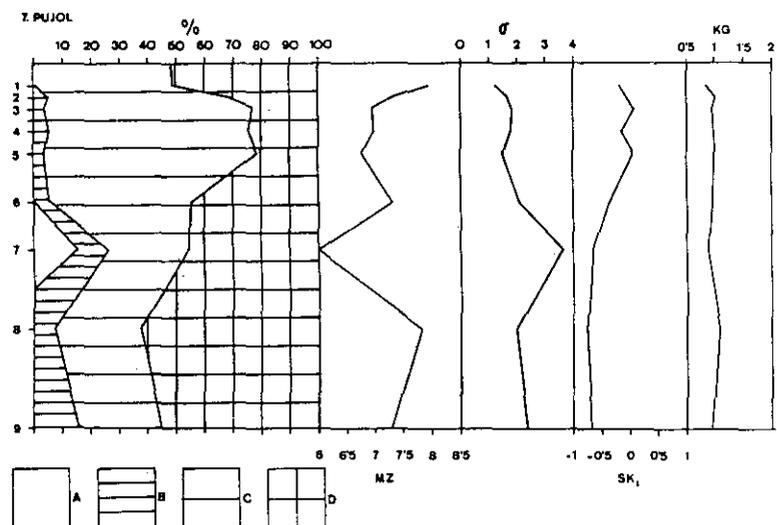


Fig. 7. Características texturales e índices granulométricos (media, desviación estándar, skewness, kurtosis) del sondeo Pujol. A. Material grueso. B. Arena. C. Limo. D. Arcilla

- La sección inferior tiene una textura arcillosa, aunque pueden aparecer algunos niveles con cierta cantidad de arena. Aquí la skewness es negativa y los restos de vegetación desaparecen. Las conchas enteras son muy abundantes, aumentando su tamaño hacia la base.

B) *Tasas de sedimentación a partir de C¹⁴*

Dado el estrecho radio del testigo Colomera, se dataron todas las conchas enteras correspondientes a los niveles 6 y 8. Los resultados obtenidos fueron:

Nivel 6	1110 ± 115 BP
Nivel 8	2810 ± 245 BP

Estas dataciones están referidas al conjunto de conchas encontradas en los 21 cm del nivel 6 y los 20 cm del nivel 8. La tasa de sedimentación se obtiene dividiendo el espesor del material acumulado por los años transcurridos desde la fecha indicada por la datación radiométrica. Dado que en nuestro caso los datos de C¹⁴ se refieren a un conjunto de más de 20 cm, se nos planteó el problema de utilizar para el cálculo la parte superior, la central o la basal de los niveles datados. Los resultados difieren según se contemple una u otra posibilidad:

1) Si se considera que las conchas datadas corresponden al techo de la muestra del nivel 6 y al fondo del nivel 8, la ratio oscila entre 0,54 y 0,63 mm/año, dependiendo de si tomamos la edad máxima (1226 y 3055 BP) o la mínima (995 y 2565 BP).

2) Si se supone que las conchas datadas están situadas bien en los dos techos, bien en las dos bases, la tasa de sedimentación es similar, oscilando entre 0,43 y 0,5 mm/año, de acuerdo con las edades máximas y mínimas respectivamente.

3) Si se considera que las conchas datadas corresponden a la parte central de los dos niveles considerados, la ratio de sedimentación se situaría también entre 0,43 y 0,5 mm/año.

4) Si se supone que las conchas se encontraban localizadas en el fondo de los niveles 6 y 8, las tasas obtenidas variarían entre 0,32 y 0,37 mm/año.

Aunque todos estos datos pueden ser indicativos, consideramos que lo más correcto es estimar la tasa a partir de los valores medios, tanto del sedimento –utilizando para el cálculo la parte central de los dos niveles– como de las dataciones, por lo que se ha prescindido de las desviaciones indicadas en la fechación de C¹⁴. Las tasas se han calculado asumiendo que la acumulación ha sido constante. La distancia, calculada entre el punto central de los dos niveles datados, es de 795 mm. Así, la tasa de sedimentación obtenida entre el 860 a.C. y el 840 d.C. se cifra en 0,47 mm/año. Este valor podría considerarse como la tasa de colmatación natural de l'Albufera, dado que en esas pocas los cambios antrópicos no debieron ser importantes.

Además, a partir de la datación obtenida para las conchas del nivel 6, se

puede estimar la tasa de sedimentación producida entre el 860 d.C. y la actualidad. En este caso, el espesor considerado entre el punto central del nivel 6 y la superficie del testigo es de 665 mm, por lo que la tasa obtenida es de 0,57 mm/año.

C) *Tasas de sedimentación obtenidas a partir del Cs¹³⁷*

Para la datación mediante este isótopo se utilizaron los sedimentos correspondientes a los 50 cm superiores del testigo Colomera. Se encontraron cantidades detectables de Cs¹³⁷ en los 12 cm superiores, mientras que en los restantes no existían indicios de este isótopo. Por tanto, puede afirmarse que el nivel correspondiente al cm 12 se depositó en el año 1954, año en que comenzó a detectarse el Cs¹³⁷ en la atmósfera. Dado que el sedimento fue recogido en 1988, se han acumulado 120 mm de material durante los últimos 34-45 años (1954-1988). De ello se deduce que la velocidad media de sedimentación durante este período fue de 3,2-3,6 mm/año.

D) *Valoración global*

Los resultados logrados con los dos métodos anteriormente descritos permiten establecer una comparación entre las distintas tasas. En primer lugar, llama la atención la diferencia existente entre las dos cifras obtenidas mediante C¹⁴, puesto que se pasa de 0,47 mm/año (entre el año 860 a.C. y el 840 d.C.) a 0,57 mm/año (entre el 840 d.C. y la actualidad). Esta diferencia, quizás podría explicarse por las repercusiones de las acciones antrópicas (*aterraments*) que incrementarían, de alguna manera, la colmatación natural, aunque tampoco hay que olvidar el efecto de la menor compactación de los niveles superficiales.

Por otra parte, la ratio obtenida a partir del Cs¹³⁷ es de 3,2-3,6 mm/año, lo que sugiere que en los últimos 34-35 años la tasa de sedimentación ha sido mayor. Sin embargo, aunque no puede descartarse que este incremento sea real –puesto que puede haber influido la coincidencia de riadas importantes como la del Túria de 1957, las del Xúquer en 1982 y 1987, así como las de los barrancos periféricos–, no habría que olvidar las diferencias de compactación. La simple observación visual de las muestras obtenidas demuestra que los sedimentos superficiales están menos compactados que los profundos, ya que contienen mayor cantidad de agua y de vegetación. La diferencia entre las tasas a corto y largo plazo no es un fenómeno exclusivo de l'Albufera de València. De acuerdo con Nichols (1989) que ha realizado un exhaustivo estudio en varias albuferas norteamericanas, las cifras de los últimos años siempre son más elevadas que las referidas a períodos de tiempo más prolongados.

DISCUSIÓN

1. De acuerdo con las características texturales de los sedimentos analizados, llama la atención la ausencia de fracción gruesa (cantos y gravas) en las márgenes de l'Albufera. Ello podría deberse a distintos factores:

- Factores dinámicos: todos los barrancos que llegan a la marjal sufren una disminución de su pendiente. Ello provoca un descenso en la velocidad del flujo y, consecuentemente, una caída en la capacidad de transporte. Es por ello que los sedimentos groseros quedan depositados en los límites de la marjal.
- Factores tectónicos: estudios previos (SEGURA *et al.*, 1984) sugieren la existencia de una falla localizada en el postpaís de l'Albufera, que probablemente se ha reactivado durante el Cuaternario. Este hecho ha provocado la desorganización de la red de drenaje y la desaparición de canales (como sucede, por ejemplo, en el Barranc de Massanassa). Como consecuencia de ello la carga de fondo se deposita lejos de la albufera.

Los factores dinámicos son, actualmente, los más importantes y son suficientes para explicar el predominio de las acumulaciones de finos. Sin embargo, los factores tectónicos justifican las características texturales de los materiales de algunos barrancos.

Respecto a la composición de la fracción fina, los rasgos más relevantes son la escasez de arena –contrariamente a lo indicado por Benet (1983)– y el predominio de limos y arcillas, cuya proporción aumenta hacia el fondo.

2. En relación a los procesos de transporte la suspensión es predominante. Este hecho demostraría que a l'Albufera sólo llegan flujos de baja velocidad. Sin embargo, hay que señalar que en algunos de los niveles analizados se han encontrado pequeñas laminaciones arenosas, que bien fueron transportadas en saltación por flujos de baja velocidad o en suspensión asociada a flujos más rápidos durante las crecidas. Estas muestras arenosas se han encontrado en los testigos de Colomera, Massanassa y Pujol. El origen de la arena no es el mismo en todos los casos. Los dos primeros sondeos se realizaron en la desembocadura del Barranc de Picassent y del Barranc de Massanassa respectivamente, por lo que la arena debe proceder de las crecidas de los citados barrancos. Además, aquí se encontró en los niveles superiores, lo cual junto con el color rojizo de los sedimentos parece confirmar este supuesto. Por lo que respecta al sondeo de Pujol, localizado en las proximidades de la restinga, la presencia de la arena quizá deba relacionarse con la entrada de sedimentos marinos a través de la gola cuando se abren las compuertas, o bien con la existencia de algún *washover fan* que pudo desarrollarse en este punto mediante procesos de *overwash* en el pasado.

3. A partir de algunas de las características de los testigos estudiados – incremento de la arcilla y de las conchas hacia el fondo y mayor presencia de restos vegetales en las partes superiores (fig. 3)–, se puede deducir que l'Albufera ha experimentado un *cambio de salinidad* en los últimos milenios.

Por una parte, la acumulación de minerales arcillosos podría ser un buen indicador de la existencia de condiciones salobres, ya que las arcillas floculan incluso con salinidades del 3 por mil (KRANK, 1973). Las conchas halladas en los sedimentos analizados (*Cerastoderma glaucum*, *Abra ovata*, *Hydrobia* ssp.) tam-

bién apoyan esta idea. Según Robles *et al.*, (1985) se trata de una asociación eurohalina, con una tolerancia conjunta a la salinidad entre 3 y 40 por mil. Ello hace preveer la existencia de un estadio salobre anterior al estadio dulceacuícola actual. Este último quedaría confirmado por la aparición de restos vegetales y su significativo incremento hacia el techo de los testigos, a partir del momento en que desaparecen las conchas. Este cambio en las condiciones de salinidad probablemente está ligado al cierre de la restinga.

4. De ser cierta esta hipótesis habría que suponer que la desaparición de las conchas –brusca o lenta– se habría producido al mismo tiempo en todo el lago. En consecuencia, el último nivel en el que aparecen las valvas enteras podría tomarse como nivel guía. A partir de aquí podría aventurarse una teoría acerca de las diferencias de sedimentación en el interior de l'Albufera. Una primera deducción sería que el espesor de sedimentos acumulados sobre este nivel guía es mayor en los testigos obtenidos en el sector meridional y septentrional del lago que en los de la parte occidental y oriental. Esto podría relacionarse con la mayor importancia de los aportes procedentes del Xúquer, del Túria y de los barrancos de Picassent y Massanassa. No obstante, habría que considerar también la posibilidad de que estas diferencias de potencia están relacionadas con procesos erosivos diferenciales que actuarían sobre el fondo del lago debido, quizá, a la posible existencia de corrientes.

5. A partir de las dos tasas obtenidas mediante la datación de C¹⁴ se pueden hacer algunas consideraciones acerca del *depósito y distribución de los sedimentos* en l'Albufera. Las tasas obtenidas son: de 0,47 mm/año (para el período comprendido entre 2810 y 1110 BP) y 0,57 mm/año (para el que corresponde entre 1110 BP y el presente). La primera se podría considerar como la tasa de sedimentación natural. Por el contrario, la segunda ya puede estar influida por una componente antrópica, dado que entre 1761 y 1927 la reducción del perímetro de l'Albufera fue de un 80% aproximadamente. Sin embargo, la reducción del perímetro no ha sido proporcional a la acumulación vertical.

La ratio de acumulación más reciente (1110 BP hasta el presente) es un 20 % superior a la del período anterior (2810 a 1110 BP). Es obvio, que este cifra es muy inferior a la reducción del perímetro del lago, que sólo desde el siglo XVIII ha experimentado una disminución de un 80 %. En consecuencia, la primera cifra debería ser más alta si el volumen de sedimentos que llegaba a l'Albufera se hubiera ido acumulando en un lago de perímetro decreciente. Aunque el escaso incremento experimentado por la tasa de acumulación vertical, podría explicarse si se hubiera producido una reducción en el aporte de sedimentos, las investigaciones geoarqueológicas realizadas en áreas inmediatas –Ribera del Xúquer (BUTZER *et al.*, 1983) y llano de inundación del Túria (CARMONA, 1990)– prueban todo lo contrario: que la carga de sedimentos de los grandes ríos (Túria y Xúquer) ha ido aumentando desde el siglo XI. Por tanto, la explicación para el bajo incremento relativo de la tasa de sedimentación en l'Albufera podría ser, como ha sugerido Rosselló (1976), que los sedimentos han ido

acumulándose principalmente en la marjal y sólo una parte llega al lago. Este hecho se puede constatar también en la actualidad, ya que durante las inundaciones producidas en la década de los ochenta se ha observado como la marjal queda totalmente inundada, decantándose parte de los sedimentos en los campos de cultivo.

6. En relación al volumen de aportes sólidos que llegan a l'Albufera podrían hacerse algunas consideraciones, ya que a partir de la tasa obtenida por Cs¹³⁷ se puede establecer un balance sedimentario aproximado. Si consideramos que la extensión actual de l'Albufera –que apenas ha variado en las últimas décadas– es de 2.235 ha y suponemos una tasa de sedimentación uniforme en todo el lago de 3,2 mm/año, el volumen de sedimentos aproximado que le llegaría sería de 71.520 m³/año. Sin embargo, dado que el testigo datado (Colomera) es el que presenta una menor potencia por encima del nivel guía, esta cifra tendría que incrementarse. Considerando que la columna de l'Alqueressia –que está situada en la zona de mayor sedimentación del lago– presenta aproximadamente el doble de espesor que el sondeo citado anteriormente, el volumen máximo de sedimentos debería guardar una proporción similar, por lo que se situaría en torno a los 140.000 m³/año. La cifra real, posiblemente sería un valor intermedio entre las estimaciones anteriores, oscilando alrededor de unos 100.000 m³/año. Con todo, estas cifras son sensiblemente inferiores a las que apuntan otros autores ya que el valor más bajo de todos los manejados hasta ahora es el que dió Alonso Pascual *et al.* (1974), de 160.000 m³/año.

CONCLUSIONES

Del presente estudio se podrían deducir las siguientes conclusiones:

- Los sedimentos de l'Albufera son principalmente limos y arcillas. La arena, salvo en las proximidades de la restinga, es muy escasa.
- La extinción de las conchas, la disminución del contenido en arcillas y el aumento de los restos vegetales desde las zonas más profundas hacia la superficie, indican que l'Albufera ha experimentado un proceso de transformación pasando de un medio salobre a otro dulceacuícola.
- De acuerdo con los datos obtenidos a partir de los análisis de C¹⁴, el cambio de salinidad provocado por el cierre (natural o artificial) de la restinga, tuvo que producirse con posterioridad al 1110 ± 115 BP.
- Para el testigo Colomera se han obtenido tres tasas de sedimentación:
 - i) A largo plazo, las tasas obtenidas por C¹⁴ son:
 - 0,47 mm/año entre el 2810 y 1110 BP.
 - 0,57 mm/año entre el 1110 BP y la actualidad.
 - ii) A corto plazo, la tasa conseguida mediante Cs¹³⁷ es:
 - 3,2 a 3,6 mm/año desde 1954 hasta 1988.

- Buena parte de los sedimentos transportados por los ríos, ramblas y acequias quedan retenidos en la marjal sin llegar al lago.
- Parece evidente, pues, de acuerdo con las tasas obtenidas que la colmatación de l'Albufera no es tan inminente como la previsión de algunos autores anteriores parecía sugerir.

Agradecimientos

Los autores queremos dejar constancia de la importante colaboración de Isabel Burguet, Francisca Sapiña y Luisa Cardona en el trabajo de campo y de laboratorio. Agradecemos, también, la amabilidad y facilidades proporcionadas por la Oficina Técnica Devesa-Albufera. Igualmente señalar nuestro agradecimiento al Dr. Peris (Universidad Politécnica de Valencia) por su ayuda. Agradecemos al Departament de Termodinàmica (Universitat de València) que nos ha proporcionado, amablemente, las imágenes Landsat utilizadas en este estudio y al Dr. Rafael García Tenorio (Universidad de Sevilla) la datación desinteresada de las muestras enviadas. Finalmente, queremos dar las gracias al Dr. Rosselló (Universitat de València) y al Dr. N. Psuty (Rutgers University, New Jersey) por la revisión del manuscrito.

Este trabajo ha contado con el soporte económico de la Institució Valenciana d'Estudis i Investigació. Asimismo forma parte del Proyecto de Investigación BP89-00524 de la DGICYT.

BIBLIOGRAFIA

- ALONSO PASCUAL, J. J. *et al.* (1974): *Balance hídrico y estudio de aportes sólidos a la Albufera de Valencia*, Instituto de Hidrología y Medio Natural, Universidad Politécnica de Valencia, 209 ff. (Colaboran: J. M. Benet, J. García Gómez, *et al.*)
- BENET, J.M. (1983): La Albufera de Valencia. Datos para una política de soluciones, *Revista de Obras Públicas*, Febrero-Marzo 1983, 167-180.
- BUTZER, K. W., MIRALLES, J., MATEU, J. F. (1983): Las crecidas medievales del río Júcar según el registro geo-arqueológico de Alzira, *Cuadernos de Geografía*, 32-33, 311-332.
- CARMONA GONZÁLEZ, P. (1990): *La formació de la plana al·luvial de València*, Valencia, Ed. Alfons el Magnànim, 175 p.
- DAFAUCE, C. (1975): *La Albufera de Valencia, un estudio piloto*, Madrid, I.C.O.N.A., Monografía nº 4, 127 p.
- FOLK, R., WARD, W. (1957): Brazos River Bar: A study in the significance of grain size parameters, *Journal of Sedimentary Petrology*, 27, 3-26.
- FOURNIER, F. (1960): *Climat et erosion*, Paris, Presses Universitaires de France, 201 p.
- GARCÍA LABRANDERO, A. (1959): *Evolución y futuro de la Albufera de Valencia*, Valencia, Inédito, 67 f.
- KRANK, K. (1973): Flocculation of suspended sediment in the sea, *Nature*, 246, 348-350.

- LÓPEZ GARCÍA, M. J., CASELLES, V. (1987): Use of Thematic Mapper data to assess water quality in the Albufera lagoon of Valencia (Spain), *Advances in Digital Image Processing*, Proceedings 13th Annual Conference of the Remote Sensing Society, Nottingham, 510-519.
- (1990): A multitemporal study of chlorophyll a concentration in the Albufera lagoon of Valencia (Spain) using Thematic Mapper data, *Int. Journal of Remote Sensing*, 11 (2), 301-311.
- MÍNTEGUI, J. A., LÓPEZ CADENAS DEL LLANO, F., LÓPEZ-CUERVO, S., AGUILÓ, J., PÉREZ-SOBA, A., DE MIGUEL, M., GARCÍA BARTUAL, M., RIESCO, J. A., TORRENT, J. A. (1986): *La erosión en la sedimentación de la Albufera*, Valencia, Generalitat Valenciana, Conselleria d'Obres Públiques, Urbanisme i Transport, 108 p.
- MIRACLE, M. R., GARCÍA, M. P., VICENTE, E. (1984): Heterogeneidad espacial de las comunidades fitoplanctónicas de la Albufera de Valencia, *Limnética*, 1, 20-31.
- NICHOLS, M.M. (1989): Sediment accumulation rates and relative sea-level rates in lagoons, *Marine Geology*, 88, 201-219.
- ROBLES, F., COLLADO, M. A., BORREDA, V. (1985): Variaciones de la fauna de moluscos en la Albufera de Valencia: implicaciones paleogeográficas, en: *Pleistoceno y geomorfología litoral*. Homenaje a Juan Cuerda, Valencia, Universitat de València, 123-133.
- ROSSELLÓ, V. M. (1972): Los ríos Júcar y Turia en la génesis de la Albufera de Valencia, *Cuadernos de Geografía*, 11, 7-25.
- (1976): Evolution recente de l'Albufera de Valencia et ses environs, *Mediterrané*, 4, 19-30.
- SANJAUME, E. (1985): *Las costas valencianas. Sedimentología y morfología litoral*, Valencia, Universitat de València, 505 p.
- SEGURA, F. (1990): *Las ramblas valencianas*, Valencia, Universitat de València, 229 p.
- SEGURA, F., SANJAUME, E., MEYER, M. J. (1984): Repercusiones de un fenómeno extraordinario en la Rambla de Chiva, *Cuadernos de Investigación Geográfica*, XI, (1-2), 137-148.
- SORIA, J. M. (1987): *La eutrofización de la Albufera de Valencia: mineralización, nutrientes y biomasa*, Tesis de Licenciatura, Universitat de València, 65 p.
- VISHER, G. S. (1969): Grain size distributions and depositional process, *Journal of Sedimentary Petrology*, 43, 31-32.

